

# Trocas Gasosas Foliaves de Imburana-de-Cheiro (*Amburana cearensis*) em Função da Concentração de Dióxido de Carbono no Ar

*Saulo de Tarso Aidar*<sup>1</sup>, *Daniilo Diego de Souza*<sup>2</sup>, *Ana Valéria de Souza*<sup>1</sup>, *Flávio José Vieira de Oliveira*<sup>3</sup>

## Resumo

Foram realizadas medidas de assimilação líquida fotossintética de CO<sub>2</sub> (A,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), transpiração (E,  $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>,  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) em tecidos foliares de mudas de *Amburana cearensis* submetidas a diferentes concentrações de CO<sub>2</sub> no ar (C<sub>a</sub>,  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) e duas condições de luminosidade: radiação solar plena e sombreamento de 50%. A partir dos dados obtidos, foram ajustadas curvas de resposta em função de C<sub>i</sub>. O aumento de C<sub>a</sub> de 380 para 550  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  resultou em valores de C<sub>i</sub> em torno de 280  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ , sem diferenças substanciais entre os tratamentos luminosos. Este aumento de C<sub>i</sub> resultou em um incremento médio de 23,7% na fotossíntese. A saturação fotossintética ocorreu sob C<sub>i</sub> médio de 630  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ , correspondente a um valor de C<sub>a</sub> acima de 1000  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ . O aumento fotossintético ocorreu sob diminuição da condutância estomática e, conseqüentemente, da transpiração, resultando em um aumento da eficiência de uso da água. Desta maneira, o aumento da concentração de dióxido de carbono no ar atmosférico pode potencializar a assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub> sob seca em *Amburana cearensis*.

**Palavras-chave:** condutância estomática, eficiência de uso da água, fotossíntese.

## Introdução

Um dos efeitos mais preocupantes e imediatos do acúmulo de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, juntamente com os demais gases de efeito estufa (GEE), é o aumento da temperatura do ar. Em função deste aquecimento, prevê-se um aumento da variabilidade climática, com maior frequência de secas ou excessos de chuvas e prejuízos para a produtividade agrícola (PACHAURI; REISINGER, 2007). Desta maneira, o estoque de CO<sub>2</sub> pelas plantas consiste uma forma de mitigação das mudanças climáticas (GIONGO et al., 2011). No entanto, pouco se sabe sobre as respostas de espécies arbóreas tropicais ao acúmulo de CO<sub>2</sub> na atmosfera (PIMENTEL, 2011), sendo esta questão de extrema importância considerando-se que as florestas representam cerca de 50% do carbono sequestrado na biomassa terrestre (LONG et al., 2006).

<sup>1</sup> D.Sc., Pesquisador (a) da Embrapa Semiárido, BR 428, km 152, Zona Rural, caixa postal 23, Petrolina, PE – Brasil, CEP 56302-970. E-mail: saulo.aidar@cpatsa.embrapa.br.

<sup>2</sup> Estudante de Ciências Biológicas da Universidade de Pernambuco, BR 203, km2 S/N, Campus Universitário, Petrolina, PE.

<sup>3</sup> Professor da Universidade do Estado da Bahia, Campus Juazeiro, Av. Edgard Chastinet, São Geraldo, Juazeiro, BA, CEP 48905-680.

O bioma Caatinga, entre algumas características funcionais de suas espécies vegetais, apresenta a notável capacidade de resistência à seca e a altas temperaturas do ar, com diferentes estratégias de vida apropriadas para sobreviver aos períodos mais longos de seca, conhecidos em todo o território brasileiro, típicos do clima no semiárido. Considerando que a vegetação arbórea nativa da Caatinga contribui para o sequestro de carbono, uma vez que a fixação fotossintética do CO<sub>2</sub> em sua biomassa tende a diminuir a taxa de acúmulo deste gás na atmosfera inibindo seus efeitos prejudiciais para a estabilidade climática, torna-se importante conhecer as respostas fotossintéticas de suas espécies ao aumento da concentração de dióxido de carbono no ar atmosférico. A colocação destas questões sobre o comportamento de plantas da Caatinga é especialmente importante pelo fato de sua capacidade de resistência à seca e a altas temperaturas poder favorecer sua manutenção em uma condição futura de aumento da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico para 550 μmol mol<sup>-1</sup> e da temperatura do ar entre 1,8 e 5,8 °C, conforme previsões apresentadas por Pachauri e Reisinger (2007) para o ano de 2050.

