

Crescimento e plasticidade fenotípica de três espécies  
arbóreas com uso potencial em sistemas agroflorestaisGrowth and phenotypic plasticity of three woody  
species with potential use in agroforestry systemsMarco Antonio Oliveira Lima<sup>1</sup>, Marcelo Schramm Mielke<sup>2</sup>, Alyne Oliveira Lavinsky<sup>3</sup>,  
Solange França<sup>4</sup>, Alex-Alan Furtado de Almeida<sup>5</sup> e Fábio Pinto Gomes<sup>6</sup>**Resumo**

Avaliou-se o crescimento e a plasticidade fenotípica de plantas jovens de *Caesalpinia echinata* Lam. (Pau-Brasil) - *Fabaceae*, *Cariniana legalis* (Martius) Kuntze (Jequitibá) - *Lecythidaceae* e *Genipa americana* L. (Jenipapo) - *Rubiaceae*, em diferentes níveis de luz, visando auxiliar o desenvolvimento de estratégias para o seu plantio e manejo em sistemas agroflorestais. As plantas foram submetidas, por 100 dias, a dois níveis de radiação luminosa em condições naturais, ou seja, luz solar plena e ambiente de 'Cabruca' (Mata Atlântica raleada para o cultivo do cacau), e a quatro níveis de sombreamento artificial em condições de casa de vegetação. Avaliaram-se a biomassa seca e a área foliar no início e final dos experimentos; ao passo que a massa foliar específica, a razão de área foliar, a taxa de crescimento relativo e o índice de plasticidade fenotípica foram calculados no final dos experimentos. Para as três espécies analisadas e nos dois experimentos ocorreu um acúmulo na biomassa proporcional ao aumento da disponibilidade de luz. *G. americana* foi a espécie que apresentou a maior plasticidade fenotípica e a maior capacidade de adaptação em ambientes de sol e sombra, seguida de *C. legalis* e de *C. echinata*.

**Palavras-chave:** *Caesalpinia echinata*, *Cariniana legalis*, *Genipa americana*, Mata Atlântica.

**Abstract**

Growth and phenotypic plasticity of *Caesalpinia echinata* Lam (Pau-Brasil) - *Fabaceae*, *Cariniana legalis* (Martius) Kuntze (jequitiba) - *Lecythidaceae* and *Genipa americana* L. (Jenipapo) - *Rubiaceae* seedlings in different light levels were evaluated aiming to assist with the development of strategies for its management in agroforestry systems. The seedlings were submitted to two light levels under natural conditions, full sunlight and 'Cabruca' (Brazilian Atlantic Rainforest thinned for cacao cultivation), and four levels of artificial shading in a greenhouse during 100 days. Plant biomass and leaf area were evaluated at the beginning and end of the experiments; while the leaf mass per area, leaf area ratio, mean relative growth rate and phenotypic plasticity were calculated at the end of the experiments. For the three species and in the two experiments plant biomass increased proportionally to the increase in light. *G. americana* presented the higher phenotypic plasticity and greater capacity to adapt to sun or shade environments, followed by *C. legalis* and *C. echinata*.

**Keywords:** Atlantic Rainforest, *Caesalpinia echinata*, *Cariniana legalis*, *Genipa americana*.

**INTRODUÇÃO**

O sul da Bahia, inserido numa das regiões mais representativas da Mata Atlântica da região nordeste do Brasil, tem sua realidade sócio-econômica diretamente ligada à cultura do cacau (*Theobroma cacao* L.). Pelo fato de ser uma

espécie típica de sub-bosque, o cacauzeiro vem sendo cultivado tradicionalmente num sistema de cultivo conhecido como 'Cabruca', onde o sub-bosque da Mata Atlântica nativa é raleado e as árvores mais altas são preservadas com o objetivo de prover o sombreamento necessário (SAMBUICHI, 2002; SAMBUICHI, 2006). Entre-

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo. Mestre em Produção Vegetal. Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais (DCAA), Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC). E-mail: [marcoaolima@yahoo.com.br](mailto:marcoaolima@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo. Doutor em Fisiologia Vegetal. Departamento de Ciências Biológicas (DCB/UESC). Rodovia Ilhéus/Itabuna, km 16. Ilhéus, BA. CEP 45662-300. E-mail: [msmielke@uesc.br](mailto:msmielke@uesc.br)

