

Foto: Ronaldo Ribeiro de Moraes



Trocas Gasosas de *Flemingia macrophylla* sob Efeito da Temperatura Foliar em Área Degradada na Amazônia Central

Ronaldo Ribeiro de Moraes¹
José Roberto A. Fontes²
Maria do Rosário Lobato Rodrigues³
Wenceslau Geraldes Teixeira⁴
Joanne Régis da Costa⁵

A utilização de leguminosas como plantas para cobertura do solo vem sendo muito difundida (AITA et al., 2001; GAMA-RODRIGUES et al., 2007). Muitos estudos relatam a sua utilização em trabalhos de recuperação de áreas degradadas e consórcios com outras espécies econômicas de interesse (BERGO et al., 2006; CANELLAS et al., 2004; EKELEME et al., 2004; ESPINDOLA, 2001; KOUTIKA et al., 2001; NASCIMENTO et al., 2005).

Em solos amazônicos, estudos verificaram que as leguminosas utilizadas como cobertura do solo contribuem para o aumento da capacidade de troca catiônica, pH e teor de matéria orgânica (MO), também minimizam a perda de nutrientes por lixiviação, reduzem a compactação e fornecem nitrogênio pelo processo de fixação simbiótica do N₂ atmosférico (BRIENZA JÚNIOR et al., 1995;

MAZZARINO et al., 1993; SANCHEZ et al., 1995; SZOTT et al., 1991; TRUMBORE et al., 1995). Além do nitrogênio, as leguminosas produzem biomassa geralmente rica em fósforo, potássio e cálcio e apresentam sistema radicular bem ramificado e profundo, o que permite a reciclagem dos nutrientes no solo, que, ao se decompor, irá torná-los disponíveis para as culturas econômicas (GAMA-RODRIGUES et al., 2007).

Dentre as leguminosas utilizadas em trabalhos de recuperação de áreas degradadas destaca-se a espécie exótica *Flemingia macrophylla* (Willd.) Merril. Essa espécie, de origem asiática, possui grande adaptabilidade a diferentes tipos de solo, incluindo os de baixa fertilidade natural e alta acidez. Em trabalhos realizados por Andersson et al. (2006), verificou-se que a espécie, além de

¹Biólogo, doutor em Ciências Biológicas (Botânica), pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM.

²Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM.

³Engenheira-agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM.

⁴Engenheiro-agrônomo, doutor em Geoecologia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

⁵Bióloga, mestre em Ecologia, pesquisadora da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM.

uma boa capacidade de rebrota, tolera períodos curtos de déficit hídrico. *F. macrophylla* apresenta-se tanto como espécie promissora para uso como adubo verde em sistemas de produção (SALMI et al., 2013) quanto como suplemento alimentar para ruminantes e suínos (AVIZ et al., 2009; SAMKOL; LY, 2001).

Contudo, são escassos os estudos que avaliam o comportamento ecofisiológico dessa espécie frente a novos cenários climáticos globais e regionais. Estresses abióticos, como a baixa disponibilidade hídrica dos solos e o incremento médio global da temperatura em escala global, são apontados como as principais causas primárias que podem afetar negativamente a produtividade de culturas em todo o mundo (PARRY et al., 2007). Esses fatores abióticos comprometem e influenciam sobremaneira processos fisiológicos, como a fotossíntese, em relação ao uso dos recursos primários, como água, temperatura, luz, CO₂ e nutrientes e, conseqüentemente, as taxas de crescimento.

Esses estudos são importantes para a identificação precoce das diferentes estratégias e mecanismos de adaptação da espécie em relação a sua produtividade para recomendação de áreas de plantio. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da variação da temperatura foliar sobre as trocas gasosas de *F. macrophylla*.

Material e Métodos

Descrição da área experimental

O estudo foi conduzido na área denominada Jazida 21, na Base de Operações Geólogo Pedro de Moura (BOGPM), na Província Petrolífera do Rio Urucu, Município de Coari, AM, localizada entre os paralelos de 4° 45' e 5° 05' S e os meridianos de 65° 00' e 65° 25' W (AMARAL, 1996). A região possui precipitação pluviométrica média superior a 3.000 mm, incluindo um período menos chuvoso entre os meses de julho e setembro. A vegetação é caracterizada por uma floresta densa de terra firme.

