

Efeito do ambiente de luz no crescimento de plantas jovens de mogno (*Swietenia macrophylla* King)Effect of light environment on growth of young plants of mahogany (*Swietenia macrophylla* King)José Francisco de Carvalho Gonçalves¹, Carlos Eduardo Moura da Silva², Gilberto Costa Justino³ e Adamir da Rocha Nina Junior⁴

Resumo

Na sucessão florestal, espécies arbóreas intermediárias ou climáticas, normalmente, exibem crescimento lento. O objetivo deste trabalho foi investigar o acúmulo de biomassa e características fotossintéticas de plantas jovens de *S. macrophylla* submetidas a dois ambientes de luz (1- pleno sol e 2- sombreamento natural). Nós investigamos o crescimento, o ganho de biomassa, teores de clorofilas e as trocas gasosas foliares. No tratamento a pleno sol, o aumento no desempenho fotossintético foi refletido no acúmulo de biomassa das plantas, principalmente, devido ao maior crescimento do sistema radicular e do diâmetro do caule. Esse resultado aconteceu devido ao melhor aproveitamento da radiação fotossinteticamente ativa, verificado pelo aumento do transporte de elétrons e do rendimento quântico nas plantas de *S. macrophylla* crescidas a pleno sol. Este efeito favoreceu a carboxilação que foi, adicionalmente, induzida pelo aumento nas trocas gasosas foliares. Por outro lado, a aclimação nas plantas de sombra foi demonstrada pelo aumento da razão de área foliar e da área foliar específica. Nós concluímos que plantas de *S. macrophylla* apresentaram plasticidade fisiológica sob altas ou baixas irradiâncias. Mas, sobretudo, quando expostas à alta irradiância, otimizam o ganho em carbono.

Palavras-chave: Biomassa, Trocas gasosas, Pigmentos cloroplastídicos

Abstract

In the forest succession intermediate and climax tree species usually exhibit slow growth. The aim of this study was to investigate the biomass accumulation and photosynthetic traits in young *S. macrophylla* plants subjected to two light environments (1-open field and 2- natural shade). We investigated growth, biomass gain, chlorophyll contents and leaf gas exchange. In open field treatment, the increase photosynthetic performance reflected on the biomass accumulation of the plants, mainly due to the higher growth of the root system and stem diameter. This result happened due to the best use of photosynthetically active radiation, verified by increases in electron transport rate and quantum yield in plants grown in sunlight. This effect favors the carboxylation that was additionally induced by increased leaf gas exchange. On the other hand, the acclimation in the shade exposed seedlings was demonstrated by an increase in leaf area ratio and specific leaf area. We conclude that *S. macrophylla* seedlings showed physiological plasticity under high or low irradiance. But, above all, when exposed to high irradiance carbon, gain is optimized.

Keywords: Biomass, Gas exchange, Chlorophyll pigments

INTRODUÇÃO

O acúmulo de biomassa em espécies arbóreas crescendo em ambientes estressantes depende sobremaneira das relações de número de folhas e/ou da área foliar, que repercutem nas taxas de crescimento vegetal. Por outro lado,

em espécies arbóreas tropicais, a atividade fotossintética individual das folhas depende fundamentalmente da capacidade do indivíduo de capturar e usar os recursos abióticos disponíveis, como por exemplo, nutrientes e água no solo, bem como, a energia luminosa (FERREIRA *et al.*, 2009; SANTOS JÚNIOR. *et al.*, 2006; FERREIRA

¹Engenheiro agrônomo. Doutor em Fisiologia Vegetal. INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Caixa Postal 478, CEP 69011-970, Manaus, AM. E-mail: jfc@inpa.gov.br

²Engenheiro florestal. Doutor em Ciências de Florestas Tropicais. INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Caixa Postal 478, CEP 69011-970, Manaus, AM. E-mail: cems@inpa.gov.br

³Biólogo. Doutor em Biologia Vegetal. INPA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Caixa Postal 478, CEP 69011-970, Manaus, AM. E-mail: gilcostjust@gmail.com

⁴Engenheiro florestal. Mestre em Ciências de Florestas Tropicais. INCT - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Serviços Ambientais da Amazônia E-mail: adamirjr@gmail.com

et al., 2009). Entretanto, características genéticas intrínsecas, adquiridas durante o processo de evolução, devido à distribuição das espécies em ambientes específicos, e a sua associação com fatores do ambiente podem potencializar o desempenho das espécies no que concerne ao crescimento (SILVESTRINI *et al.*, 2007). Deste modo, plantas com potencial genético e estratégias limitadas são muito prejudicadas por alterações dos componentes físicos e químicos do ambiente, como alterações dos níveis de luz. Em condições de alta ou de baixa luminosidade, mecanismos fisiológicos e bioquímicos, além de alterações morfológicas são necessários, para que a planta utilize a energia luminosa e, conseqüentemente, aumente seu ganho de carbono. A irradiância é um dos principais fatores ambientais necessários para o crescimento, distribuição e produção primária das plantas (RODRÍGUEZ-CALCERRADA *et al.*, 2008). No entanto, a alta intensidade luminosa pode provocar graves danos ao aparato fotossintético. Visando preservar as propriedades físico-químicas e a organização funcional das membranas dos tilacóides, plantas tolerantes a alta luminosidade desenvolvem mecanismos para não inviabilizar o funcionamento celular (QUILES; LOPES, 2004).

