ESTRATÉGIAS HÍDRICAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS DA CAATINGA REVELADAS POR DENDROMETRIA AUTOMATIZADA

Petra Rucielle Medeiros Marinho [1]; Magna Soelma Beserra de Moura [2]; Bruce Kelly da Nobrega Silva [3]; Bruno Fernandes de Farias [4]; & Rodolfo Luiz Bezerra Nóbrega [5]

RESUMO – As respostas hídricas das espécies arbóreas da Caatinga ao déficit hídrico em alta resolução temporal ainda são pouco conhecidas, e os modelos hidrológicos tradicionais frequentemente simplificam as diferenças fisiológicas entre espécies, comprometendo a representação dos fluxos de água e energia em condições de seca. Este estudo investigou se *Commiphora leptophloeos*, *Handroanthus spongiosus* e *Sapium gladulosum*, monitoradas simultaneamente sob condições microclimáticas homogêneas, exibem estratégias hídricas convergentes ou divergentes. Quinze dendrômetros automáticos de ponto TOMST D1 foram instalados na Reserva Legal de Caatinga da Embrapa Semiárido, Petrolina/PE, e os dados processados pelo algoritmo *Zero Growth*, pelo método de derivadas normalizadas e pelos índices TWDnorm e MDSnorm ao longo de 32 dias do final da estação chuvosa de 2026. *C. leptophloeos* revelou tamponamento hidráulico, com GRO médio de 730 µm e ausência de observações acima do limiar de perda de turgor. *S. gladulosum* apresentou maior vulnerabilidade hídrica, com 32,9% das observações acima do limiar e correlação negativa significativa entre TWDnorm e MDSnorm ($r = -0{,}569$; $p < 0{,}001$). *H. spongiosus* ocupou posição intermediária, com elevada heterogeneidade intraespecífica. Os resultados confirmam que estratégias hídricas contrastantes entre espécies são a regra na Caatinga, com implicações diretas para a parametrização de modelos hidrológicos do semiárido.

Palavras-Chave – Dendrometria; Ecohidrologia; Déficit hídrico.

ABSTRACT– The water-use responses of Caatinga tree species to drought at high temporal resolution remain poorly understood, and traditional hydrological models often simplify species-specific physiological differences, compromising the representation of water and energy fluxes under dry conditions. This study investigated whether *Commiphora leptophloeos*, *Handroanthus spongiosus* and *Sapium gladulosum*, monitored simultaneously under homogeneous microclimatic conditions, exhibit convergent or divergent water-use strategies. Fifteen TOMST D1 automatic point dendrometers were installed at the Caatinga Legal Reserve of Embrapa Semi-Árido, Petrolina, Pernambuco, and data were processed using the Zero Growth algorithm, the normalized derivatives method, and the TWDnorm and MDSnorm indices over 32 days at the end of the 2026 rainy season. *C. leptophloeos* showed hydraulic buffering, with a mean GRO of 730 µm and no observations above the turgor loss threshold. *S. gladulosum* exhibited the greatest hydraulic vulnerability, with 32.9% of observations above the threshold and a significant negative correlation between TWDnorm and MDSnorm ($r = -0.569$; $p < 0.001$). *H. spongiosus* occupied an intermediate position, with marked

[1]) Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande - PB, fone: (83) 8205-8390, petra.rucielle@estudante.ufcg.edu.br
[2]) Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semiárido), Fortaleza – CE, fone: (87) 9627-3679, magna.moura@embrapa.br
[3]) Instituto Nacional do Seminário (INSA), Campina Grande – PB, fone: (83) 8806-4008, brucekellys@gmail.com
[4]) Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande - PB, fone: (83) 9655-9464, bruno.f.farias@estudante.ufcg.edu.br
[5]) Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande - PB, fone: +44 7537 881101, rodolfo.nobrega@professor.ufcg.edu.br

intraspecific variability. The results confirm that contrasting water-use strategies among coexisting species are the rule in the Caatinga, with direct implications for the parameterization of semi-arid hydrological models.

Keywords – Dendrometry; Ecohydrology; Water deficit.