<sup>3</sup>Engenheira Agrônoma. Mestre em Produção Vegetal. DCAA/UESC. E-mail: [alynelavinsky@yahoo.com.br](mailto:alynelavinsky@yahoo.com.br)

<sup>4</sup>Engenheira Agrônoma. Doutora em Agrometeorologia. DCAA/UESC. E-mail: [solafranca@yahoo.com.br](mailto:solafranca@yahoo.com.br)

<sup>5</sup>Engenheiro Agrônomo. Doutor em Fisiologia Vegetal. DCB/UESC. E-mail: [alexalan@uesc.br](mailto:alexalan@uesc.br)

<sup>6</sup>Engenheiro Agrônomo. Doutor em Fisiologia Vegetal. DCB/UESC. E-mail: [gomes@uesc.br](mailto:gomes@uesc.br)

tanto, nos últimos anos a cultura do cacau vem sofrendo uma grave crise ocasionada pelos baixos preços do produto no mercado internacional, e principalmente, a partir do final da década de 80, pelo aparecimento da doença conhecida como vassoura-de-bruxa, causada pelo fungo *Monillioophthora perniciosa* (ALGER e CALDAS, 1996). A crise atual tem levado muitos produtores à necessidade de diversificação agroeconômica, ocasionando o desmatamento das áreas de 'Cabruca' para a implantação de pastagens, cafezais e outros cultivos agrícolas, ou, simplesmente, para extrair e comercializar madeiras nobres. Além disso, nesse sistema de cultivo, os tratamentos culturais afetam diretamente a dinâmica florestal, dificultando a regeneração de espécies arbóreas clímax (ROLIM e CHIARELLO, 2004). Tais fatos justificam a necessidade de pesquisas que visem propor estratégias para a reintrodução de espécies de importância comercial na sombra dos cacauais.

*Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil) - *Fabaceae* e *Cariniana legalis* (Martius) Kuntze (jequitibá-rosa) - *Lecythidaceae* são duas espécies arbóreas nativas das florestas do sul da Bahia, com diferenças morfológicas e exigências ambientais distintas durante a fase de estabelecimento de mudas (CARVALHO, 1994; MORAES NETO *et al.*, 2000; AGUIAR *et al.*, 2005; LAVINSKY *et al.*, 2007; SANCHES *et al.*, 2009). Devido à exploração ostensiva desde o início da colonização européia, *C. echinata* encontra-se ameaçada de extinção, enquanto que *C. legalis*, mesmo estando entre as árvores emergentes da Mata Atlântica, encontra-se em ameaça de extinção, em decorrência da exploração desordenada e da falta de estímulo para plantios de reposição (CARVALHO, 1994). *Genipa americana* L. (Jenipapo) - *Rubiaceae* é uma espécie arbórea de ampla distribuição geográfica em ambientes de Mata Atlântica e que apresenta grande facilidade de estabelecimento de mudas em áreas de elevada pressão antrópica (LAVINSKY *et al.*, 2007), além de produzir frutos muito apreciados para sucos, geléias e doces. Ambas as espécies apresentam importância histórica e cultural para a região sul da Bahia, além do fato de *C. echinata* e *C. legalis* apresentarem madeira de excelente qualidade (CARVALHO, 1994).

Experimentos realizados em condições controladas, utilizando-se de telas sombreadoras são úteis para analisar a tolerância das diferentes espécies ao sol ou sombra (POORTER, 1999; VALLADARES *et al.*, 2002; FENG *et al.*, 2004;

GONÇALVES *et al.*, 2005; MIELKE e SCHAFFER, 2010). No entanto, os experimentos realizados nessas condições, nem sempre refletem integralmente as condições proporcionadas pelo ambiente natural (BLOOR, 2003); pois, além das diferenças na luz disponível, as condições do ambiente em áreas abertas são, também, em outros aspectos, diferenciadas das condições de matas fechadas. Comparativamente com as áreas abertas, no interior das matas fechadas ocorrem reduções da irradiância, das temperaturas do ar e do solo, da precipitação pluvial e da disponibilidade de nutrientes, além do aumento da umidade relativa e conseqüente redução do déficit de pressão de vapor do ar (LOIK e HOLL, 2001). Além disso, a absorção da luz pela copa das árvores mais altas provoca alterações tanto na intensidade quanto na composição espectral da radiação solar que chega ao sub-bosque (SOUZA e VALIO, 2003).