A exposição de algumas espécies arbóreas jovens a pleno sol ocasiona aumento da temperatura foliar, diminuindo significativamente as taxas de assimilação máxima de carbono devido à diminuição da condutância estomática (FRANCK; VAAST, 2009). Por outro lado, baixas intensidades luminosas não fornecem suprimento adequado de energia, limitando também, o funcionamento da fotossíntese (GONÇALVES *et al.*, 2001). Entretanto, as espécies vegetais apresentam diferenças quanto à plasticidade morfológica e fisiológica quando expostas a diferentes intensidades de irradiância. Plantas aclimatadas a ambientes com altos níveis de irradiância possuem mecanismos eficientes para dissipar o excesso de energia de excitação (RODRÍGUEZ-CALCERRADA *et al.*, 2008). Este processo determina o sucesso dos indivíduos em seu ambiente natural, favorecendo, por exemplo, o crescimento de algumas espécies arbóreas (DIAS; MARENCO, 2007; OGUCHI *et al.*, 2008). Por outro lado, sob condição de baixa irradiância, outras espécies podem manter balanço adequado de ganho de carbono devido a alterações fisiológicas e morfológicas que conferem eficiência no uso da luz, sendo, portanto, consideradas tolerantes ao sombreamento (SILVESTRINI *et al.*, 2007).

Nestas condições, as espécies alocam maiores quantidades de biomassa para as folhas, reduzem a taxa de respiração no escuro e o ponto de compensação de irradiância, além de aumentarem a razão de área foliar e a área foliar específica, mantendo razoáveis taxas de fotossíntese (WANG *et al.*, 2007).

A aclimação a diferentes regimes de luminosidade é uma característica desejável para a utilização de espécies em programas de reflorestamento ou plantios de produção, uma vez que a irradiância que chega ao ambiente, ou aos diferentes estratos do ambiente florestal, é temporalmente e espacialmente heterogênea. Além disto, para espécies arbóreas da Amazônia, em particular, aquelas de crescimento mais lento a exemplo do mogno (*Swietenia macrophylla* King), informações sobre as relações entre suas características na sucessão florestal e o seu crescimento ainda são bastante difusas e até mesmo controversas. O mogno é uma espécie da família Meliaceae, considerada clímax tolerante a sombra, mas existem evidências que esta espécie pode ocorrer nos estágios intermediários de regeneração da floresta tropical (CARVALHO, 2007; WHITMAN *et al.*, 1997). Diante disto, os conhecimentos sobre o acúmulo de biomassa e, por conseguinte, o crescimento do mogno associado às trocas gasosas relacionados às alterações de fatores primários, como luz, ainda são aspectos pouco esclarecidos mesmo com a grande importância e implicações silviculturais destas variáveis. Portanto, o objetivo deste trabalho foi investigar a assimilação de carbono, o acúmulo de biomassa e o crescimento de plantas jovens de *S. macrophylla* em função da energia disponível em ambientes de alta ou de baixa irradiância.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA (3°8'S e 59°58'W), Manaus, AM. Plantas jovens (mudas) de *S. macrophylla* com sete meses de idade foram aclimatadas à sombra natural de árvores adultas, durante 30 dias, crescendo em sacos plásticos (10 x 15 cm) contendo substrato constituído por areia, argila e esterco de galinha (proporção 3:2:1). Para a implantação do experimento, foram separados ao acaso dez indivíduos e colocados a pleno sol, enquanto outros dez indivíduos foram submetidos à sombra. Assim, foram estabelecidos os seguintes tratamentos: T₁ = plantas crescendo a pleno sol (2100±150 µmol

$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), alta irradiância e T_2 = plantas crescendo ao sombreamento natural ($80 \pm 10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), baixa irradiância. Os valores de irradiância dos tratamentos foram obtidos com o uso de sensor de luz acoplado ao analisador de gás infravermelho - IRGA (LI-COR 6400) e determinados durante todo o período do experimento (os valores de irradiância acima são médias das leituras no período experimental). As plantas foram diariamente irrigadas com objetivo de manter as condições hídricas dos substratos no nível de capacidade de retenção de água.