INTRODUÇÃO

A Caatinga ocupa aproximadamente 850.000 km² do Semiárido Brasileiro, com flora lenhosa adaptada a precipitações de alta variabilidade com médias anuais aproximadas entre 250 e 800 mm concentradas em três a cinco meses, seguida por estação seca de sete a nove meses com umidade do solo próxima ao ponto de murcha permanente (Ab'Sáber, 2003; Silva; Leal; Tabarelli, 2018). Apesar de sua importância ecológica e socioeconômica reconhecida entre as maiores florestas tropicais sazonalmente secas das Américas (Bullock; Mooney; Medina, 1995; Santos *et al.*, 2011; Toby Pennington; Prado; Pendry, 2000), a Caatinga apresenta lacunas fundamentais no entendimento de como suas espécies arbóreas gerenciam o estresse hídrico em escalas temporais de alta resolução, lacuna agravada pela aceleração da frequência de secas e da desertificação no semiárido brasileiro (Bauman *et al.*, 2022; Wright *et al.*, 2021).

Os modelos hidrológicos tradicionais frequentemente tratam a vegetação de forma homogênea, simplificando as respostas fisiológicas específicas das plantas ao déficit hídrico e comprometendo a representação dos fluxos de água e energia em condições de seca (Harper *et al.*, 2021; Hashemi *et al.*, 2022). Evidências de florestas secas tropicais indicam, no entanto, que estratégias hídricas contrastantes entre espécies são a regra (Pineda-García; Paz; Meinzer, 2013; Wright *et al.*, 2021), padrão que observações qualitativas na Caatinga também sugerem (de Souza *et al.*, 2020; Lima; Rodal, 2010), embora sem respaldo de dados contínuos em alta resolução temporal sob condições microclimáticas homogêneas.

Dendrômetros automáticos de ponto registram variações do raio do caule com resolução de micrômetros e frequência de minutos (Zweifel *et al.*, 2016). Quando múltiplas espécies são monitoradas simultaneamente no mesmo sítio, qualquer diferença sistemática entre elas pode ser atribuída exclusivamente a características de suas estratégias hídricas (Peters *et al.*, 2025a; Zweifel *et al.*, 2021)). Três metodologias complementares permitem extrair parâmetros ecofisiológicos comparáveis: o algoritmo Zero Growth (ZG), que decompõe o sinal em crescimento irreversível (GRO) e déficit hídrico reversível (TWD) (Zweifel *et al.*, 2016); o método de derivadas normalizadas (Cocozza; Tognetti; Giovannelli, 2018a), que quantifica a sensibilidade do TWD ao forçamento térmico pelo coeficiente β; e os índices normalizados TWDnorm e MDSnorm (Peters *et al.*, 2025a), com o limiar TWDnorm = 1,0 validado como ponto de perda de turgor foliar (π_0). Este estudo

investigou se *Commiphora leptophloeos*, *Handroanthus spongiosus* e *Sapium gladulosum*, monitoradas simultaneamente sob condições microclimáticas homogêneas, exibem estratégias hídricas convergentes ou divergentes, testando a hipótese de que a heterogeneidade ecofisiológica é a regra na Caatinga.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Reserva Legal de Caatinga da EMBRAPA Semiárido, Petrolina/PE (09°08' S, 40°22' W; 365 m de altitude), área de Caatinga arbórea hiperxerófila preservada por mais de 45 anos, precipitação média anual de ~430 mm e temperatura média de 26 °C (Carvalho; Moura; Silva, 2018). As condições meteorológicas foram monitoradas pelo Setor de Agrometeorologia da EMBRAPA Semiárido por meio de uma estação automática instalada no mesmo sítio experimental (EMBRAPA SEMIÁRIDO, 2026). Foram selecionados cinco indivíduos adultos de cada uma das três espécies-alvo, *C. leptophloeos*, *H. spongiosus* e *S. gladulosum*, totalizando 15 árvores com DAP variando de 13 a 54 cm para capturar a variabilidade intraespecífica (Albert *et al.*, 2010). Dendrômetros de ponto TOMST D1 (resolução de 0,27 µm; frequência de 15 minutos; sensor de temperatura acoplado ±0,3°C) foram instalados a 1,30 m do solo após período de estabilização de 30 dias (Aryal *et al.*, 2020). O período de análise compreendeu 32 dias (07/03 a 07/04/2026), correspondente ao final da estação chuvosa e início da transição para a seca.

