

Trocas Gasosas Foliares em Plantas de Macaúba em Irrigação e Sequeiro e Doses de Adubação



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio-Norte
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
148**

**Trocas Gasosas Foliaves em
Plantas de Macaúba em Irrigação e
Sequeiro e Doses de Adubação**

*Carlos Antônio Ferreira de Sousa
Humberto Umbelino de Sousa
Simone Palma Favaro*

***Embrapa Meio-Norte
Teresina, PI
2023***

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na Embrapa Meio-Norte

Av. Duque de Caxias, 5.650,
Bairro Buenos Aires
Caixa Postal 01
CEP 64008-480, Teresina, PI
Fone: (86) 3198-0500
Fax: (86) 3198-0530

www.embrapa.br/meio-norte
Serviço de Atendimento ao Cidadão (SAC)
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Braz Henrique Nunes Rodrigues

Secretário-Executivo
Jeudys Araújo de Oliveira

Membros: *Lígia Maria Rolim Bandeira, Orlane da Silva Maia, Maria Eugênia Ribeiro, Kaesel Jackson Damasceno Silva, Ana Lúcia Horta Barreto, José Oscar Lustosa de Oliveira Júnior, Marcos Emanuel da Costa Veloso, Flávio Favaro Blanco, Francisco de Brito Melo, Izabella Cabral Hassum, Tânia Maria Leal, Francisco das Chagas Monteiro, José Alves da Silva Câmara.*

Supervisão editorial
Lígia Maria Rolim Bandeira

Revisão de texto
Francisco de Assis David da Silva

Normalização bibliográfica
Orlane da Silva Maia

Editoração eletrônica
Jorimá Marques Ferreira

Fotos da capa
Humberto Umbelino de Sousa

1ª edição

1ª impressão (2023): formato digital

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Meio-Norte

Sousa, Carlos Antônio Ferreira de.

Trocas gasosas foliares em plantas de macaúba em irrigação e sequeiro e doses de adubação / Carlos Antônio Ferreira de Sousa, Humberto Umbelino de Sousa, Simone Palma Favaro. – Teresina : Embrapa Meio-Norte, 2023.

PDF (19 p.) : il. ; 16 cm x 22 cm. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Meio-Norte, ISSN 1413-1455 ; 148).

1. Palmeira oleaginosa. 2. Fertilidade do solo. 3. Balanço hídrico. 4. Acrocomia aculeata. I. Sousa, Humberto Umbelino de. II. Favaro, Simone Palma. III. Embrapa Meio-Norte. IV. Título. V. Série.

CDD 584.5 (21. ed.)

Orlane da Silva Maia (CRB-3/915)

© Embrapa, 2023

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução.....	7
Material e Métodos	8
Resultados e Discussão	10
Conclusões.....	17
Agradecimentos.....	18
Referências	18

Trocas Gasosas Foliaves em Plantas de Macaúba em Irrigação e Sequeiro e Doses de Adubação

Carlos Antônio Ferreira de Sousa¹

Humberto Umbelino de Sousa²

Simone Palma Favaro³

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar as trocas gasosas foliares em plantas de macaúba sob irrigação ou sequeiro e doses de adubação. O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados com tratamentos 2×5 (irrigado e sequeiro × 0, 50, 100, 150 e 200% da dose recomendada de NPK), em parcelas subdivididas, com cinco repetições, com regime hídrico nas parcelas e doses de NPK em subparcelas. As plantas foram avaliadas durante a estação seca e chuvosa. Na estação chuvosa, a macaúba apresentou taxas de trocas gasosas muito maiores do que na estação seca, em ambos os regimes hídricos. As trocas gasosas foliares e o ganho de carbono foram favorecidos pela irrigação, na estação seca. Maiores perdas de água ocorreram com o aumento das doses de NPK, durante a estação chuvosa, sem ganho adicional de carbono. Em macaúba, o aumento das doses de adubação na estação seca provoca um aumento acentuado na taxa de transpiração.

Termos para indexação: *Acrocomia aculeata*, fertilização, regime hídrico.