As variáveis alométricas (altura e diâmetro) foram obtidas com o auxílio de régua milimetrada e paquímetro digital, respectivamente. A área foliar (AF) foi obtida utilizando-se medidor de área foliar (Modelo LI-COR 3000a). A determinação da biomassa seca foi realizada após secagem em estufa a 65°C , até obtenção de massa constante. A taxa de crescimento em altura (TC-h), em diâmetro do coleto (TC-d), em área foliar (TC-af), em massa radicular (TC-mr), em massa caulinar (TC-mc), em massa foliar (TC-mf) e em massa da planta (TC-mp) foram calculados pela diferença entre as leituras do fim e do início e dividido pelos dias do experimento. A razão de área foliar (RAF) e a área foliar específica (AFE) foram calculadas a partir da área foliar e massa foliar seca (EVANS; POORTER, 2001; NAKAZONO *et al.*, 2001). A determinação da curva resposta da fotossíntese à irradiância (A-I) foi realizada em folha completamente expandida em cada indivíduo amostrado. As medidas foram feitas entre 8 e 12h, utilizando-se analisador de gás infra-vermelho (IRGA) (LI-COR 6400). As curvas A-I foram realizadas usando-se a rotina do software OPEN 3.4, modificada para registrar os dados das trocas gasosas em 11 níveis de irradiância (0, 25, 50, 75, 100, 250, 500, 750, 1000, 1500, 2000 $\mu\text{mol quanta m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Além da fotossíntese (A), foram também determinadas as taxas de condutância estomática (g_s), de transpiração (E), de respiração no escuro (R_d). O IRGA foi ajustado para trabalho com fluxo de $400 \mu\text{mol s}^{-1}$, temperatura do bloco, concentrações de CO_2 e H_2O , dentro da câmara foliar, em torno de $30 \pm 1^\circ\text{C}$, $380 \pm 3 \mu\text{mol mol}^{-1}$ e $21 \pm 1 \text{mmol mol}^{-1}$, respectivamente (SILVA *et al.*, 2011). O modelo exponencial foi usado para ajustar a curva A-I (IQBAL *et al.*, 1997). Além disso, foram calculadas as taxas de oxigenação (V_o), de carboxilação (V_c) e de transporte de elétrons (J) (FARQUHAR; VON CAEMMERER, 1982). A determinação do

índice de conteúdo de clorofila (ICC) foi realizada por meio de um clorofilômetro portátil (CCM-200, Opti-Science). A determinação dos pigmentos cloroplastídicos (clorofila a e b) foi realizada de acordo com metodologia descrita por Lichtenthaler e Wellburn (1983) e calculada conforme as equações descritas por Hendry e Price (1993).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com dois tratamentos (T_1 = plantas a pleno sol e T_2 = sombreamento natural) sendo dez repetições por tratamento. Os resultados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade Lilliefors e, em seguida, ao teste t de Student ($p < 0,05$). O programa estatístico utilizado foi o Statistica 6.0 (STATSOFT, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No tratamento a pleno sol, o TC-mp foi cerca de três vezes maior quando comparado com o TC-mp do tratamento sob sombra. Em grande medida atribui-se este resultado aos expressivos valores de TC-mc e TC-mr (Tabela 1). Resultados semelhantes foram obtidos em plantas de *S. macrophylla* de três anos de idade crescendo sob pleno sol que apresentaram TC-mf duas vezes maior do que o verificado em plantas sob sombreamento (GONÇALVES *et al.*, 2005). Os mesmos autores verificaram ainda que para a espécie *Dipteryx odorata* não foram observadas diferenças estatísticas entre os dois ambientes de luz, concluindo que *S. macrophylla* apresenta maior plasticidade fenotípica quando comparada com plantas de *Dipteryx odorata*. A exposição de *Cedrela odorata* sob quatro regimes de irradiância (10, 22, 45 e 100%) resultou em maior acúmulo de biomassa sob 45% de irradiância, porém verificou-se forte redução sob 10% de irradiância (GYIMAH; NAKAO, 2007). Entretanto, estes autores observaram que os maiores níveis de assimilação foram verificados em plantas a pleno sol, cerca de quatro vezes maior, quando comparados com as plantas de sombra, no entanto, as taxas de respiração foram três vezes maiores.

A partir do desdobramento da taxa de crescimento vegetal (TC-mp), percebe-se ainda que, no ambiente a pleno sol, proporcionalmente, os valores de TC-mr representaram cerca de 40% do ganho em massa da planta de *S. macrophylla* e que o TC-mc teve ganho de 37% enquanto que TC-mf contribuiu apenas 23%. Por outro lado, plantas de *S. macrophylla* quando expostas ao sombreamento apresentaram valores diferentes

do ponto de vista das proporcionalidades entre TC-mr, TC-mc e TC-mf, com valores da ordem de 33, 21 e 46%, respectivamente. Em tese, os valores de ganho de biomassa distribuídos nos três segmentos das plantas de *S. macrophylla* dizem muito do ponto de vista das respostas das relações de alocação de biomassa modulada pela luz. Isto é, plantas expostas a pleno sol, quase sempre, exibem maiores fluxos transpiratórios e demandam maiores e eficientes sistemas radiculares e, por conseguinte, venha necessitar de sistemas vasculares preponderantes, fato que, de certa forma, pode favorecer o crescimento em diâmetro. Por outro lado, na sombra, sob microclima mais ameno em termos de temperatura foliar e fluxo transpiratório menor, é possível que a alocação de carbono para o ganho de massa foliar tenha sido concentrada neste compartimento da planta para aumentar superfície foliar e compensar a eficiência fotossintética, em detrimento das raízes e do caule.