O processamento foi realizado com o pacote *treenetproc* no ambiente R (Knüsel *et al.*, 2021). O algoritmo ZG foi aplicado conforme Zweifel *et al.*, 2016, com o TWD pré-alba definido como a média entre 4h e 6h. O coeficiente β foi obtido pela regressão linear entre as derivadas temporais normalizadas de TWD e temperatura (Cocozza; Tognetti; Giovannelli, 2018a). O MDS_max foi calculado como o percentil 99 dos dias com ciclo de fase positiva, e os índices TWDnorm = TWD_pré-alba / MDS_max e MDSnorm = MDS_diário / MDS_max foram calculados conforme Peters et al. (2025), com limiares de estresse em TWDnorm = 0,5 e TWDnorm = 1,0.

As diferenças entre espécies foram avaliadas para as métricas GRO total, TWD pré-alba médio, TWDnorm médio e coeficiente β. A normalidade foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade de variâncias pelo teste de Levene ($\alpha = 0,05$). Para métricas com distribuição normal e variâncias homogêneas, aplicou-se ANOVA *one-way* seguida de teste *post-hoc* de Tukey; para os demais casos, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis com comparações múltiplas pelo teste de Dunn com correção de Bonferroni. A relação entre TWDnorm e MDSnorm foi avaliada pela correlação de Pearson. Todas as análises foram realizadas em *Python 3* com os pacotes *scipy, pandas e scikit-posthocs*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período monitorado foi caracterizado por demanda evaporativa moderada (ETo média de 3,56 mm/dia; VPD médio de 0,87 kPa) e três eventos de precipitação, com destaque para o pulso de 48,7 mm em 02 de abril, equivalente a 66,1% da precipitação total do período, que ocorreu após dez dias consecutivos sem chuvas significativas (Figura 1). As condições climáticas foram homogêneas para todas as espécies, permitindo isolar a influência da fisiologia das variações ambientais (Peters *et al.*, 2025b; Zweifel *et al.*, 2021).

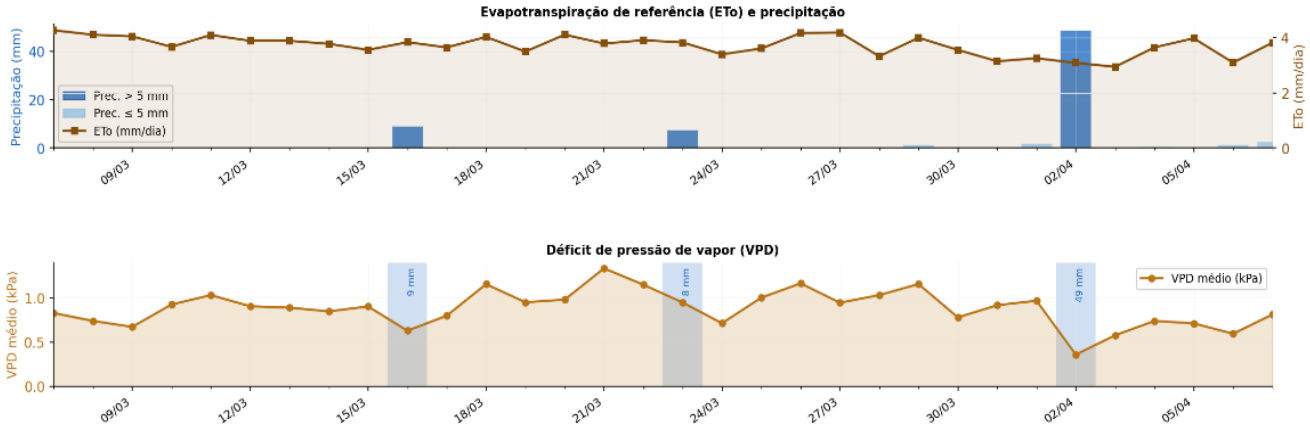


Figura 1 – Evapotranspiração de referência (ETo), precipitação diária e déficit de pressão de vapor (VPD).
Fonte: Elaboração própria com dados agrometeorológicos da Estação Agrometeorológica da Caatinga, Embrapa Semiárido, Petrolina/PE (2026).