Diversos estudos têm analisado a plasticidade fenotípica de plantas em relação à luz disponível (VALLADARES *et al.*, 2000; VALLADARES *et al.*, 2002; FENG *et al.*, 2004; ROZENDAAL *et al.*, 2006), visto que tais respostas apresentam importante papel na sobrevivência e no crescimento das plantas nos ambientes heterogêneos e variáveis das florestas tropicais. Além disso, na concepção das florestas de usos múltiplos, estudos sobre o potencial de adaptação de espécies à variação na irradiância, bem como sua dependência do gradiente de luz ao longo do perfil vertical do dossel da floresta, apresentam-se como oportunos, tendo em vista que a adaptação à quantidade de luz incidente é um fator fundamental para maximizar o estabelecimento das mudas e o crescimento das plantas (GONÇALVES *et al.*, 2005). Dessa forma, visando auxiliar o desenvolvimento de estratégias para o plantio e o manejo de mudas em sistemas agroflorestais, como as 'Cabruças' do sul da Bahia, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento inicial e a plasticidade fenotípica de três espécies arbóreas tropicais em condições de sombreamento natural e artificial.

## MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas mudas de *C. echinata*, *C. legalis* e *G. americana*, provenientes do Instituto Biofábrica de Cacau (IBC), Ilhéus, BA. Aos 120 dias após a germinação das sementes de *C. legalis* e *C. echinata*; e 180 dias após a germinação das sementes de *G. americana*, 70 mudas de cada es-

pécie foram transplantadas para sacos plásticos pretos com capacidade de 4,5 L, contendo substrato comercial Plantmax® [(turfa + cascas de Pinus trituradas) + fibra de coco triturada (1:1)], enriquecido com micronutrientes, [Osmocote® (19-06-20) e PGmix® (14-16-18)] na proporção de 300 g de cada produto para 120 dm<sup>3</sup> de substrato. As mudas foram transportadas para a casa de vegetação da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA, onde permaneceram por um mês para aclimação local.

Foram instalados dois experimentos simultâneos, a saber: (i) mudas das três espécies arbóreas foram submetidas aos tratamentos 0%, 25%, 50% e 75% de atenuação da luz solar no interior da casa de vegetação da UESC; e (ii) mudas das mesmas espécies foram submetidas à luz solar plena e ao ambiente de "Cabruca" (sombreamento natural). A atenuação da luz solar foi proporcionada por estruturas metálicas (1,20 x 4,30 x 1,60m) cobertas com tela preta do tipo 'sombrite'. Durante dois dias, simultaneamente ao longo dos dois experimentos, a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi monitorada por meio de um sensor de radiação luminosa S-LIA-M003, acoplado à uma estação climatológica Hobo Micro Station Data Logger (Onset, USA), e de um sensor quântico BQM-SUN (Apogee, USA), visando caracterizar a irradiância nos diversos ambientes (natural e artificial) ao nível do topo das mudas. Os valores máximos de RFA observados a pleno sol e na 'Cabruca' foram de 2316 e 690  $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente; ao passo que os valores máximos de RFA observados no interior da casa de vegetação foram de 741, 399, 191 e 168  $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , para 0, 25, 50, 75%, respectivamente. Os tratamentos 0, 25, 50, 75% em sombra artificial apresentaram em torno de 50, 27, 15 e 11% de RFA a pleno sol, respectivamente, enquanto que o tratamento 'Cabruca' apresentou em torno de 6% de RFA a pleno sol.