¹Engenheiro-agrônomo, doutor em Biologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Meio-Norte

²Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Meio-Norte

³Engenheira-agrônoma, doutora em Biotecnologia, pesquisadora da Embrapa Agroenergia

Leaf Gas Exchange in Macaw Palm Plants Under Irrigation and Rainfed and Fertilization Rates

Abstract – The objective of this work was to evaluate leaf gas exchange in macaw palm plants under irrigation or rainfed and fertilization levels. The experimental design was in a randomized complete block with 2×5 (irrigated and rainfed × 0, 50, 100, 150 and 200% of the recommended dose of NPK) treatments, in split plots, with five replications, with water regime in plots and NPK doses in subplots. The plants were evaluated during the dry and rainy season. In rainy season, macaw palm showed much higher rates of gas exchange than in dry season, in both water regimes. Leaf gas exchange and carbon gain were favored by irrigation, in dry season. Greater water losses occurred with increasing in NPK doses, during the rainy season, without additional carbon gain. In macaw palm plants, increase in fertilization levels in dry season causes a sharp increase in transpiration ratio.

Index terms: *Acrocomia aculeata*, fertilization, water regime.

Introdução

A macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Martius] é uma palmeira perene, amplamente distribuída no Continente Americano, incluindo o México, as Antilhas, o Paraguai, a Argentina, o Uruguai e o Brasil (Moura et al., 2009; Ciconini et al., 2013). É uma palmeira de ocorrência natural em quase todo o território brasileiro (Pimentel et al., 2015), exceto nas costas nordeste e sul do País (Colombo et al., 2018). A macaúba é bastante conhecida pelas altas concentrações de óleos de alta qualidade armazenados no mesocarpo e sementes que podem ser utilizados para diversos fins industriais, como cosméticos, farmacêuticos, alimentícios e na produção de biocombustíveis (Ciconini et al., 2013; Santos et al., 2015).

É justamente pelo alto teor de óleo que a macaúba tem despertado interesse. Estima-se que uma plantação comercial de macaúba pode render de 16.000 kg a 25.000 kg por hectare de frutos e produzir até 6.200 kg por hectare de óleo (Pires et al., 2013). No entanto essa palmeira ainda é explorada em condições extrativistas para extração de óleo (Moura et al., 2009; Pimentel et al., 2016) e o pouco que se sabe sobre a planta advém principalmente de estudos com populações naturais. Já existem, porém, plantios comerciais na região Sudeste do Brasil, principalmente no estado de Minas Gerais, que visam apoiar programas de produção de biodiesel (Colombo et al., 2018). Tais plantios pioneiros incorporaram tecnologias utilizadas em outras palmeiras, uma vez que os resultados das pesquisas com a macaúba são bastante escassos (Abreu et al., 2012).

Apesar de ser uma planta que em seu habitat enfrenta um período prolongado de estiagem, não há relatos na literatura sobre irrigação de macaúba, visando ao suprimento de água. Portanto não se sabe se essa planta responde à irrigação. Além disso, o conhecimento atual sobre adubação em macaúba é limitado a poucos estudos sobre adubação de mudas, visando ao desenvolvimento inicial (Machado et al., 2016; Pimentel et al., 2016), e sobre a adubação de plantas em condições de campo nos primeiros anos de crescimento (Pimentel et al., 2015). Nesses estudos,

o foco está na avaliação de plantas por meio de medidas de crescimento de níveis de nutrientes, quase sem variáveis fisiológicas, como as trocas gasosas. No entanto é muito provável que tanto a fertilização quanto a irrigação afetem as trocas gasosas nas plantas, alterando o ambiente que as cerca (Allen et al., 2005). Assim, as trocas gasosas foliares podem ser utilizadas para avaliar as respostas da macaúba a esses fatores. O objetivo deste trabalho foi avaliar as trocas gasosas foliares em plantas de macaúba em irrigação ou sequeiro e níveis de adubação.