C. leptophloeos apresentou o maior crescimento radial entre as espécies, com GRO médio de 730 ± 175 µm e crescimento ativo em todos os cinco indivíduos, com pulsos concentrados nos dias subsequentes aos eventos de precipitação (Figura 2). O indivíduo T-879 atingiu 1.026 µm, o maior valor individual do conjunto. *H. spongiosus* exibiu elevada heterogeneidade intraespecífica no crescimento, com GRO variando de 5 µm (T-682) a 273 µm (T-246), média de 150 ± 100 µm. O sensor T-682, que praticamente não cresceu, apresentou simultaneamente o maior TWD pré-alba da espécie (380 µm), evidenciando supressão do crescimento cambial por déficit hídrico acumulado, relação consistente com Zweifel et al. (2016). *S. gladulosum* registrou GRO médio intermediário (364 ± 68 µm), com crescimento concentrado após o evento de 02 de abril, sugerindo maior dependência da precipitação recente em comparação a *C. leptophloeos*, que cresceu de forma distribuída ao longo de todo o período. A comparação estatística confirmou diferença significativa no GRO total entre espécies (ANOVA: $F = 22{,}72$; $p < 0{,}001$), com *C. leptophloeos* superior às demais pelo teste post-hoc de Tukey ($p < 0{,}01$), enquanto *H. spongiosus* e *S. gladulosum* não diferiram entre si ($p = 0{,}072$).

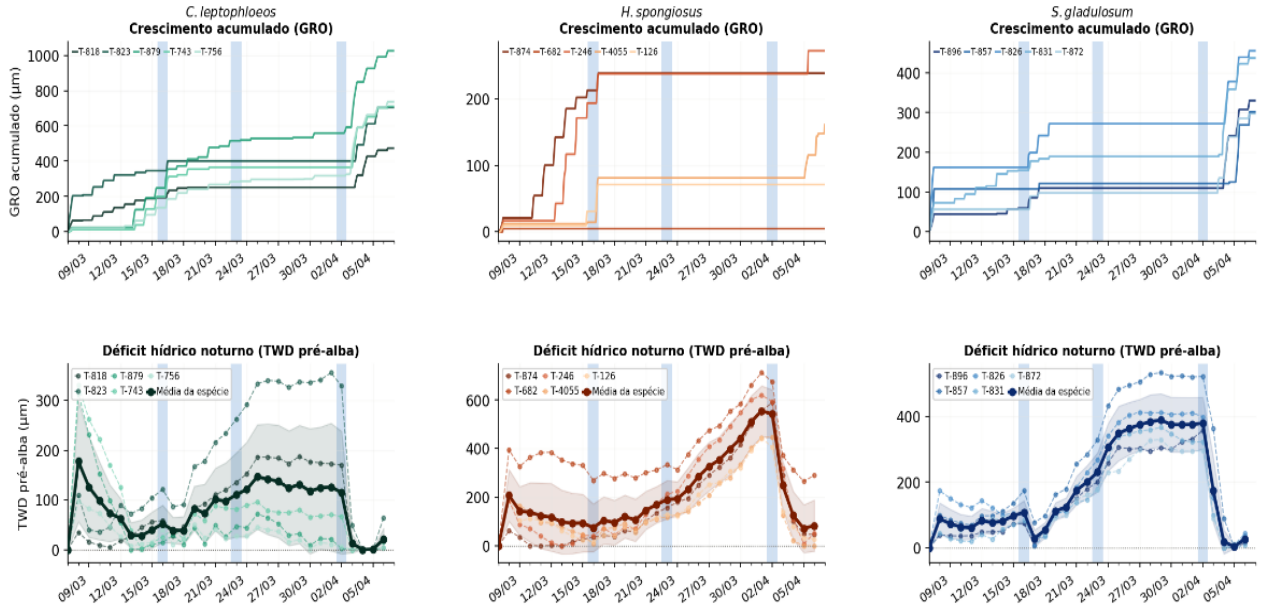


Figura 2 – Crescimento radial irreversível acumulado (GRO) e Déficit hídrico noturno (TWD pré-alba).
Fonte: Elaboração própria (2026).