Tabela 1. Taxa de crescimento em altura (TC-h), em diâmetro a altura do coleto (TC-d), em área foliar (TC-af), em massa radicular (TC-mr), em massa caulinar (TC-mc), em massa foliar (TC-mf) e em massa da planta (TC-mp) de plantas jovens de *Swietenia macrophylla* submetidas a dois ambientes de luz.

Table 1. Growth rate in height (TC-h), stem diameter (TC-d), leaf area (TC-af), root mass (TC-mr), stem mass (TC-mc), leaf mass (TC-mf), plant mass (TC-mp) of *Swietenia macrophylla* seedlings subjected two light environments.

Parâmetro	Pleno sol	Sombra
TC-h (cm dia ⁻¹)	0,0315±0,0102 a	0,0280±0,0058 a
TC-d (mm dia ⁻¹)	0,0248±0,0067 a	0,0094±0,0019 b
TC-af (cm ² dia ⁻¹)	1,3012±0,6988 a	3,2779±1,8827 a
TC-mr (g dia ⁻¹)	0,0228±0,0121 a	0,0060±0,0032 b
TC-mc (g dia ⁻¹)	0,0213±0,0075 a	0,0038±0,0026 b
TC-mf (g dia ⁻¹)	0,0129±0,0074 a	0,0083±0,0059 a
TC-mp (g dia ⁻¹)	0,0570±0,0251 a	0,0181±0,0104 b

Os valores são médias ± desvios padrões (n = 10). Médias seguidas da mesma letra, entre tratamentos, não diferem significativamente pelo teste t de Student (p<0,05).

Os parâmetros RAF e AFE foram 35 e 25%, respectivamente, menores no tratamento a pleno sol comparado aos valores verificados no tratamento sob sombra (Figura 1). Em estudo sobre o crescimento de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais sob diferentes regimes de sombreamento, observou-se maior RAF com o aumento do nível de sombreamento (LIMA *et al.*, 2010). Em experimento sobre o crescimento de *Euterpes edulis* em diferentes regimes de luz, verificou-se maiores valores de RAF em plantas sob forte sombreamento (NAKAZONO *et al.*,

2001). No experimento de Gyimah e Nakao (2007), *Cedrela odorata* apresentou área foliar, duas vezes maior, sob 10% de luminosidade disponível, quando comparadas a plantas sob pleno sol; taxa de acúmulo de biomassa foliar e do sistema radicular foi maior em plantas sob pleno sol; e a razão de área foliar foi três vezes maior em plantas sob 10% de irradiância. A alteração da arquitetura das plantas (RAF e AFE) potencializa o processo de obtenção de energia, o que pode favorecer o aumento da razão entre as taxas de fotossíntese e de respiração, com reflexos diretos sobre o acúmulo de biomassa da planta (GYIMAH e NAKAO, 2007).

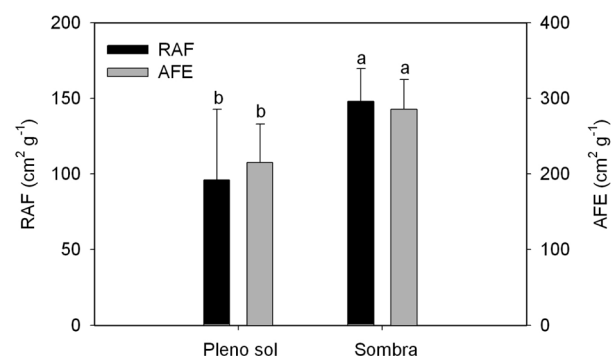


Figura 1. Razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE) de plantas jovens de *Swietenia macrophylla* submetidas a dois ambientes de luz. Os valores são médias e as linhas verticais, desvios padrões. Médias seguidas da mesma letra entre tratamentos não diferem significativamente pelo teste t de Student (p<0,05).

Figure 1. Leaf area ratio (RAF) and specific leaf area (AFE) of *Swietenia macrophylla* seedlings subjected to two light environments. Means followed by the same letter do not differ significantly by the t Student test (p<0.05).