Material e Métodos

O estudo foi realizado na Unidade de Execução de Pesquisa da Embrapa Meio-Norte, em Parnaíba, PI, Brasil (03°04'14,3"S; 41°47'12,3"W, a 52 m acima do nível do mar). O experimento foi implantado em 2015 e as avaliações realizadas em 2021. O clima local é Aw, segundo Köppen-Geiger, com precipitação média anual de 1.019 mm e maior concentração de janeiro a abril. A umidade relativa média anual é de 74,9% e as médias das temperaturas máxima e mínima do ar são 32,8 °C e 23,2 °C, respectivamente (Bastos et al., 2018). O solo da área experimental é um Latossolo Amarelo Distrófico de textura arenosa (Andrade Junior et al., 2021). O solo foi analisado e apresentou as seguintes características: pH H₂O = 5,52; MO = 6,51 g kg⁻¹; P = 4,80 mg dm⁻³; K = 0,08 cmol_c dm⁻³; Ca = 0,91 cmol_c dm⁻³; Mg = 0,40 cmol_c dm⁻³; Na = 0,01 cmol_c dm⁻³; Al = 0,04 cmol_c dm⁻³; H+Al = 1,45 cmol_c dm⁻³; S = 1,40 cmol_c dm⁻³; CTC = 2,85 cmol_c dm⁻³; V = 49,09%; e m = 2,78%.

O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados, em que os tratamentos foram dispostos em esquema 2 × 5 (irrigado e sequeiro × 0%, 50%, 100%, 150% e 200% da dose recomendada de NPK) em parcelas subdivididas, com cinco repetições. O regime hídrico (irrigado e sequeiro) foi avaliado nas parcelas e as doses de NPK, nas subparcelas. A parcela experimental foi composta por cinco plantas.

Aos 60 dias antes do plantio das mudas de macaúba, foram aplicados

350 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico (30% CaO + 12% MgO, PRNT 95%) para elevar a saturação por bases para 60% (Pimentel et al., 2011), conforme análise do solo.

Mudas de macaúba com 1 ano de idade foram adquiridas de um viveiro comercial. O plantio foi realizado em abril de 2015, em covas com 50 cm de diâmetro e 50 cm de profundidade, no espaçamento de 5 m × 5 m. No plantio, foram aplicados na base da planta 150 g de calcário dolomítico (PRNT 95%), 20 L de esterco de curral, 10 g de FTE-BR12 e fertilizante fosfatado (quantidade correspondente à dose do primeiro ano, de acordo com o tratamento).

No regime hídrico em irrigação, foi utilizado um microaspersor por planta, instalado a 30 cm do caule, com vazão de água de 70 L h⁻¹. O manejo da irrigação foi realizado de acordo com a evapotranspiração de referência (ET_o), tomando-se como base 100% da taxa de evaporação de um tanque classe A (K_c = 1,0), com intervalo de irrigação de 2 dias. No regime de sequeiro, as plantas dependeram exclusivamente das chuvas.

Os tratamentos de adubação consistiram em cinco doses de NPK. As doses utilizadas foram 0%, 50%, 100%, 150% e 200% da quantidade de NPK recomendada para macaúba por Pimentel et al. (2011). A dose recomendada de NPK consistiu nas seguintes quantidades de N, P₂O₅ e K₂O aplicadas por planta por ano: 2015 = 90 g, 165 g e 90 g; 2016 = 100 g, 100 g e 148 g; 2017 = 120 g, 120 g e 192 g; 2018 = 140 g, 140 g e 224 g; 2019 = 160 g, 160 g e 224 g; 2020 = 180 g, 180 g e 320 g; 2021 = 200 g, 200 g e 340 g. A partir da dose recomendada de NPK, a quantidade de adubo para cada tratamento foi aplicada da seguinte forma: 0% (sem adubação), 50% (metade da dose recomendada), 100% (dose recomendada, conforme descrito acima), 150% (1,5 x dose recomendada) e 200% (2,0 x dose recomendada). Ureia (45% N), superfosfato simples (18% P₂O₅) e cloreto de potássio (58% K₂O) foram utilizados como fontes de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente.

Em abril e em outubro de 2021, que correspondem ao pico das estações chuvosa e seca, respectivamente, quando as macaúbas já tinham 6 anos de idade, foram realizadas medidas de trocas gasosas na segunda ou na terceira folha (de cima para baixo) saudável, totalmente expandida, no