Essa área foi anteriormente usada para retirada de material de solo para construção de estradas e depois utilizada como "bota-fora", que seria uma área onde são armazenados os produtos naturais, não servíveis a curto prazo, provisória ou definitivamente. O solo predominante na área da

Jazida 21 era originalmente um Argissolo Amarelo de textura franco-siltosa. O horizonte que se encontra na superfície hoje é um horizonte C desse solo, com material oriundo principalmente desses horizontes depositados nas jazidas. Os horizontes superficiais (A e B) foram removidos.

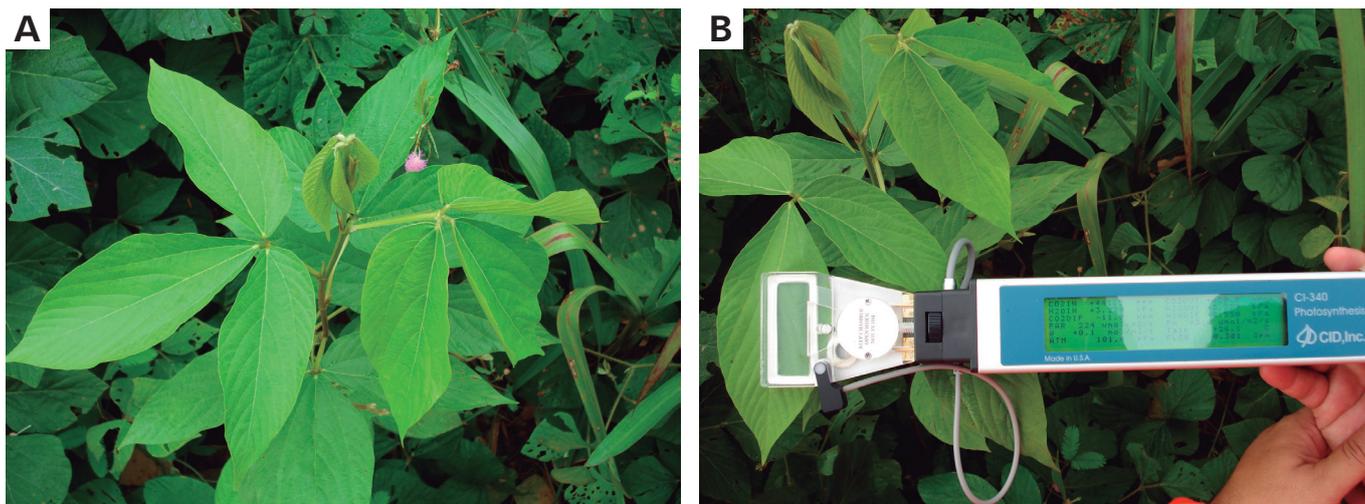
No período de coleta dos dados de trocas gasosas, a umidade do solo foi monitorada por meio de um sistema automático, com sondas de umidade volumétrica do solo instaladas a 10 cm, 30 cm e 60 cm de profundidade (MACEDO et al., 2006), permanecendo o solo próximo da sua capacidade de saturação [$\sim 0,40$ (adimensional) — umidade volumétrica do solo]. Portanto as plantas, em nenhum momento dessa avaliação, foram submetidas à restrição de água no solo.

A espécie escolhida para o estudo, *F. macrophylla*, foi intencionalmente introduzida no sistema de plantio de espécies arbóreas como planta de cobertura (Figura 1A).

Quantificação das trocas gasosas

A determinação das taxas de fotossíntese líquida (*A*), transpiração (*E*) e condutância estomática (*gs*) foi realizada por meio de um medidor portátil de fotossíntese (CID, Modelo CI-340, Camas) de câmara aberta (Figura 1B). Adicionalmente, foi calculada a eficiência do uso da água (EUA) por meio da razão *A/E*. Os dados foram coletados entre 8h e 11h em dias sem chuva, em folhas completamente expandidas, com bom aspecto fitossanitário e situadas no terço médio da copa.

Os dados da curva de resposta fotossintética à variação de temperatura foram obtidos na intensidade de fluxo de fótons (PPDF) de 1.000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, câmara foliar ajustada com concentração de CO₂ de 380 $\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ e nas temperaturas de 30,0 °C, 32,5 °C, 35,0 °C, 37,5 °C, 40,0 °C e 42,5 °C, obtidas por meio do módulo de controle de temperatura CI-510CS acoplado ao medidor portátil de fotossíntese (CI-340, CID, Inc). A sequência das medições foi sempre em ordem crescente de intensidade de temperatura, e o tempo mínimo pré-estabelecido para a estabilização das leituras, em cada nível de temperatura, foi de 10 minutos e o máximo de 20 minutos.