Adicionalmente, espera-se que a aclimação fotossintética possa definir o desempenho de plantas em condições de alteração das taxas de luminosidade. Assim sendo, curva resposta a intensidade luminosa (A-I) das plantas de *S. macrophylla* sob pleno sol e sombreamento natural foram realizadas e verificou-se que as respostas das plantas no tratamento a pleno sol foi superior ao tratamento sob sombra (Figura 2). Diante disso, pode-se afirmar que o aumento da disponibilidade de fótons elevou de forma expressiva todos os parâmetros fotossintéticos em plantas jovens de *S. macrophylla* exposta a pleno sol. Assim, após 150 dias de experimento os valores de Amax no tratamento sob sombra foram 65% menores do que aqueles observados nas plantas do tratamento a pleno sol (Tabela 2). No caso do tratamento sob sombra, essas taxas foram limitadas pelo baixo índice de irradiância, uma vez que o aumento da disponibi-

lidade de fótons é a força motora que dirige o aumento da atividade fotossintética. Resultados semelhantes foram verificados quando plantas de *S. macrophylla* foram submetidas também a tratamento de alta irradiância (32 °C) (DIAS; MARENCO, 2007).

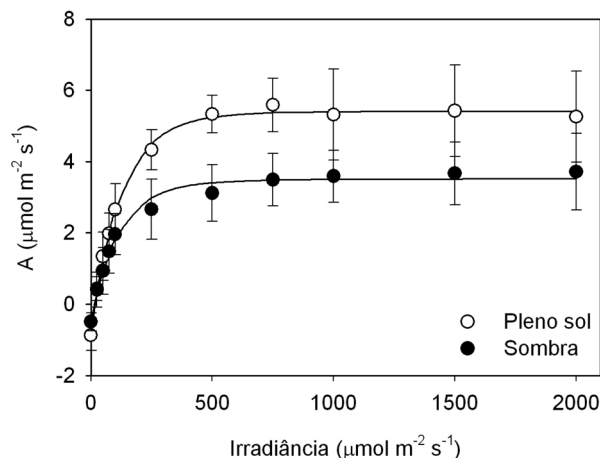


Figura 2. Curva resposta da fotossíntese (A) em função da irradiância de plantas jovens de *Swietenia macrophylla* submetidas a dois ambientes de luz. As linhas representam o ajuste dos dados utilizando o modelo exponencial. As barras verticais representam os desvios padrões.

Figure 2. Photosynthetic response curve (A) of *Swietenia macrophylla* seedlings subjected two light environments. The lines represent the data fitting using the exponential model. The vertical bars represent standard deviations.

Tabela 2. Fotossíntese máxima (A_{max}), respiração no escuro (R_d), condutância estomática (g_s), transpiração (E), fotorrespiração (P_r), eficiência no uso da água (EUA) e Eficiência no uso da água (EIUA) de plantas jovens de *Swietenia macrophylla* submetidas a dois ambientes de luz.

Table 2. Light saturated photosynthesis, (A_{max}), dark respiration (R_d), stomatal conductance (g_s), Transpiration (E) photorespiration (P_r), water use efficiency (EUA) and water use intrinsic efficiency (EIUA) of *Swietenia macrophylla* seedlings subjected two light environments.

Parâmetro	Pleno sol	Sombra
A_{max} ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	5,41±1,00 a	3,52±0,76 b
R_d ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,87±0,42 a	0,50±0,25 b
g_s ($\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	99,8±0,05 a	58,2±0,02 b
E ($\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1,93±0,87 a	1,21±0,13 b
P_r ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1,50±0,26 a	1,03±0,16 b
EUA ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}$)	3,04±0,92 a	3,01±0,56 a
EIUA ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}$)	61,1±18,26 a	65,1±4,05 b

Os valores são médias \pm desvios padrões (n = 10). Médias seguidas da mesma letra, entre tratamentos, não diferem significativamente pelo teste t de Student ($p < 0,05$).

Em estudo com plantas de *Hymenaea courbaril*, originadas da Floresta Amazônica, verificou-se desempenho fotossintético semelhante ao observado neste experimento, ou seja, 5 e 3,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ sob condições de 100 e de 6% de irradiância, respectivamente (LANGENHEIM *et al.*, 1984).

No presente trabalho, também se verificou que plantas sob sombreamento apresentaram valores de g_s 58% menor do que os verificados para plantas sob pleno sol. Estes valores de g_s reforçam os resultados verificados para maiores valores das taxas de carboxilação (V_c), transporte de elétrons (J) e também pela eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) no tratamento a pleno sol (Tabela 3). A maior taxa de fixação de carbono ocorreu porque *S. macrophylla* mostrou ser uma espécie tolerante a níveis de irradiância mais elevados. Embora a fotorrespiração (P_r) tenha aumentando no tratamento a pleno sol, a fotossíntese máxima foi maior do que a verificada no tratamento sob sombra (Tabela 2).

Tabela 3. Rendimento quântico aparente (ϕ_a), irradiância de compensação (I_c), taxa de oxigenação (V_o), taxa de carboxilação (V_c) e Taxa de transporte de elétrons (J) de plantas jovens de *Swietenia macrophylla* submetidas a dois ambientes de luz.