folíolo médio da raquis, conforme recomendação de Pires et al. (2013). As medições foram realizadas por meio de um analisador de gases por infravermelho LI-COR mod. 6400XT (LI-COR, Lincoln, NE, EUA), equipado com uma cabeça de medição 2 cm × 3 cm e um sistema de iluminação artificial LED modelo 6400-02B. O equipamento foi configurado para manter a umidade relativa entre 50-60% e intensidade luminosa de 1.500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na cabeça de medição, temperatura do bloco em 30 °C e taxa de fluxo em 400 $\mu\text{mol s}^{-1}$. A concentração de CO_2 na célula de referência foi controlada a 400 ppm, usando-se um misturador de CO_2 modelo 6400-01. Foram avaliadas as seguintes variáveis de trocas gasosas: taxa líquida de assimilação de CO_2 (A), condutância ao vapor d'água (g_s), taxa de transpiração (E) e concentração intercelular de CO_2 (C_i). Essas variáveis foram calculadas com base nas equações descritas no manual do usuário do LI-COR 6400XT (www.licor.com/documents/s8zyqu2vwndny903qutg). A eficiência da transpiração ao nível da folha foi determinada como razão de transpiração, calculada como a razão entre a transpiração instantânea (E) e a assimilação líquida de CO_2 (A) = E/A .

Todos os dados foram submetidos à análise de variância segundo Snedecor e Cochran (1967). Nos casos em que apenas um dos fatores em estudo foi significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Nos casos em que a interação foi significativa, uma equação de regressão foi ajustada.

Resultados e Discussão

Na estação chuvosa, a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A) e a razão de transpiração (E/A) diferiram com os regimes hídricos (irrigado e sequeiro), enquanto a taxa de transpiração (E) e a condutância estomática (g_s) responderam à interação entre regime hídrico e doses de adubação (**Tabela 1**). A concentração intercelular de CO_2 (C_i) não se alterou devido a nenhum dos fatores em estudo. Na estação seca (**Tabela 2**), A , E e g_s responderam ao regime hídrico, C_i permaneceu inalterado, enquanto E/A respondeu à interação.

Tabela 1. Resumo das análises de variância das variáveis de trocas gasosas foliares em *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. submetida a dois regimes hídricos e cinco doses de adubação durante a estação chuvosa em Parnaíba, PI, Brasil. Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), taxa de transpiração (E), taxa de condutância estomática (gs), concentração intercelular de CO₂ (Ci) e razão de transpiração (E/A).

FV	GL	Variável de troca gasosa (quadrado médio)				
		A	E	gs	Ci	E/A
Regime hídrico (RH)	1	72,7218**	20,2248**	0,086528*	746,524800 ^{ns}	23228*
Bloco	4	7,7373 ^{ns}	1,6893 ^{ns}	0,009263 ^{ns}	305,827800 ^{ns}	5080 ^{ns}
Erro 1	4	1,7803	0,4093	0,005993	707,216.800	2,935
Doses de adubação (DA)	4	10,0643 ^{ns}	0,7763 ^{ns}	0,004153 ^{ns}	154,728300 ^{ns}	3454 ^{ns}
RH x DA	4	5,0913 ^{ns}	1,1133*	0,008433*	184,642300 ^{ns}	2086 ^{ns}
Erro 2	32	5,4738	0,389175	0,002936	150,160.425	2,159
Total	49					
CV 1 (%)		13,18	18,95	35,91	9,24	16,24
CV 2 (%)		23,11	18,48	25,13	4,26	13,93
Média		10,126	3,376	0,2156	288	333

^{ns}Não significativo. * e ** Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 2. Resumo das análises de variância das variáveis de trocas gasosas foliares em *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. submetida a dois regimes hídricos e cinco doses de adubação durante a estação seca em Pamaíba, PI, Brasil. Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), taxa de transpiração (E), taxa de condutância estomática (gs), concentração intercelular de CO₂ (Ci) e razão de transpiração (E/A).

FV	GL	Variável de troca gasosa (quadrado médio)				
		A	E	gs	Ci	E/A
Regime hídrico (RH)	1	7,93*	0,329802**	0,000643**	23730 ^{ns}	687563 ^{ns}
Bloco	4	1,42 ^{ns}	0,122193*	0,000315*	7080 ^{ns}	144400 ^{ns}
Erro 1	4	0,88	0,012094	0,000023	6765	267411
Doses de adubação (DA)	4	0,22 ^{ns}	0,006144 ^{ns}	0,000021 ^{ns}	2938 ^{ns}	295300 ^{ns}
RH x DA	4	0,92 ^{ns}	0,040655 ^{ns}	0,000128 ^{ns}	4742 ^{ns}	330227*
Erro 2	32	0,77	0,035715	0,000113	2400	110900
Total	49					
CV 1 (%)		78,95	43,91	36,27	33,7	154,23
CV 2 (%)		73,77	75,45	79,95	20,24	99,32
Média		1,19	0,250464	0,013286	242	335

^{ns}Não significativo. * e **Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente

Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A)

Apenas o regime hídrico influenciou A em ambas as estações (**Tabelas 1 e 2**). Na estação chuvosa, o maior valor de A foi obtido nas plantas cultivadas em sequeiro, enquanto na estação seca o maior valor de A foi observado nas plantas cultivadas com irrigação. Na estação chuvosa, A foi muito maior do que na estação seca em ambos os regimes hídricos (**Tabela 3**).