Fotos: Ronaldo Ribeiro de Moraes

Figura 1. A) Aspecto geral de *Flemingia macrophylla*; B) Coleta de dados de trocas gasosas por meio do medidor portátil de fotossíntese (CI-340).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com dez plantas por repetição. Foi determinada a correlação de Pearson entre a temperatura foliar e as variáveis de trocas gasosas (A, gs, E, EUA). Os dados de fotossíntese líquida (A), transpiração foliar (E), condutância estomática (gs), eficiência do uso da água (EUA), em função da temperatura foliar, foram ajustados por meio de equações de regressão (lineares e quadráticas), sendo o melhor ajuste definido pelo coeficiente de determinação (R^2).

Resultados e Discussão

De acordo com os resultados da correlação de Pearson, as taxas fotossintéticas de *F. macrophylla* apresentaram correlação positiva em relação aos níveis de temperatura foliar (Tabela 1). A equação $y = 0,0005x^2 + 0,3936x + 2,1746$ $R^2 = 0,82$ foi a que melhor se ajustou para explicar o fenômeno biológico do comportamento da fotossíntese líquida sob o efeito da elevação da temperatura foliar (Figura 2).

Tabela 1. Correlação de Pearson entre a temperatura foliar (TF) e a fotossíntese líquida (A), transpiração foliar (E), condutância estomática (gs) e eficiência no uso da água (EUA) de *Flemingia macrophylla*.

<i>F. macrophylla</i>	A	E	gs	EUA
TF	0.4250**	0.9095**	-0.0307**	-0.7397**

** Significativa ($p \leq 0,01$).

As taxas fotossintéticas de *F. macrophylla* referentes às temperaturas foliares de 30,0 °C e 32,5 °C foram inferiores em 32% e 23% às registradas para a temperatura de 42,5 °C, respectivamente (Figura 2).

Em estudos realizados por Sage (2002), comparando a eficiência de catalização da Rubisco (ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase), K_{cat} , entre espécies C_3 e C_4 , observou-se que, para a leguminosa *Pueraria lobata*, a K_{cat} foi superior na temperatura de 40°C em comparação às temperaturas de 16 °C e 28 °C, as quais foram 88% e 61% inferiores, respectivamente.

O comportamento fotossintético de *F. macrophylla* neste estudo mostrou-se diferente do comportamento da maioria das espécies tropicais, cuja resposta da fotossíntese ao incremento das taxas de temperatura acima do ótimo (30 °C a 35 °C) apresenta comportamento de uma parábola. Comportamento este que é decorrente de inúmeros processos fisiológicos, incluindo o aumento nas taxas de respiração, diminuição na estabilidade das membranas, decréscimo na eficiência de carboxilação da Rubisco e acúmulo de carboidratos (amido) nos cloroplastos (BALDOCCHI; AMTHOR, 2001; KATTGE; KNORR, 2007; PIMENTEL et al., 2007; RIBEIRO et al., 2006). É fato que para a

maioria das espécies em temperaturas acima do ótimo a atividade da Rubisco é afetada (WEIS; BERRY, 1988).

As taxas de transpiração foliar de *F. macrophylla* apresentaram correlação positiva significativa em relação à elevação da temperatura foliar (Tabela 1), sendo ajustada a equação $y = 0,2914x - 6,9216$ $R^2 = 0,96$ para explicar o fenômeno biológico (Figura 2).

As maiores taxas de transpiração foliar foram obtidas com a temperatura foliar de 42,5 °C (Figura 2), mostrando ser uma estratégia utilizada

para reduzir a temperatura foliar e evitar danos ao aparato fotossintético. Isso ocorre devido ao processo de evaporação da molécula da água pelas plantas, o que ocasiona uma substancial perda de calor e constitui um dos meios mais importantes de que elas dispõem para regular a temperatura (TAIZ; ZEIGER, 2004). Estudos mostram que, sem restrições hídricas da disponibilidade hídrica do solo, as taxas de transpiração são elevadas mesmo sob a influência de altas temperaturas, atuando como um mecanismo de dissipação de calor, a fim de evitar danos ao aparato fotossintético (TAIZ; ZEIGER, 2004).