Na implantação dos experimentos foram avaliados, em nove plantas por espécie, a biomassa seca de raízes (MSR), caules (MSC), folhas (MSF) e total (MST). Aos 100 dias após o início dos experimentos também foram avaliadas novamente a MSR, MSC, MSF e MST, além da área foliar total por planta (AF), em nove plantas por espécie/tratamento. A massa seca foi obtida por meio de secagem em estufa de circulação forçada de ar a 75 °C, até massa constante e a AF foi estimada por meio de um medidor de área LI-3100 (Li-Cor, inc. Lincoln, Nebraska, USA). A partir dos dados de massa seca e AF foram calcu-

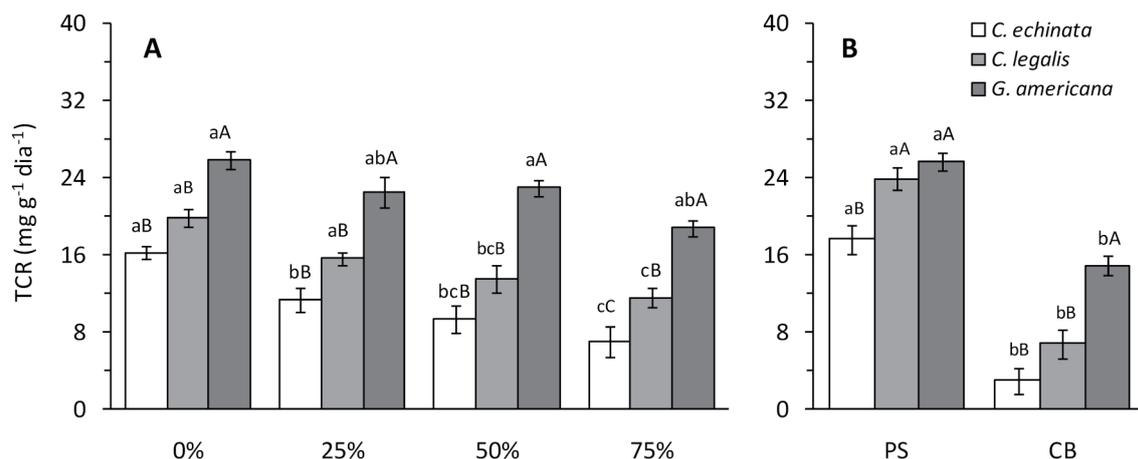
ladas a massa foliar específica ( $MFE = MSF/AF$ ), a razão de área foliar ( $RAF = AF/MST$ ) e a taxa de crescimento relativo ( $TCR = \ln MST_2 - \ln MST_1 / T_2 - T_1$ ). O índice de plasticidade fenotípica (IPF) foi calculado para as variáveis MFE, AF, RAF e TCR, de acordo com Valladares *et al.* (2000), onde:  $IPF = (\text{m\u00e1ximo-m\u00ednimo})/\text{m\u00e1ximo}$ . Os valores de IPF foram calculados com base nas m\u00e9dias dos tratamentos mais contrastantes, ou seja: 0% e 75%, para sombra artificial, e pleno sol e 'Cabruca', para sombra natural.

No experimento de sombreamento natural foi adotado o delineamento experimental completamente ao acaso, num esquema fatorial 3 x 2, com tr\u00eas esp\u00e9cies, dois n\u00edveis de luz e nove repeti\u00e7\u00f5es. No experimento de sombra artificial foi adotado o delineamento experimental completamente ao acaso, num esquema fatorial 3 x 4, com tr\u00eas esp\u00e9cies, quatro n\u00edveis de luz e nove repeti\u00e7\u00f5es. Os resultados obtidos nos dois experimentos foram submetidos \u00e0 an\u00e1lise da vari\u00e2ncia, seguida de compara\u00e7\u00f5es de m\u00e9dias pelo teste de Tukey em n\u00edvel de 5% de probabilidade. Nos dois experimentos, cada unidade experimental foi composta por uma planta, sendo que as an\u00e1lises foram realizadas por meio do pacote estat\u00edstico SAEG 9.0 (FUNDA\u00c7\u00c3O ARTHUR BERNARDES, 2010)

## RESULTADOS

Em todos os n\u00edveis de sombreamento e nos dois experimentos, os maiores valores de TCR foram obtidos para *G. americana*, seguido de *C. legalis* e de *C. echinata* (Figura 1). No experimento de sombra artificial a TCR diminuiu significativamente com o aumento dos n\u00edveis de sombreamento para *C. echinata* e *C. legalis* (Figura 1A). No experimento de sombra natural a TCR diminuiu significativamente nas tr\u00eas esp\u00e9cies \u00e0 medida que os n\u00edveis de sombreamento aumentaram (Figura 1B).