Table 3. Quantum yield (ϕ_a), compensation irradiance (I_c), rate of oxygenation (V_o), rate of carboxylation (V_c) and electron transport rate (J) of *Swietenia macrophylla* seedlings subjected two light environments.

Parâmetro	Pleno sol	Sombra
ϕ_a ($\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ quanta)	0,05±0,01 a	0,04±0,02 b
I_c ($\mu\text{mol fóton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	26,0±13,0 a	20,0±6,00 b
V_o ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	3,00±0,52 a	2,05±0,31 b
V_c ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	6,76±1,48 a	4,74±1,22 b
J ($\mu\text{mol elétron m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	39,0±7,72 a	27,2±6,11 b

Os valores são médias \pm desvios padrões (n = 10). Médias seguidas da mesma letra, entre tratamentos, não diferem significativamente pelo teste t de Student ($p < 0,05$).

A respiração no escuro (R_d) de *S. macrophylla* foi menor (57%) no tratamento sob sombra. Resultados semelhantes foram encontrados em *Cedrela odorata* (GYIMAH e NAKAO, 2007). No entanto, valores de R_d nas plantas sob baixa irradiância do mesmo experimento foram quase duas vezes menores do que os encontrados para *S. macrophylla* neste estudo, o que evidencia que o aumento da respiração se correlaciona positivamente com a aclimação observada em plantas de *S. macrophylla*. Dessa forma, em plantas sob sol pleno, como no caso deste experimento, o aumento dos parâmetros fotossintéticos parece ter implicado no aumento da biomassa do sistema radicular e do caule, conforme observados nas Tabelas 1 e 2. O comportamento das plantas de *S. macrophylla* em manter balanço positivo de assimilação de carbono e, conseqüentemente, do acúmulo de biomassa corrobora com o fato desta espécie ser adaptada a condições, tanto em alta como em baixa luminosidade (CARVALHO, 2007; DIAS; MARENCO, 2007). Esses dados são indicativos da capacidade

desta espécie em ocupar ambientes com diferentes condições de luminosidade. Embora todos os parâmetros de trocas gasosas tenham sido maiores nas plantas sob alta irradiância, não foi verificada nenhuma indicação de diferença na eficiência do uso da água (EUA) entre os dois ambientes, também observado por Marenco *et al.* (2001).

Os valores referentes ao ICC reduziram com a exposição das plantas a pleno sol, assim como, os teores de clorofila a e b que foram maiores nas plantas do tratamento sombreado (Figuras 3 e 4), evidenciando estreita relação entre estes parâmetros, conforme também observado em plantas de *S. macrophylla* sob sombreamento (SALLA *et al.*, 2007). Esses resultados também estão de acordo com os observados em plantios jovens de *S. macrophylla* em diferentes condições de luminosidade (GONÇALVES *et al.*, 2001). Mesmo que *S. macrophylla* seja uma espécie tolerante a condições de alta irradiância, a fluorescência inicial (F_0) aumentou sob pleno sol, conforme resultados de experimentos de Gonçalves *et al.* (2001) e Dias e Marenco (2007), indicando que, ainda assim, com o aumento da taxa fotossintética, danos à proteína D1 do centro de reação do fotossistema II podem ocorrer. Além disso, sob alta irradiância, a taxa de degradação de clorofila é maior do que a de síntese, o que explica os baixos valores observados no tratamento a pleno sol, comparado ao tratamento sob sombra. Desta forma, os melhores resultados verificados nas plantas de *S. macrophylla*, sob sol, podem ser, em parte, explicados pela capacidade da plantas em dissipar a energia excedente que poderia ocasionar danos oxidativos ao fotossistema II e dessa forma conseguir otimizar o uso da energia luminosa em excesso no ganho em biomassa. Fato também observado em outro experimento com plantas jovens de *S. macrophylla* que exibiram maior eficiência fotoquímica em condições de alta irradiância (LEMOFILHO; PAIVA, 2006).

Os resultados deste experimento mostraram que o padrão de acúmulo de biomassa em plantas de *S. macrophylla* é fortemente relacionado a alterações funcionais e morfológicas das folhas que guardam estreitas correlações com o ambiente lumínico. Deste modo, estudos adicionais acerca do metabolismo de plantas de *S. macrophylla* em diferentes estádios de crescimento, nutrição, épocas de coleta e condições ambientais são extremamente importantes para elucidar de vez o padrão do acúmulo de biomassa dessa espécie e sua relação com aspectos ecofisiológicos.