A *Amburana cearensis* (Allemão) A. C. Smith (Fabaceae), popularmente conhecida como imburana-de-cheiro, é uma espécie arbórea nativa da Caatinga que se destaca pela resistência à seca por meio da formação de raízes tuberosas e da perda de folhas na estação seca, entre outros fatores, sendo estes mecanismos especialmente recorrentes no bioma. Devido a sua representatividade em termos de distribuição ampla não somente no semiárido, onde é frequente, mas também em outras regiões climáticas do país (RAMOS et al., 2004), esta espécie foi utilizada neste estudo com o objetivo de se verificar o efeito do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> do ar atmosférico nas trocas gasosas foliares.

## Materiais e Métodos

O estudo foi realizado com mudas de *Amburana cearensis* produzidas a partir de sementes coletadas de um total de 65 árvores de ocorrência espontânea nos municípios de Petrolina, PE (Uruás), Juazeiro, BA (mangas) e Lagoa Grande, PE (Barra Bonita, Baixa do Juazeiro e Açude Saco) durante o período de agosto a setembro de 2010, correspondente à época de frutificação da espécie.

As sementes foram semeadas em solo de ocorrência natural coletado na Embrapa Semiárido, no interior de sacolas de polietileno, com o hilo posicionado lateralmente e na profundidade de, aproximadamente, 1 cm. As sacolas semeadas foram mantidas no interior de viveiro sob sombreamento de 50% (Sombrite). Após 60 dias contados a partir da semeadura, metade do número total de plântulas foi transferida para a condição de insolação direta, com densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) média de 1600 μmol fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> no horário das 8h às 11h da manhã, tendo sido mantida a outra metade no interior do viveiro, sob DFFF média de 800 μmol fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> também no horário entre 8h e 11h. As plantas foram mantidas nestas condições pelo período de 60 dias (mudas de 4 meses), ao final do qual foram iniciadas as avaliações de trocas gasosas nos dois grupos. As avaliações de trocas gasosas foram realizadas ao longo de 5 dias consecutivos, sempre no período da manhã entre as 9h e 11h, em quatro a cinco plantas por grupo. Para tanto, foi utilizado um analisador de gás por infravermelho (IRGA, LI-6400XT, Licor) para a realização de curvas de resposta da assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A, μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), transpiração (E, mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), condutância estomática (g<sub>s</sub>, mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>, μmol mol<sup>-1</sup>) em função da

concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> (C<sub>a</sub>, μmol mol<sup>-1</sup>) de acordo com as equações descritas em Caemmerer e Farquhar (1981). O C<sub>a</sub> foi aumentado injetando-se CO<sub>2</sub> no interior da câmara de avaliação de trocas gasosas foliares do IRGA. A concentração de CO<sub>2</sub> foi alterada gradualmente de 400 μmol mol<sup>-1</sup> até 50 μmol mol<sup>-1</sup> e em seguida aumentada até 2000 μmol mol<sup>-1</sup>. Durante a realização das medidas, foi utilizada uma densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) de 1200 μmol fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, valor suficiente para promover a saturação luminosa da fotossíntese para esta espécie (dados não apresentados).

A partir dos dados obtidos foram ajustadas curvas para as respostas de A em função de C<sub>i</sub> com o programa OriginPro 8, de acordo com a equação descrita em Prado e Moraes (1997). A partir das curvas ajustadas, foram obtidos parâmetros como: k = constante relacionada à convexidade da curva; PCCO<sub>2</sub> = ponto de compensação de CO<sub>2</sub>; A<sub>máx</sub> = assimilação máxima de CO<sub>2</sub>; PSCO<sub>2</sub> = ponto de saturação de CO<sub>2</sub> (estimado calculando-se o valor do eixo X no qual A alcançou 90% do A<sub>máx</sub>). As demais curvas foram ajustadas em função de equações exponenciais que apresentaram maiores coeficientes de correlação (r) dentre aquelas disponibilizadas pelo programa estatístico. As equações utilizadas são descritas nos títulos das figuras.