A relação entre MDSnorm e TWDnorm revelou padrões distintos entre as espécies (Figura 3). Os valores de MDS_max diferiram consideravelmente: 460 µm para *C. leptophloeos*, 448 µm para *H. spongiosus* e 266 µm para *S. gladulosum*, refletindo diferenças interespecíficas na amplitude de variação do câmbio e, possivelmente, na capacitância hídrica dos tecidos condutores (Peters *et al.*, 2025a; Zweifel *et al.*, 2021). Comparações diretas dos valores absolutos de MDSnorm entre espécies devem ser feitas com cautela, sendo a análise mais apropriada dentro de cada espécie. *C. leptophloeos* apresentou TWDnorm médio de 0,178 ± 0,205, nenhuma observação acima do limiar de perda de turgor e correlação não significativa entre as métricas ($r = -0,151$; $p = 0,061$), com envelope P90 decrescente (0,66 → 0,11), compatível com regulação estomática precoce *(Zweifel et al., 2021)*. *H. spongiosus* registrou TWDnorm médio intermediário (0,461 ± 0,399), com 10,3% das observações acima do limiar e correlação não significativa ($r = -0,100$; $p = 0,216$), refletindo a elevada variabilidade interindividual entre os cinco sensores. *S. gladulosum* apresentou a maior proporção de dias em estresse hídrico (32,9% com TWDnorm > 1,0), TWDnorm médio de 0,672 ± 0,566 e correlação negativa significativa ($r = -0,569$; $p < 0,001$), com envelope P90 decrescente (0,75 → 0,24), indicando limitação progressiva da reidratação noturna do câmbio sob estresse crônico (Pappas; Peters; Fonti, 2020; Peters *et al.*, 2025a). O TWDnorm diferiu significativamente entre espécies (Kruskal-Wallis: $H = 9,26$; $p = 0,010$), com diferença significativa entre *C. leptophloeos* e *S. gladulosum* (Dunn/Bonferroni: $p = 0,007$).

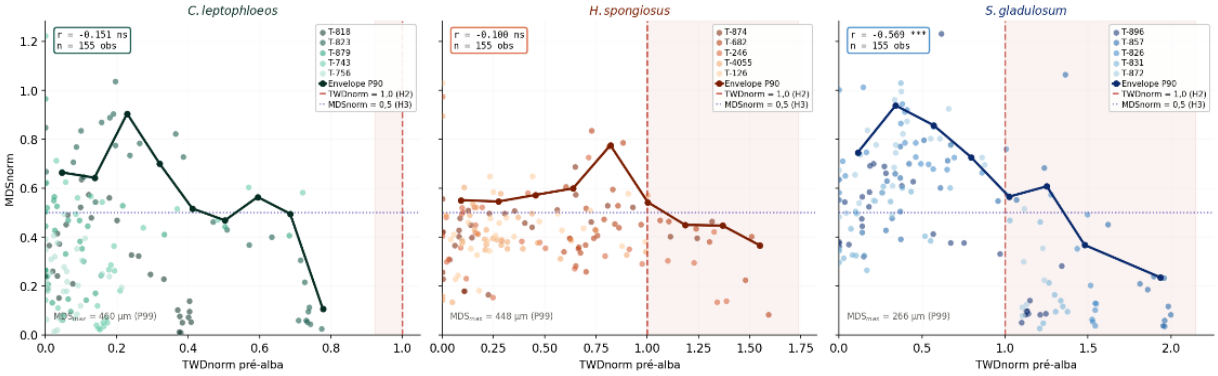


Figura 3 – Relação entre MDSnorm e TWDnorm pré-alba para as três espécies monitoradas.

Fonte: Elaboração própria (2026).

O comparativo das quatro métricas evidenciou contrastes expressivos (Figura 4). Quanto à sensibilidade térmica (Figura 4C), *C. leptophloeos* apresentou coeficientes β mais elevados e homogêneos (média +0,360 ± 0,089), todos positivos e significativos ($p < 0,001$), indicando estômatos funcionalmente ativos durante todo o período. *H. spongiosus* também registrou β positivos em todos os sensores (média +0,288 ± 0,129), com maior variabilidade interindividual. *S. gladulosum* foi a única espécie com comportamento heterogêneo: quatro sensores com β positivo e o sensor T-857 com $\beta = -0,377$, interpretado como evidência de desacoplamento severo entre sinal térmico e hídrico, possivelmente associado à dominância da expansão térmica física do lenho sobre o sinal hídrico biológico suprimido (Cocozza; Tognetti; Giovannelli, 2018b; Klein; Cohen; Yakir, 2011). As diferenças no coeficiente β entre espécies não atingiram significância estatística (ANOVA: $F = 3,28$; $p = 0,073$), refletindo a elevada variabilidade interindividual, particularmente em *S. gladulosum*. A Figura 4D sintetiza a distribuição do TWDnorm pré-alba: *C. leptophloeos* manteve mediana de 0,100 e máximo de 0,773, sem nenhum dia acima do limiar de turgor; *H. spongiosus* apresentou mediana de 0,316 e máximo de 1,591; *S. gladulosum* registrou mediana de 0,460 e máximo de 1,999, com 32,9% das observações acima do limiar, indicando que parte dos indivíduos operou em condição de déficit hídrico crítico por períodos prolongados.