Tabela 3. Comparação das médias de taxa de assimilação líquida de CO₂ (A, $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de condutância estomática (gs, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de transpiração (E, $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e razão de transpiração (E/A, $\text{mol H}_2\text{O/mol CO}_2$) em folhas de plantas de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. submetidas a dois regimes hídricos, de acordo com a estação do ano.

Regime hídrico	Variável de troca gasosa				
	A		gs	E	E/A
	Estação		Estação	Estação	Estação
	Chuvosa	Seca	Seca	Seca	Chuvosa
Irrigado	8,92b	1.59a	0,016872a	0,331680a	312,092b
Sequeiro	11,33a	0.79b	0,009700b	0,169248b	355,200a

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem uma da outra pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O fato de A ter sido maior em sequeiro do que com irrigação na estação chuvosa deve-se, provavelmente, ao fato de que as plantas de macaúba em sequeiro cresceram menos e suas copas foram submetidas a pleno sol. Já as plantas irrigadas cresceram mais e suas copas apresentaram sombreamento mútuo, o que reduz a densidade estomática e, conseqüentemente, a entrada de CO₂ por área foliar para a fotossíntese (Streck, 2003; Kardiman; Raebild, 2018). Na estação seca, como esperado, a irrigação favoreceu A. Mesmo assim, os valores de A obtidos com irrigação na estação seca foram muito inferiores aos obtidos na estação chuvosa, em ambos os regimes hídricos. Isso significa que

não basta apenas fornecer água no solo, para que a macaúba atinja seu A máximo potencial. Além disso, deve haver vapor de água na atmosfera, uma vez que as respostas estomáticas ao deficit de pressão de vapor (DPV) são o principal meio pelo qual as plantas vasculares terrestres regulam a transpiração diurna, com os estômatos normalmente fechando em alto DPV (estação seca) e abrindo em baixo DPV (estação chuvosa) (Eamus; Shanahan, 2002; McAdam; Brodribb, 2015).

Taxas de condutância estomática (g_s) e transpiração (E)

Na estação chuvosa, por partição do efeito de interação dos níveis de adubação em cada regime hídrico, a condutância estomática e as taxas de transpiração foram significativas apenas no tratamento com irrigação. Assim, aumentos dos níveis de adubação causaram aumento linear em g_s e E nas plantas irrigadas. Nas plantas de sequeiro, ambas as variáveis praticamente não se alteraram em função dos níveis de adubação, embora tenham permanecido superiores às das plantas irrigadas (**Figuras 1 e 2**). As plantas cultivadas em condições de sequeiro, como suas copas estavam em pleno sol, gastaram mais água para resfriamento, como pode ser concluído pela maior condutância estomática e pela taxa de transpiração.

Na estação seca, as menores taxas de condutância estomática e de transpiração foram observadas em plantas cultivadas em sequeiro (**Tabela 3**). Há muito foi estabelecido que durante a seca a g_s diminui, reduzindo a perda de água da folha (Brodribb, 1996). Em geral, as taxas de trocas gasosas foliares em plantas de macaúba foram favorecidas pela irrigação apenas na estação seca. Assim, A , g_s e E nas plantas irrigadas foram maiores do que nas plantas de sequeiro (Tabela 3).