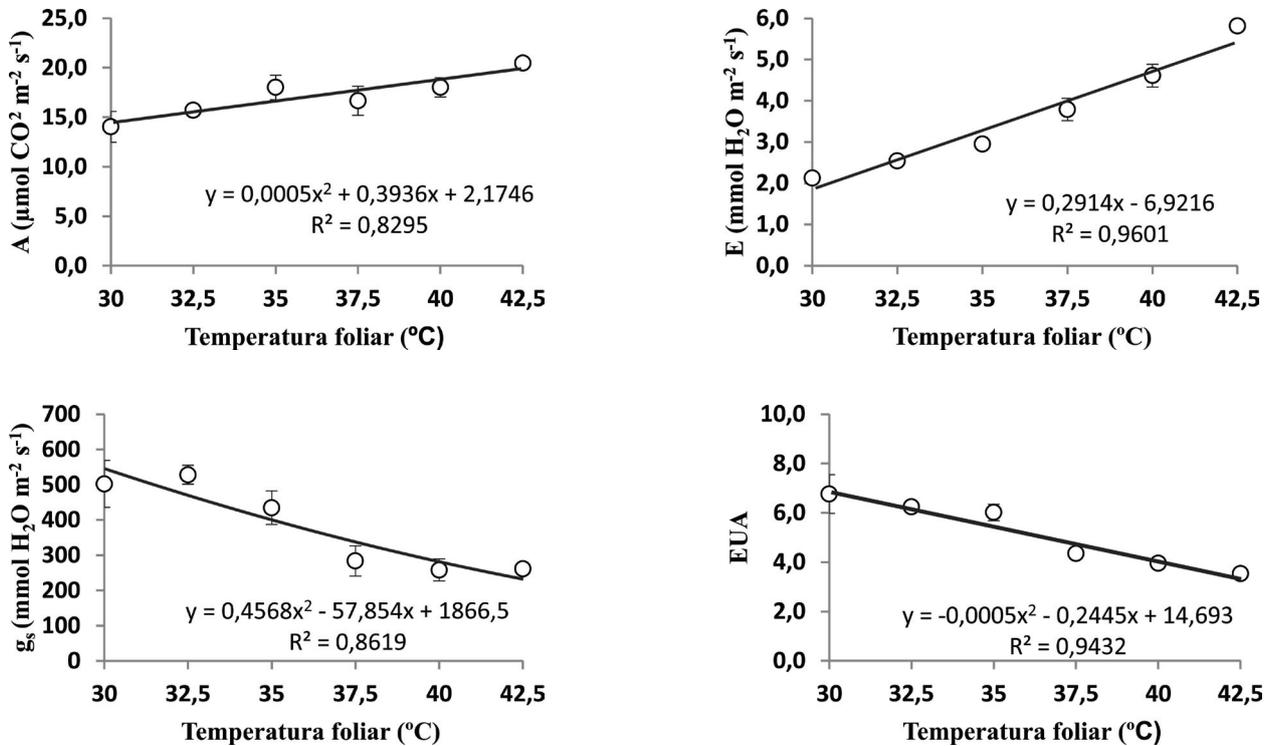


Figura 2. Fotossíntese líquida (A); Transpiração foliar (E); Condutância estomática (g_s); Eficiência do uso da água (EUA) em folhas de *Flemingia macrophylla* em função da variação da temperatura foliar. Média ($n = 10$) e erro padrão.

As altas taxas de transpiração foliar de *F. macrophylla* reportadas neste estudo são explicáveis, pois, no período de coleta dos dados de trocas gasosas, a umidade do solo permaneceu próximo à sua capacidade de saturação, como descrito na metodologia.

As taxas de condutância estomática e eficiência no uso da água apresentaram correlações negativas em virtude da elevação das temperaturas foliares

($p \leq 0,01$) (Tabela 1). Para *F. macrophylla*, as equações ajustadas foram: $y = 0,4568x^2 - 57,854x + 1866,5$ $R^2 = 0,86$ e $y = -0,0005x^2 - 0,2445x + 14,693$ $R^2 = 0,94$, para estimar o comportamento da condutância estomática e a eficiência no uso da água sob o efeito da elevação das temperaturas foliares, respectivamente.

Esses resultados mostraram que as reduções da condutância estomática não restringiram

a capacidade de as plantas de *F. macrophylla* perderem água na forma de vapor pelas folhas, nem limitaram significativamente a eficiência fotossintética, ao contrário do que ocorre com a maioria das espécies, em que altas temperaturas podem afetar direta e indiretamente as trocas gasosas, tanto por promover alterações na condutância estomática quanto por provocar mudanças e desarranjo no aparato fotossintético, causando estresse (COSTA et al., 2002; MAXWELL; JOHNSON, 2000; RIBEIRO et al., 2004; SAGE; KUBIEN, 2007).