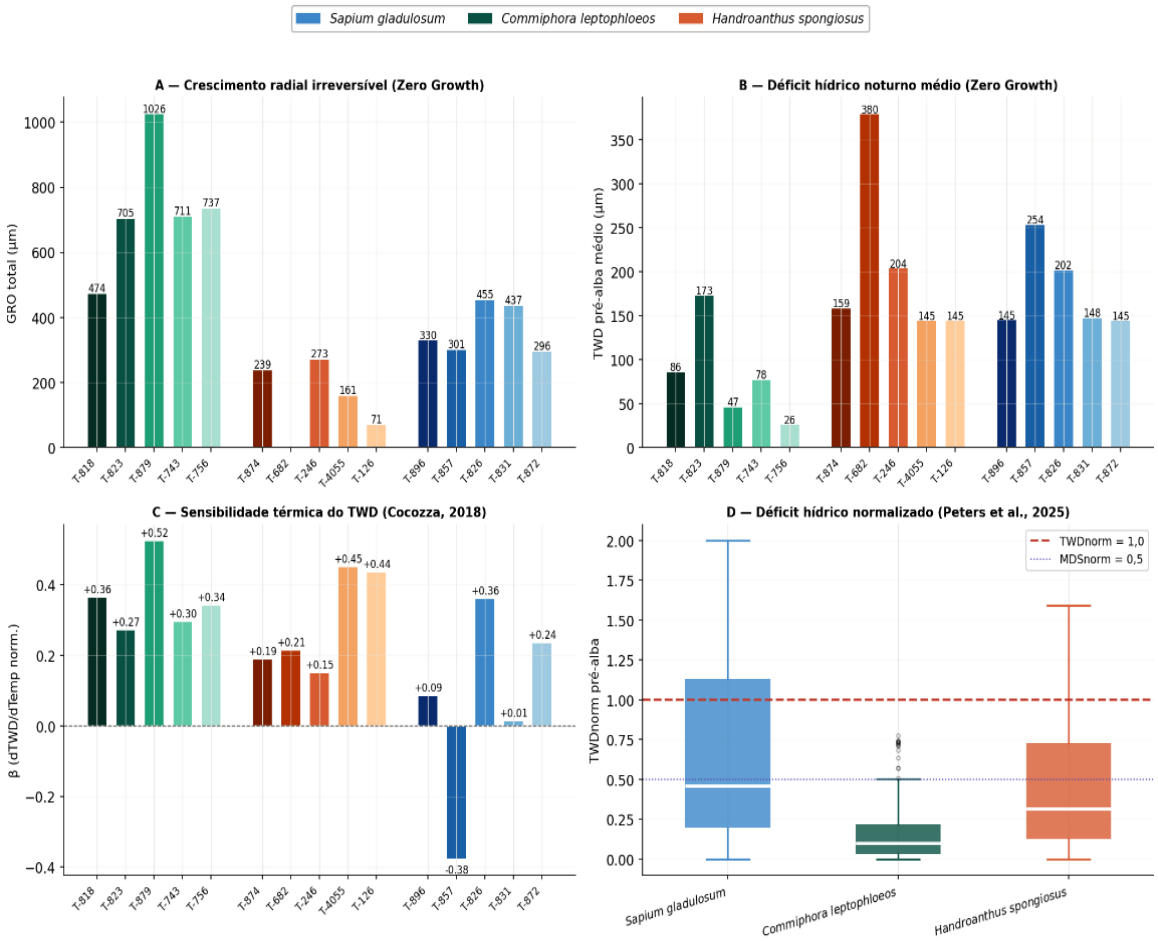


Figura 4 - Quadro comparativo das métricas dendrométricas.