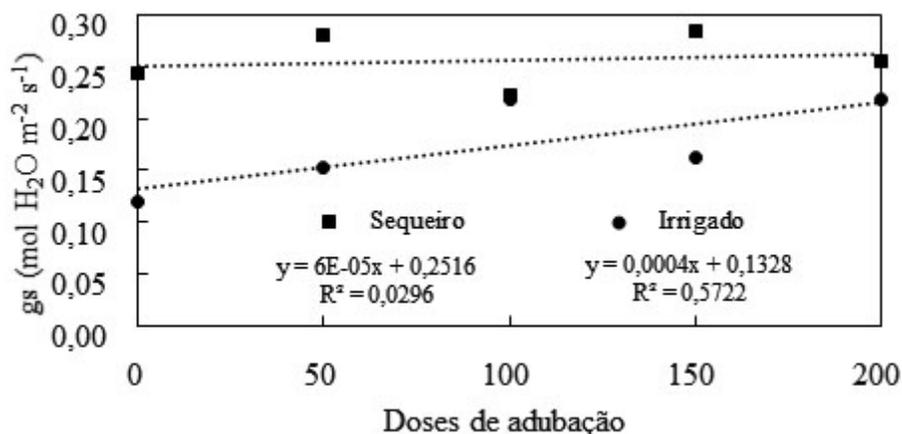


Figura 1. Taxa de condutância estomática nas folhas de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. submetida a dois regimes hídricos diferentes e cinco doses de adubação durante a estação chuvosa em Parnaíba, PI, Brasil.

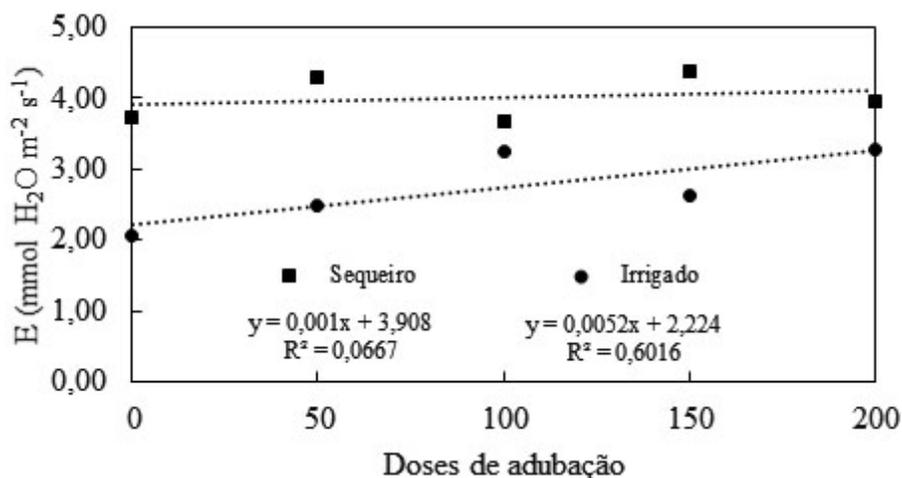


Figura 2. Taxa de transpiração nas folhas de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. submetida a dois regimes hídricos diferentes e cinco doses de adubação durante a estação chuvosa em Parnaíba, PI, Brasil.

Razão de transpiração (E/A)

Na estação chuvosa, a razão de transpiração foi influenciada apenas pelo regime hídrico (**Tabela 1**). Nesse caso, a maior média para essa variável foi observada em plantas cultivadas em regime de sequeiro (**Tabela 3**). Na partição do efeito de interação dos níveis de adubação dentro de cada regime hídrico, na estação seca, a razão de transpiração foi significativa apenas no tratamento de sequeiro. Assim, em cultivo de sequeiro, houve aumento linear da razão de transpiração em função do aumento das doses de adubação, enquanto praticamente não houve alteração dessa variável no regime irrigado (**Figura 3**).

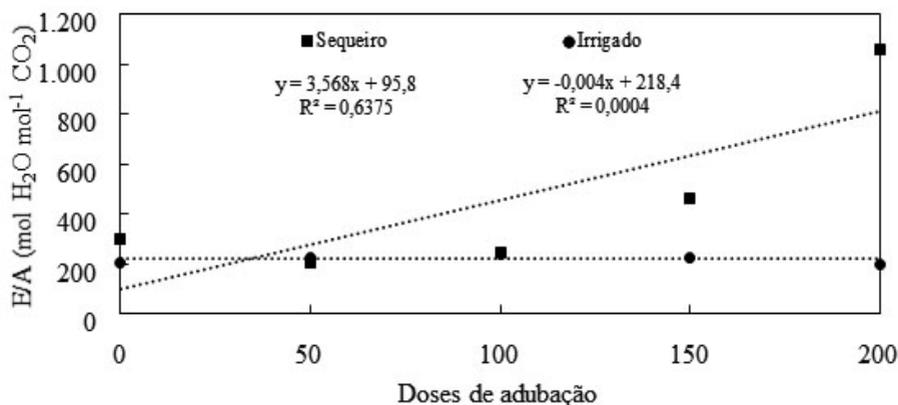


Figura 3. Razão de transpiração nas folhas de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart. submetida a dois regimes hídricos diferentes e cinco doses de adubação durante a estação seca em Parnaíba, PI, Brasil.