Em sombra artificial, foram observadas diferen\u00e7as significativas entre tratamentos para a AF, em *C. echinata* e *C. legalis* (Figura 2A). Para as tr\u00eas esp\u00e9cies, verificaram-se diminui\u00e7\u00f5es significativas da MFE (Figura 2C e 2D) e aumentos na RAF a medida que aumentou o sombreamento (Figura 2E e 2F). Os maiores valores m\u00e9dios de AF no tratamento a pleno sol foram obtidos para *C. legalis*, seguido de *C. echinata* e de *G. americana* (Figura 2B). Em casa de vegeta\u00e7\u00e3o, por outro lado, os maiores valores de AF foram obtidos para *G. americana*, seguido



**Figura 1.** Taxa de crescimento relativo (TCR) de três espécies arbóreas tropicais em condições de sombra artificial (A) e natural (B). PS - pleno sol e CB - Cabruca. Para o experimento de sombreamento artificial as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas representam comparações entre espécies dentro dos tratamentos de sombra e letras minúsculas representam comparações entre os tratamentos de sombra dentro de espécies.

**Figure 1.** Relative growth rate (RGR) of three tropical tree species under artificial (A) and natural (B) shade. PS - full sun and CB - Cabruca. For the experiment of artificial shade, means followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's test ( $p < 0.05$ ). Capital letters represent comparisons of species within light treatments and lower case letters represent comparisons of light treatments within species.

de *C. legalis* e de *C. echinata* (Figura 2A). Comparando-se os dados obtidos nas três espécies a pleno sol, observa-se que os maiores valores de MFE foram obtidos para *G. americana*, seguido de *C. echinata* e *C. legalis*; ao passo que, em ambiente de 'Cabruca', os maiores valores de MFE foram obtidos para *C. echinata*, seguido de *C. legalis* e *G. americana* (Figura 2D).

Diferenças na plasticidade fenotípica entre ambientes e espécies foram mais acentuadas no experimento de sombra natural (Figura 3). Com exceção da RAF todas as demais variáveis apresentaram tendências de respostas similares nos dois experimentos. Em sombra natural, os maiores valores de IPF para TCR foram observados em *C. echinata* (Figura 3D) seguido de *C. legalis* (Figura 3E) e de *G. americana* (Figura 3F). Em casa de vegetação tais diferenças foram menos acentuadas, embora com uma tendência similar entre as espécies. Tanto em sombra natural como artificial, os maiores valores de IPF para MFE foram observados para *G. americana*, seguido de *C. legalis* e *C. echinata*.