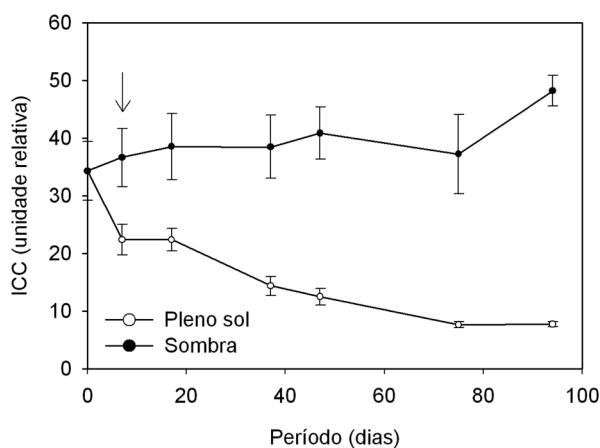


Figura 3. Índice de conteúdo de clorofila (ICC) de plantas jovens de *Swietenia macrophylla* submetidas a dois ambientes de luz. A seta indica o início da diferença significativa entre os tratamentos ($p < 0,05$).

Figure 3. Chlorophyll content index (ICC) of *Swietenia macrophylla* seedlings subjected two light environments. The arrow indicates the start of significant difference between treatments ($p < 0.05$).

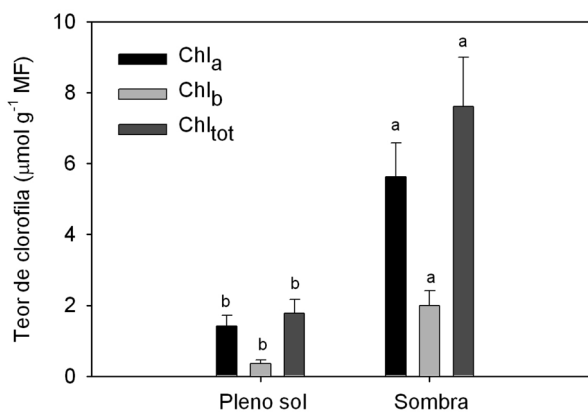


Figura 4. Teores de clorofilas em plantas jovens de *Swietenia macrophylla* submetidas a dois ambientes de luz. Chl_a = clorofila a, Chl_b = clorofila b e Chl_{tot} = clorofila total. Os valores são médias e as linhas verticais, desvios padrões. Médias seguidas da mesma letra entre tratamentos não diferem significativamente pelo teste t de Student ($p < 0,05$).

Figure 4. Chlorophyll contents of *Swietenia macrophylla* seedlings subjected two light environments. Chl_a = chlorophyll a, Chl_b = chlorophyll b and Chl_{tot} = chlorophyll total). Means followed by same letter do not differ significantly between treatments by the t of Student test ($p < 0.05$).

CONCLUSÃO

O ganho de biomassa associado ao aumento de fotossíntese no tratamento de alta irradiância e o equilíbrio nas taxas de crescimento foliar (área e massa) no tratamento a sombra indicam que o mogno apresenta plasticidade fisiológica para diferentes ambientes de luz, característica importante para o sucesso de crescimento desta

espécie em seu ambiente natural ou em plantios. No entanto, destaca-se que esta espécie é dotada de aparato fotossintético capaz de induzir maior ganho de carbono em ambiente sob alta irradiância.

AGRADECIMENTOS

Os autores desta pesquisa agradecem ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (MCTI-INPA) pelo suporte logístico, ao Laboratório de Fisiologia e Bioquímica Vegetal pela infra-estrutura para realização dos experimentos e ao CNPq pelas concessões das bolsas de (mestrado, DTI e produtividade), assim como pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, P.E.R. Mogno: *Swietenia macrophylla*. **Circular Técnica Embrapa Florestas**, Colombo, n.140, 2007. 12p.
- DIAS, D.P.; MARENCO, R.A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.3, p.305–311, 2007.
- EVANS, J.R.; POORTER, H. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.24, n.8, p.755–767, 2001.
- FARQUHAR, G.D.; von CAEMMERER, S. Modelling of photosynthetic response to environmental conditions. In: LANGE, O.L.; NOBEL, P.S.; OSMOND, C.B.; ZIEGLER, H. (Eds.). **Encyclopedia of plant physiology**. Berlin: Springer-Verlag, 1982. (New Series, 12B).
- FERREIRA, M.J.; GONÇALVES, J.F.C.; FERRAZ, J.B.S. Photosynthetic parameters of young Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H. B.) plants subjected to fertilization in a degraded area in Central Amazonia. **Photosynthetica**, Praga, v.47, n.4, p.616–620, 2009.
- FRANCK, N.; VAAST, P. Limitation of coffee leaf photosynthesis by stomatal conductance and light availability under different shade levels. **Trees**, Berlin, v.23, n.4, p.761–769, 2009.
- GONÇALVES, J.F.C.; MARENCO, R.A.; VIEIRA, G. Concentration of photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence of mahogany and tonka bean under two light environments. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.13, n.2, p.49–157, 2001.
- GONÇALVES, J.F.C.; VIEIRA, G.; MARENCO, R.A.; FERRAZ, J.B.S.; SANTOS JUNIOR, U.M.; BARROS, F.C.F. Nutritional status and specific leaf area of mahogany and tonka bean under two light environments. **Acta Amazonica**, Manaus, v.35, n.1, p.23–27, 2005.
- GYIMAH, R.; NAKAO, T. Early growth and photosynthetic responses to light in seedlings of three tropical species differing in successional strategies. **New Forests**, Berlin, v.33, n.3, p.217–236, 2007.
- HENDRY, G.A.F.; PRICE, A.H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: HENDRY, G.A.F.; GRIME, J.P. (Eds.). **Methods in Comparative Plant Ecology**, London: Chapman and Hall, 1993.
- IQBAL, R.M.; RAO, AUR.-R.; RASUL, E.; WAHID, A. Mathematical models and response functions in photosynthesis: an exponential model. In: PESSARAKLI, M. (Ed.). **Handbook of photosynthesis**. New York: Marcel Dekker Inc., 1997.
- LANGENHEIM, J.H.; OSMOND, C.B.; BROOKS, A.; FERRAR, P.J. Photosynthetic responses to light in seedlings of selected Amazonian and Australian rainforest tree species. **Oecologia**, Berlin, v.63, n.2, p.215–224, 1984.
- LEMOS-FILHO, J.P.; PAIVA, E.A.S. The effects of sooty mold on photosynthesis and mesophyll structure of mahogany (*Swietenia macrophylla* King., Meliaceae). **Bragantia**, Campinas, v.65, n.1, p.11–17, 2006.
- LICHTENTHALER, H.K.; WELLBURN, A. Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, London, v.11, p.591–592, 1983.
- LIMA, M.A.O.; MIELKE, M.S.; LAVINSKY, A.O.; FRANÇA, S.; ALMEIDA, A.A.F.; GOMES, F.P. Crescimento e plasticidade fenotípica de três espécies arbóreas com uso potencial em sistemas agroflorestais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.38, n.87, p.527–534, 2010.