A razão de transpiração é uma variável utilizada para avaliar o dilema entre a perda de água por transpiração e a assimilação de CO_2 pela fotossíntese. Assim, quanto menor a razão de transpiração, mais eficiente é a planta no uso da água. O aumento da taxa de transpiração apresentada pela macaúba em condições de sequeiro e com níveis

crescentes de adubação indica que a planta está usando mais água para resfriamento ou está assimilando menos carbono por meio da fotossíntese. Seja o que for, em condições de seca, é geralmente aceito que o custo de carbono em água para a planta aumentará (Kelly et al., 2016).

Concentração intercelular de CO_2 (C_i)

C_i indica essencialmente o substrato de CO_2 disponível para A (Tominaga et al., 2018). A falta de resposta do C_i às doses de adubação e ao regime hídrico sugere que a diminuição de A observada nas plantas de macaúba na estação seca, em ambos os regimes hídricos, está mais relacionada às restrições estomáticas impostas à entrada de CO_2 do que a qualquer restrição mesofílica a sua assimilação (Mota e Cano, 2016). De fato, a concentração intercelular de CO_2 foi ainda menor na estação seca do que na estação chuvosa. Isso fornece mais evidências de que o CO_2 que chegou no espaço aéreo intercelular estava sendo usado para a fotossíntese.

Conclusões

1. As maiores taxas de trocas gasosas foliares em macaúba ocorrem na estação chuvosa.
2. As trocas gasosas foliares e o ganho de carbono em macaúba são favorecidos pela irrigação apenas na estação seca.
3. O aumento das doses de adubação em até 200% do nível recomendado de NPK traz maiores perdas de água para a macaúba durante a estação chuvosa, sem ganho adicional de carbono, e provoca um aumento acentuado da taxa de transpiração durante a estação seca.

Agradecimentos

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro.

Referências

ABREU, A. G.; PRIOLLI, R. H. G.; AZEVEDO FILHO, J. A.; NUCCI, S. M.; ZUCCHI, M. I.; COELHO, R. M.; COLOMBO, C. A. The genetic structure and mating system of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae). **Genetics and Molecular Biology**, v. 35, n. 1, p. 119-121, Jan. 2012. DOI: 10.1590/s1415-47572012005000002.

ALLEN, C. B.; WILL, R. E.; MCGARVEY, R. C.; COYLE, D. R.; COLEMAN, M. D. Radiation-use efficiency and gas exchange responses to water and nutrient availability in irrigated and fertilized stands of sweetgum and sycamore. **Tree Physiology**, v. 25, n. 2, p. 191-200, 2005. DOI: 10.1093/treephys/25.2.191.

ANDRADE JUNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; SOUSA, C. A. F. de; CASARI, R. A. das C. N.; RODRIGUES, B. H. N. Water status evaluation of maize cultivars using aerial images. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 2, p. 432-442, abr./jun. 2021. DOI: 10.1590/1983-21252021v34n219rc.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; RODRIGUES, B. H. N.; SANTOS, F. J. de S. **Boletim agrometeorológico de 2017 para o município de Parnaíba, PI**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2018. 37 p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 251).

BRODRIBB, T. Dynamics of changing intercellular CO₂ concentration (C_i) during drought and determination of minimum functional C_i. **Plant physiology**, v. 111, n. 1, p. 179-185, 1996. DOI: 10.1104/pp.111.1.179.

CICONINI, G.; FAVARO, S. P.; ROSCOE, R.; MIRANDA, C. H. B.; TAPETI, C. F.; MIYAHIRA, M. A. M.; BEARARI, L.; GALVANI, F.; BORSATO, A. V.; COLNAGO, L. A.; NAKA, M. H. Biometry and oil contents of *Acrocomia aculeata* fruits from the Cerrados and Pantanal biomes in Mato Grosso do Sul, Brazil. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 208-214, Feb. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.12.008>.