## Resultados e Discussão

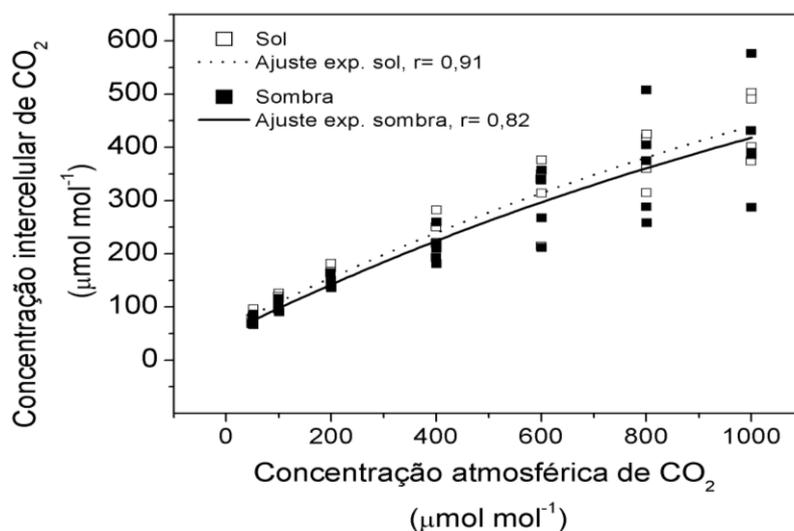
Os resultados de aumento C<sub>i</sub> bem como das trocas gasosas foliares em função do aumento de C<sub>a</sub> não diferiram substancialmente entre os grupos de plantas cultivadas sob sombreamento e sol pleno (Figuras 1 e 2). Foi verificado que para um valor de C<sub>a</sub> de 550 μmol mol<sup>-1</sup> obteve-se um C<sub>i</sub> de 275 e 290 μmol mol<sup>-1</sup>, aproximadamente, para as plantas sob sombreamento e sol pleno, respectivamente (Figura 1). Estes valores de C<sub>i</sub>, no entanto, não foram suficientes para causar a saturação fotossintética de *A. cearensis* (Figura 2a).

Nas condições atuais de concentração de gases da atmosfera, as plantas com ciclo fotossintético do tipo C<sub>3</sub> não desempenham todo seu potencial fotossintético devido à competição existente entre O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> pelo sítio de ligação da Rubisco. Calcula-se que 25% das enzimas ligam-se normalmente ao O<sub>2</sub> promovendo a fotorrespiração ao invés de ligar-se ao CO<sub>2</sub> (TAIZ; ZEIGER, 1998). Neste estudo, o aumento de C<sub>i</sub> causou o aumento da fotossíntese (A) de *A. cearensis* (Figura 2a), como era de se esperar. Isso ocorreu, provavelmente, devido a um aumento da velocidade de carboxilação da Rubisco, em detrimento de sua propriedade de oxigenação (fotorrespiração), até resultar na saturação da atividade enzimática representada pela estabilização da curva a partir dos valores de C<sub>i</sub> de 615 e 643 μmol mol<sup>-1</sup> para as condições de sombreamento e sol pleno, respectivamente (Tabela 1). O aumento de A em função do aumento de C<sub>i</sub> é chamado de efeito fertilizante do CO<sub>2</sub> (LONG et al., 2006).

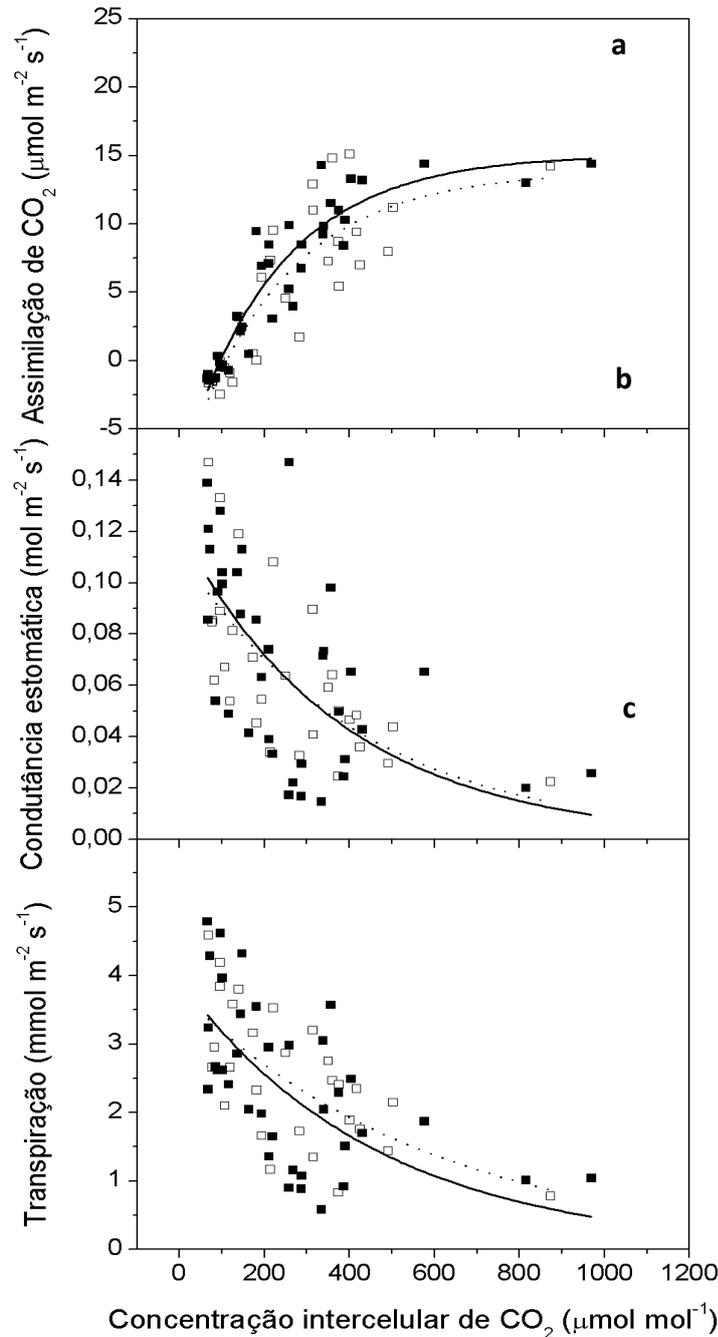
**Tabela 1.** Parâmetros da curva ajustada de resposta de A em função de C<sub>i</sub> para mudas de *A. cearensis* crescidas sob as condições de sol pleno e sombreamento.