Fonte: Elaboração própria (2026).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração das metodologias ZG, derivadas normalizadas e índices normalizados demonstrou capacidade de discriminar estratégias hídricas distintas entre as três espécies monitoradas sob condições microclimáticas homogêneas, refutando a hipótese de uniformidade funcional da Caatinga. *C. leptophloeos* revelou estratégia de tamponamento hidráulico, com GRO total médio de 730 µm, ausência de observações acima do limiar de perda de turgor e coeficiente β homogeneamente positivo (+0,360 ± 0,089), indicando regulação estomática precoce e eficiente (ANOVA: $F = 22,72$; $p < 0,001$; Tukey $p < 0,01$). *S. gladulosum* apresentou a maior vulnerabilidade hídrica, com 32,9% das observações acima do limiar de turgor, correlação negativa significativa entre TWDnorm e MDSnorm ($r = -0,569$; $p < 0,001$) e comportamento anômalo do sensor T-857 ($\beta = -0,377$), interpretado como desacoplamento severo por estresse crônico (Cocozza; Tognetti; Giovannelli, 2018c; Peters *et al.*, 2025b). *H. spongiosus* ocupou posição intermediária, com heterogeneidade intraespecífica relevante — GRO variando de 5 a 273 µm entre indivíduos — sugerindo que fatores locais modulam a expressão da estratégia hídrica da espécie (Pappas; Peters; Fonti, 2020).

A heterogeneidade funcional documentada tem implicações diretas para a definição de Tipos Funcionais de Plantas em modelos hidrológicos do semiárido, para estratégias de restauração ecológica baseadas em complementaridade funcional e para projeções de vulnerabilidade do bioma frente à aridificação progressiva (Bauman *et al.*, 2022; Wright *et al.*, 2021). A extensão do monitoramento à estação seca e a um segundo sítio em Campina Grande/PB permitirá verificar se os padrões observados se mantêm ao longo do ciclo hidrológico completo e em gradiente pluviométrico distinto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Rodolfo Luiz Bezerra Nóbrega (UFCG) pela orientação, incentivo constante e contribuições fundamentais que moldaram este trabalho. À Dra. Magna Soelma Beserra de Moura (Embrapa Semiárido), minha gratidão pela coorientação e pelo empenho na instalação dos dendrômetros no Sítio Experimental Caatinga de Petrolina/PE, que contou também com o apoio de Joabe Santos de Almeida, empregado da Embrapa. Seu envolvimento direto em campo foi determinante para a realização deste estudo. Agradeço ainda ao pesquisador Bruce Kelly da Nobrega Silva (INSA, Campina Grande/PB) e ao bolsista de Iniciação Científica Bruno Farias pelo apoio e parceria nas atividades de campo.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. [*S. l.*]: Atelie Editorial, 2003.

ALBERT, C. H. *et al.* Intraspecific functional variability: extent, structure and sources of variation. **Journal of Ecology**, [*s. l.*], v. 98, n. 3, p. 604–613, 2010.

ARYAL, S. *et al.* "dendRoAnalyst": A tool for processing and analysing dendrometer data. **Dendrochronologia**, [*s. l.*], v. 64, p. 125772, 2020.

BAUMAN, D. *et al.* Tropical tree mortality has increased with rising atmospheric water stress. **Nature**, [*s. l.*], v. 608, n. 7923, p. 528–533, 2022.

BULLOCK, S. H.; MOONEY, H. A.; MEDINA, E. **Seasonally Dry Tropical Forests**. [*S. l.*]: Cambridge University Press, 1995.

CARVALHO, H. F. D. S.; MOURA, M. S. B. D.; SILVA, T. G. F. D. Fluxos de Radiação e Energia em Caatinga Preservada e Cana-de-Açúcar no Semiárido. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [*s. l.*], v. 33, n. 3, p. 452–458, 2018.

COCOZZA, C.; TOGNETTI, R.; GIOVANNELLI, A. High-Resolution Analytical Approach to Describe the Sensitivity of Tree–Environment Dependences through Stem Radial Variation. **Forests**, [*s. l.*], v. 9, n. 3, p. 134, 2018a.

COCOZZA, C.; TOGNETTI, R.; GIOVANNELLI, A. High-Resolution Analytical Approach to Describe the Sensitivity of Tree–Environment Dependences through Stem Radial Variation. **Forests**, [*s. l.*], v. 9, n. 3, p. 134, 2018b.