Conclusões

A elevação das taxas da temperatura foliar ocasionou mudanças nas trocas gasosas de *F. macrophylla*. Contudo, a espécie mostrou que possui um mecanismo efetivo de dissipação de calor pelas folhas, mesmo com a redução das taxas de condutância estomática, em um ambiente sem restrições hídricas.

Agradecimento

Os autores agradecem à Rede CTPetro Amazônia e à Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) pelo financiamento da pesquisa; à Embrapa Amazônia Ocidental e à Petrobrás.

Referências

AITA, C.; BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; GONÇALVES, C. N.; ROS, C. O. Plantas de cobertura de solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 157-165, 2001.

AMARAL, I. L. **Diversidade florística em floresta de terra firme, na região do Rio Urucu-AM. 1996.** 104 f. Tese (Doutorado) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus.

ANDERSSON, M. S.; SCHULTZE-KRAFT, R.; CANSA, M.; HINCAPIE, B.; LASCANO, C. E. Morphological, agronomic and forage quality diversity of the *Flemingia macrophylla* world collection. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 96, p. 387-406, 2006.

AVIZ, M. A. B. de; LOURENÇO JÚNIOR, J. de B.; CAMARÃO, A. P.; GARCIA, A. R.; ARAÚJO, C. V.; MONTEIRO, E. M. M.; SANTOS, N. de F. A. dos. Valor nutritivo da leguminosa *Flemingia macrophylla* (Willd.) Merrill para suplementação alimentar de ruminantes na Amazônia Oriental. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, PA, v. 4, n. 8, p. 253-271, jan./jun. 2009.

BALDOCCHI, D. D.; AMTHOR, J. S. Canopy photosynthesis: history, measurements and models. In: ROY, J.; SAUGIER, B.; MOONEY, H. A. (Ed.) **Terrestrial global productivity**. San Diego: Academic Press, 2001. p. 9-31.

BERGO, C. L.; PACHECO, E. P.; MENDONÇA, H. A.; MARINHO, J. T. S. Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 19-24, 2006.

BRIENZA JÚNIOR, S.; VIEIRA, I. C. G.; YARED, J. A. G. **Considerações sobre recuperação de áreas alteradas por atividades agropecuária e florestal na Amazônia brasileira**. Belém, PA: Embrapa-CPATU, 1995. 27 p. (Embrapa-CPATU. Documentos, 83).

CANELLAS, L. P.; ESPINDOLA, J. A. A.; REZENDE, C. E.; CAMARGO, P. B.; ZANDONADI, D. B.; RUMJANEK, V. M.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; BRAZ-FILHO, R. Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. **Scientia agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 1, p. 53-61, 2004.

COSTA, E. S.; SMITH, R. B.; OLIVEIRA, J. G.; CAMPOSTRINI, E.; PIMENTEL, C. Photochemical efficiency in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. and *Vigna unguiculata* L. Walp) during recovery from high temperature stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 14, n. 2, p. 105-110, 2002.