	K	PCCO <sub>2</sub>	PSCO <sub>2</sub>	A <sub>máx</sub>	A <sub>90% máx</sub>
<b>Sol</b>	0,00432	110,9	643,93	13,87	12,49
<b>Sombra</b>	0,00443	96	615,77	15,09	13,58

De acordo com estimativas baseadas no modelo ajustado, um aumento de  $C_a$  de 380 para 550  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  resultou em um aumento de  $A$  de 9,7 para 12  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , correspondente a 23,7%. Além disso, o aumento fotossintético ocorreu sob diminuição da condutância estomática e, conseqüentemente, da transpiração (Figura 2b e 2c), resultando em uma maior economia de água transpirada em relação à quantidade de  $\text{CO}_2$  absorvido, o que aumentou a eficiência de uso da água. Dessa forma, este tipo de resposta pode potencializar a assimilação de  $\text{CO}_2$  sob seca. Em concordância com estes resultados, Leakey et al. (2009) estabeleceram que o aumento de  $C_a$  para plantas  $\text{C}_3$  cultivadas em sistemas do tipo FACE (do inglês “free air  $\text{CO}_2$  enriched”) instalados em campo também causa o aumento da assimilação fotossintética de  $\text{CO}_2$  e da produção de biomassa, assim como a diminuição da condutância estomática e da produção de Rubisco, que resultam no aumento da eficiência de uso da água e do nitrogênio (LEAKEY et al., 2009).



**Figura 1.** Correlação entre concentração atmosférica de  $\text{CO}_2$  ( $C_a$ ) e concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) em mudas de *A. cearensis* crescidas sob sol pleno e sombreamento. Equação utilizada:  $Y = Y_0 + A^{(-x/t)}$



Equation	y = a*(1-exp(-c*(x-b)))		
Adj. R-Square	0,7297		
		Value	Standard Error
foto	a	13,87527	3,03681
foto	b	110,9287	13,26197
foto	c	0,00432	0,00178

Equation	y = a*(1-exp(-c*(x-b)))		
Adj. R-Square	0,86552		
		Value	Standard Error
foto	a	15,0931	1,52125
foto	b	96,00468	7,91101
foto	c	0,00443	8,93248E-4

Equation	y = a*b^x		
Adj. R-Square	0,43386		
		Value	Standard Error
gs	a	0,1127	0,01345
gs	b	0,99765	5,78337E-4

Equation	y = a*b^x		
Adj. R-Square	0,34031		
		Value	Standard Error
gs	a	0,12122	0,01632
gs	b	0,99739	7,03452E-4

Equation	y = a*b^x		
Adj. R-Square	0,40271		
		Value	Standard Error
E	a	3,77334	0,37334
E	b	0,99832	4,30987E-4

Equation	y = a*b^x		
Adj. R-Square	0,3612		
		Value	Standard Error
E	a	3,95101	0,44587
E	b	0,99784	5,52393E-4

**Figura 2:** (a) Assimilação de CO<sub>2</sub> (A), (b) condutância estomática (g<sub>s</sub>) e (c) transpiração (E) em função da concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>) em mudas de *A. cearensis* crescidas sob sol pleno (n= 3) e 50% de sombreamento (n= 3). Equação utilizada em (a):  $A = A_{\text{máx}}(1 - e^{-k(C_i - P_{\text{CO}_2})})$ . Equações utilizadas em (b) e (c):  $Y = AB^{C_i}$ .