COCOZZA, C.; TOGNETTI, R.; GIOVANNELLI, A. High-Resolution Analytical Approach to Describe the Sensitivity of Tree–Environment Dependences through Stem Radial Variation. **Forests**, [*s. l.*], v. 9, n. 3, p. 134, 2018c.

DE SOUZA, B. C. *et al.* Drought response strategies of deciduous and evergreen woody species in a seasonally dry neotropical forest. **Oecologia**, [*s. l.*], v. 194, n. 1, p. 221–236, 2020.

EMBRAPA SEMIÁRIDO. Dados agrometeorológicos do Vale do São Francisco. Petrolina/PE: EMBRAPA Semiárido, 2026. Disponível em:https://datastudio.google.com/u/0/reporting/83744b6f-698e-488f-8ccb-8d1a9e2f6b8a/page/p_tszgmfdbvc. Acesso em: 15 de junho de 2026.

HARPER, A. B. *et al.* Improvement of modeling plant responses to low soil moisture in JULESvn4.9 and evaluation against flux tower measurements. **Geoscientific Model Development**, [*s. l.*], v. 14, n. 6, p. 3269–3294, 2021.

HASHEMI, R. *et al.* How can we benefit from regime information to make more effective use of long short-term memory (LSTM) runoff models?. **Hydrology and Earth System Sciences**, [*s. l.*], v. 26, n. 22, p. 5793–5816, 2022.

KLEIN, T.; COHEN, S.; YAKIR, D. Hydraulic adjustments underlying drought resistance of Pinus halepensis. **Tree Physiology**, [*s. l.*], v. 31, n. 6, p. 637–648, 2011.

KNÜSEL, S. *et al.* Processing and Extraction of Seasonal Tree Physiological Parameters from Stem Radius Time Series. **Forests**, [*s. l.*], v. 12, n. 6, p. 765, 2021.

LIMA, A. L. A.; RODAL, M. J. N. Phenology and wood density of plants growing in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, [*s. l.*], v. 74, n. 11, p. 1363–1373, 2010.

PAPPAS, C.; PETERS, R. L.; FONTI, P. Linking variability of tree water use and growth with species resilience to environmental changes. **Ecography**, [*s. l.*], v. 43, n. 9, p. 1386–1399, 2020.

PETERS, R. L. *et al.* Normalized tree water deficit: an automated dendrometer signal to quantify drought stress in trees. **New Phytologist**, [*s. l.*], v. 247, n. 3, p. 1186–1198, 2025a.

PETERS, R. L. *et al.* Normalized tree water deficit: an automated dendrometer signal to quantify drought stress in trees. **New Phytologist**, [*s. l.*], v. 247, n. 3, p. 1186–1198, 2025b.

PINEDA-GARCÍA, F.; PAZ, H.; MEINZER, F. C. Drought resistance in early and late secondary successional species from a tropical dry forest: the interplay between xylem resistance to embolism, sapwood water storage and leaf shedding. **Plant, Cell & Environment**, [*s. l.*], v. 36, n. 2, p. 405–418, 2013.

SANTOS, J. C. *et al.* Caatinga: The Scientific Negligence Experienced by a Dry Tropical Forest. **Tropical Conservation Science**, [*s. l.*], v. 4, n. 3, p. 276–286, 2011.

SILVA, J. M. C. da; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. [*S. l.*]: Springer, 2018.

TOBY PENNINGTON, R.; PRADO, D. E.; PENDRY, C. A. Neotropical seasonally dry forests and Quaternary vegetation changes. **Journal of Biogeography**, [*s. l.*], v. 27, n. 2, p. 261–273, 2000.

WRIGHT, C. L. *et al*. Plant functional types broadly describe water use strategies in the Caatinga, a seasonally dry tropical forest in northeast Brazil. **Ecology and Evolution**, [*s. l.*], v. 11, n. 17, p. 11808–11825, 2021.

ZWEIFEL, R. *et al.* Are trees able to grow in periods of stem shrinkage?. **New Phytologist**, [*s. l.*], v. 211, n. 3, p. 839–849, 2016.

ZWEIFEL, R. *et al.* Why trees grow at night. **New Phytologist**, [*s. l.*], v. 231, n. 6, p. 2174–2185, 2021.