- EKELEME, F.; CHIKOYE, D.; AKOBUNDU, O. Impact of natural, planted (*Pueraria phaseoloides*, *Leucaena leucocephala*) fallow and landuse intensity on weed seedling emergence pattern and density in cassava intercropped with maize. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 103, n. 3, p. 581-593, 2004.
- ESPINDOLA, J. A. A. **Avaliação de leguminosas herbáceas perenes usadas como cobertura viva do solo e sua influência sobre a produção da bananeira (*Musa spp.*)**. 2001. 144 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- GAMA-RODRIGUES, A. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; BRITO, E. C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em argissolo vermelho-amarelo na região noroeste fluminense (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1421-1428, 2007.
- KATTGE, J.; KNORR, W. Temperature acclimation in a biochemical model of photosynthesis: a reanalysis of data from 36 species. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 30, p. 1176-1190, 2007.
- KOUTIKA, L. S.; HAUSER, S.; HENROT, J. Soil organic matter assessment in natural regrowth, *Pueraria phaseoloides* and *Mucuna pruriens* fallow. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v. 33, n. 7-8, p. 1095-1101, 2001.
- MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C.; RODRIGUES, M. R. L.; MARQUES, A. O. Monitoramento da dinâmica da água através das sondas reflectométricas do conteúdo da água no solo (WCR) numa clareira na Província Petrolífera de Urucu – Amazonas. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. **Novos desafios do carbono no manejo conservacionista: resumos e palestras**. Aracaju: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 1 CD-ROM.
- MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.
- MAZZARINO, M. J. SZOTT, L.; JIMENEZ, M. Dynamics of soil total C and N, microbial biomass, and water-soluble C in tropical agroecosystems. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 25, n. 2, p. 205-214, Feb. 1993.
- NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R.; SILVA NETO, L. F. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um luvisolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 825-831, 2005.
- PARRY, M. L.; CANZIANI, O.; PALUTIKOF, J.; LINDEN, P. van der; HANSON, C. (Ed.). **Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability: contribution of Working Group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 976 p.
- PIMENTEL, C.; BERNACCHI, C.; LONG, S. Limitations to photosynthesis at different temperatures in the leaves of *Citrus limon*. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos de Goytacazes, v. 19, n. 2, p. 141-147, 2007.
- RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; OLIVEIRA, R. F. Resposta da fotossíntese à temperatura e sua interação com a intensidade luminosa em discos foliares de laranja doce na ausência de fotorrespiração. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 4, p. 670-678, 2006.
- RIBEIRO, R. V.; SANTOS, M. G.; SOUZA, G. M.; MACHADO, E. C.; OLIVEIRA, R. F.; ANGELOCCI, L. R.; PIMENTEL, C. Environmental effects on photosynthetic capacity of bean genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 7, p. 615-623, 2004.
- SAGE, R. F. Variation in the Kcat of Rubisco in C3 e C4 plants and some implications for photosynthetic performance at high and low temperature. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 369, p. 609-620, 2002.
- SAGE, R. F.; KUBIEN, D. S. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 30, n. 9, p. 1086-1106, 2007.

SALMI, A. P.; RISSO, I. A. M.; GUERRA, J. G. M.; URQUIAGA, S.; ARAÚJO, A. P.; ABOUD, A. C. S. Crescimento, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio de *Flemingia macrophylla*. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 1, p. 79-85, 2013.

SAMKOL, P.; LY, J. Nutritive evaluation of tropical tree leaves for pigs. *Flemingia (Flemingia macrophylla)*. **Livestock Research for Rural Development**, Cali, v. 13, n. 5, 2001.

SÁNCHEZ, P. A.; GARRITY, D. P.; BANDY, D. E.; TORRES, F.; SWIFT, M. J. Alternativas sustentáveis à agricultura migratória e a recuperação de áreas degradadas nos trópicos úmidos. In: SIMPÓSIO DE ÁREAS DEGRADADAS E FLORESTAS SECUNDÁRIAS NA AMAZÔNIA, 1993, Santarém, PA. **Anais...** Rio Piedras: Internacional Institute of Tropical Forestry: USDA – Forest Service, 1995. p. 1-13.

SZOTT, L. T.; PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. Soil-plant interactions in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 45, p. 275-301, 1991.

TAIZ, Z.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Sunderland, MA: Sinauer, 2004. 792 p.

TRUMBORE, S. E.; DAVIDSON, E. A.; CAMARBO, P. B. de; NEPSTAD, D. C.; MARTINELLI, L. A. Belowground cycling of carbon in forests and pastures of Eastern Amazonia. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, DC, v. 9, n. 4. p. 515-528, 1995.

WEIS, E.; BERRY, J. A. Plants and high temperature stress. In: LONG, S. P.; WOODWARD, F. I. (Ed.) **Plants and temperature**. Cambridge: Company of Biologists, 1988. p. 329-346.

Comunicado Técnico, 120

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Amazônia Ocidental
Endereço: Rodovia AM 010, Km 29 - Estrada
Manaus/Itaocoatiara
Fone: (92) 3303-7800
Fax: (92) 3303-7820
<https://www.embrapa.br/amazonia-ocidental>
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

1ª edição

1ª impressão (2015): 300

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



Comitê de publicações

Presidente: *Celso Paulo de Azevedo*

Secretária: *Gleise Maria Teles de Oliveira*

Membros: *Maria Augusta Abtibol Brito de Sousa,
Maria Perpétua Beleza Pereira e Ricardo Lopes*

Expediente

Revisão de texto: *Maria Perpétua Beleza Pereira*

Normalização bibliográfica: *Maria Augusta Abtibol
B. de Sousa*

Editoração eletrônica: *Gleise Maria Teles de Oliveira*

CGPE 12802