No entanto, com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> no ar há uma tendência de aumento do metabolismo respiratório para suprir a demanda energética exigida pelo aumento da produtividade primária (LEAKEY et al., 2009), bem como do metabolismo do amido, cujo aumento pode resultar em acúmulo de carboidratos não estruturais que, por sua vez, podem inibir a fotossíntese (LONG et al., 2006). Além disso, o aumento de C<sub>a</sub> deve ser acompanhado de um aumento da temperatura do ar e da frequência de eventos de seca. O aquecimento foliar causa a diminuição da eficiência de carboxilação da Rubisco promovendo a fotorrespiração.

A seca, por sua vez, causa o fechamento estomático que impede a absorção de CO<sub>2</sub>. Além disso, dependendo do nível de desidratação foliar, pode ocorrer inibição metabólica e fotoquímica da fotossíntese, que também favorecem a fotorrespiração. O acúmulo de GEE na atmosfera promove a formação de ozônio próximo à superfície terrestre, o qual apresenta efeito tóxico como espécie reativa de Oxigênio e inibe a assimilação de CO<sub>2</sub> (PIMENTEL, 2011). Logo, todos estes efeitos sobre a fotossíntese podem reduzir ou anular o efeito fertilizante do CO<sub>2</sub> para a produtividade vegetal (LONG et al., 2006; FUHRER, 2009; PIMENTEL, 2011), devendo ser considerados para a obtenção de estimativas mais realísticas da produtividade primária no contexto de mudanças climáticas. Além disso, são necessárias avaliações complementares de plantas crescidas continuamente sob atmosfera enriquecida com CO<sub>2</sub> para estimativas de respostas fisiológicas mais precisas, uma vez que podem ocorrer respostas de aclimação em longo prazo.

## Conclusão

A fotossíntese e a eficiência de uso da água em *Amburana cearensis* respondem positivamente ao aumento instantâneo de CO<sub>2</sub>.

## Referências

- CAEMMERER, S.; FARQUHAR, G.D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta*, v. 153, p. 376-387.
- FUHRER, J. Ozone risk for crops and pastures in present and future climates. *Naturwissenschaften*, New York, v. 96, p. 173-194, 2009.
- GIONGO, V.; GALVÃO, S. R. S.; MENDES, A. M. S.; GAVA, C. A. T.; CUNHA, T. J. F. **Soil prganic carbon in the brazilian Tropical Semiarid, dynamic soil, dynamic plant**. 2011. No prelo.
- LEAKEY, A.D.B.; AINSWORTH, E.A.; BERNACCHI, C.J.; ROGERS, A.; LONG, S.P.; ORT, D.R. Elevated CO<sub>2</sub> effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE. *Journal of Experimental Botany*, v. 60, n. 10, p. 2.859-2.876, 2009.
- LONG, S. P.; AINSWORTH, E. A.; LEAKEY, A. D. B.; NÖSBERGER, J.; ORT, D. R. Food for thought: lower than expected crop yield stimulation with rising CO<sub>2</sub> concentrations. *Science*, Washington, DC, v. 312, p. 1918-1921, 2006.
- PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. (Ed.). **Climate Change 2007: synthesis report**. Geneva: IPCC, 2007. 104 p. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/syr/en/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/contents.html)>. Acesso em: 21 jan. 2011.
- PIMENTEL, C. Metabolismo de Carbono de plantas cultivadas e o aumento de CO<sub>2</sub> e de O<sub>3</sub> atmosférico: situação e previsões. *Bragantia*, Campina, v. 70, n. 1, p. 1-12, 2011.
- PRADO, C. H. B. A.; MORAES, J. A. P. V. Photosynthetic capacity and specific leaf mass in twenty woody species of cerrado vegetation under field conditions. *Photosynthetica*, Prague, v. 33, n. 1, p. 103-112, 1997.
- RAMOS, K. M. O.; FELFILI, J. M.; FAGG, C. W.; SOUSA-SILVA, J. C.; FRANCO, A. C. Desenvolvimento inicial e repartição de biomassa de *Amburana cearensis* (Allemao) A.C. Smith, em diferentes condições de sombreamento. *Acta botanica brasílica*, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 351-358, 2004.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Los Angeles: Sinauer Associates, 1998. 792 p.