COLOMBO, C. A.; BERTON, L. H. C.; DIAZ, B. G.; FERRARI, R. A. Macauba: a promising tropical palm for the production of vegetable oil. **OCL - Oilseeds and fats, Crops and Lipids**, v. 25, n. 1, p. 1-9, Jan./Feb. 2018. DOI: 10.1051/ocl/2017038.

EAMUS, D.; SHANAHAN, S. T. A rate equation model of stomatal responses to vapour pressure deficit and drought. **BMC Ecology**, v. 2, n. 1, p. 1-14, 2002. DOI: 10.1186/1472-6785-2-8.

KARDIMAN, R.; RAEBILD, A. Relationship between stomatal density, size and speed of opening in Sumatran rainforest species. **Tree Physiology**, v. 38, n. 5, p. 696-705, 2018. DOI: 10.1093/treephys/tpx149.

KELLY, J. W. G.; DUURSMA, R. A.; ATWELL, B. J.; TISSUE, D. T.; MEDLYN, B. E. Drought X CO₂ interactions in trees: a test of the low-intercellular CO₂ concentration (Ci) mechanism. **New Phytologist**, v. 209, n. 4, p. 1600-1612, 2016. DOI: 10.1111/nph.13715.

MACHADO, W.; FIGUEIREDO, A.; GUIMARÃES, M. F. Initial development of seedlings of macauba palm (*Acrocomia aculeata*). **Industrial Crops and Products**, v. 87, p. 14-19, Sep. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.022>.

MCADAM, S. A. M.; BRODRIBB, T. J. The evolution of mechanisms driving the stomatal response to vapor pressure deficit. **Plant Physiology**, v. 167, n. 3, p. 833-843, 2015. DOI: 10.1104/pp.114.252940.

MOTA, C. S.; CANO, M. A. O. Matter accumulation and photosynthetic responses of macaw palm to cyclical drought. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 4, p. 850-858, out./dez. 2016. DOI: 10.1590/1983-21252016v29n409rc.

MOURA, E. F.; MOTOYKE, S. Y.; VENTRELLA, M. C.; SÁ JÚNIOR, A. Q.; CARVALHO, M. Somatic embryogenesis in macaw palm (*Acrocomia aculeata*) from zygotic embryos. **Scientia Horticulturae**, v. 119, n. 4, p. 447-454, 2009. DOI:10.1016/j.scienta.2008.08.033.

PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H.; MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; MARTINEZ, H. E. P. Substrate, lime, phosphorus and topdress fertilization in macaw palm seedling production. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 235-244, mar./abr. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000200006>

PIMENTEL, L. D.; BRUCKNER, C. H.; MARTINEZ, H. E. P.; MOTOIKE, S. Y.; MANFIO, C. E.; SANTOS, F. C. Effect of nitrogen and potassium rates on early development of macaw palm. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39; p. 1671-1680, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbcs20140352.

PIMENTEL, L. D.; MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; PAES, J. M. V.; BRUCKNER, C. H. Coeficientes técnicos e custos de produção do cultivo da macaúba. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 265, p. 61-69, nov./dez. 2011.

PIRES, T. P.; SOUZA, E. dos S.; KUKI, K. N.; MOTOIKE, S. Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: a contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200-210, Jan. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.09.029>.

SANTOS, H. C. M. dos; RIBEIRO, L. M.; SIMÕES, M. O. M.; SANTOS, B. F. S. Ontogenesis of the pseudomonomerous fruits of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae): a new approach to the development of pyrenarium fruits. **Trees**, v. 29, p. 199-214, 2015. DOI: 10.1007/s00468-014-1104-0.

SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. G. **Statistical methods**. 6th ed. Ames: Iowa State University, 1967. 593 p.

STRECK, N. A. Stomatal response to water vapor pressure deficit: an unsolved issue. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 4, p. 317-322, out./dez. 2003. DOI: 10.18539/CAST.V9I4.649.

TOMINAGA, J.; SHIMADA, H.; KAWAMITSU, Y. Direct measurement of intercellular CO₂ concentration in a gas-exchange system resolves overestimation using the standard method. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 8, p. 1981-1991, 2018. DOI: 10.1093/jxb/ery044.

Embrapa

Meio-Norte



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA
E PECUÁRIA