- MARENCO, R.A.; GONÇALVES, J.F.C.; VIEIRA, G. Leaf gas exchange and carbohydrates in tropical trees differing in successional status in two light environments in central Amazonia. **Tree Physiology**, Victoria, v.21, n.18, p.1311–1318, 2001.
- NAKAZONO, E.M.; COSTA, M.C.; FUTATSUGI, K.; PAULILO, M.T.S. Crescimento inicial de *Euterpe edulis* Mart. em diferentes regimes de luz. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.24, n.2, p.173–179, 2001.
- OGUCHI, R.; HIKOSAKA, K.; HIURA, T.; HIROSE, T. Costs and benefits of photosynthetic light acclimation by tree seedlings in response to gap formation. **Oecologia**, Berlin, v.155, n.4, p.665–675, 2008.
- QUILES, M.J.; LÓPEZ, N.I. Photoinhibition of photosystems I and II induced by exposure to high light intensity during oat plant growth: effects on the chloroplast NADH dehydrogenase complex. **Plant Science**, Shannon, v.166, n.3, p.815–823, 2004.
- RODRÍGUEZ-CALCERRADA, J.; REICH, P.B.; ROSENQVIST, E.; PARDOS, J.A.; CANO, F.J.; ARANDA, I. Leaf physiological versus morphological acclimation to high-light exposure at different stages of foliar development in oak. **Tree Physiology**, Victoria, v.28, p.761–771, 2008.
- SALLA, L.; RODRIGUES, J.C.; MARENCO, R.A. Teores de clorofila em árvores tropicais determinados com o SPAD-502. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, n.2, p.159–161, 2007.
- SANTOS JÚNIOR, U.M.; GONÇALVES, J.F.C. FELDPAUSCH, T.R. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.226, n.1-3, p.299–309, 2006.
- SILVA, CARLOS EDUARDO MOURA; GONCALVES, J.F.C.; ALVES, G.E. Photosynthetic traits and water use of tree species growing on abandoned pasture in different periods of precipitation in Amazonia. **Photosynthetica**, Praga, v.49, n.2, p.246-252, 2011.
- SILVESTRINI, M.; VÁLIO, I.F.M.; MATTOS, E.A. Photosynthesis and carbon gain under contrasting light levels in seedlings of a pioneer and a climax tree from a Brazilian Semideciduous Tropical Forest. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.30, n.3, p.463–474, 2007.
- STATSOFT. **STATSOFT: Versão 6.0**. Tulsa: StatSoft Inc., 2003.
- WANG, M.L.; JIANG, Y.S.; WEI, J.Q.; WEI, X.; QI, X.X.; JIANG, S.Y.; WANG, Z.M. Effects of irradiance on growth, photosynthetic characteristics and artemisinin content of *Artemisia annua* L.. **Photosynthetica**, Praga, v.46, n.1, p.17–20, 2007.
- WHITMAN, A.A.; BROKAW N.V.L. and HAGAN J.M. Forest damage caused by selective logging of mahogany (*Swietenia macrophylla*) in northern Belize. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.92, p.87-96, 1997.

Recebido em 24/06/2011

Aceito para publicação em 26/04/2012