## DISCUSSÃO

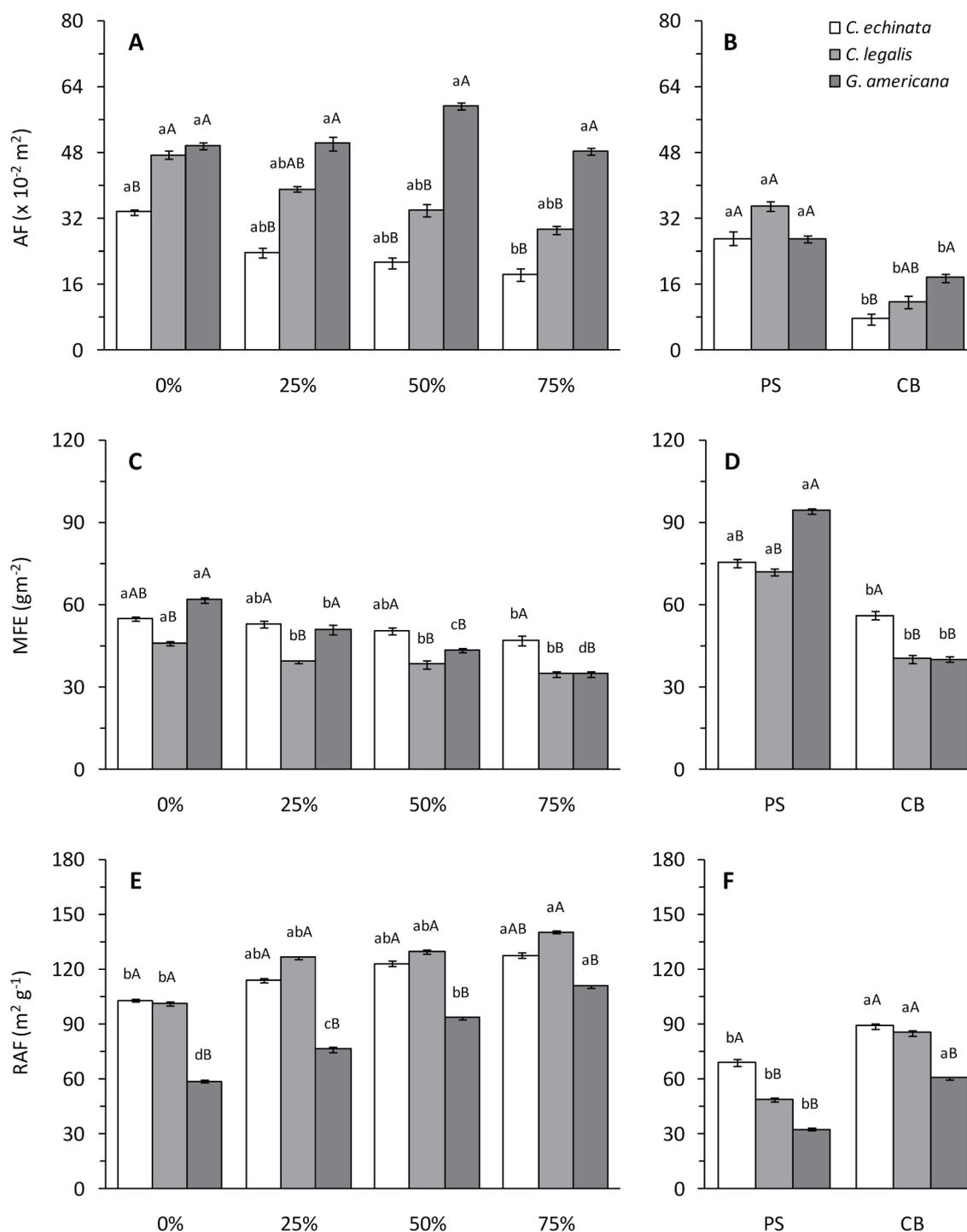
A maioria das espécies vegetais é capaz de adaptar-se, em maior ou menor grau, quando submetidas a diferentes ambientes de luz (GIVINISH, 1988), sendo a plasticidade fenotípica com relação ao sol e a sombra de fundamental importância para a sobrevivência e o crescimento de plantas em ambientes heterogêneos

e dinâmicos, como as florestas tropicais úmidas (VALLADARES *et al.*, 2000; ROZENDAAL *et al.*, 2006). A capacidade de uma determinada espécie em adaptar-se às condições de sol ou sombra pode ser evidenciada pela avaliação do crescimento inicial das plantas sob diferentes condições de disponibilidade de luz (POORTER, 1999; VALLADARES *et al.*, 2000; FENG *et al.*, 2004; GONÇALVES *et al.*, 2005; MIELKE e SCHAFFER, 2010). No presente estudo, para as três espécies analisadas e nos dois experimentos realizados, o tratamento pleno sol promoveu o maior acúmulo de biomassa.

Muitas espécies desenvolvem folhas com características anatômicas e morfológicas diferentes, dependendo dos níveis de sombra ou sol ao qual foram expostas durante o seu desenvolvimento (ARANDA *et al.*, 2004). Sob baixa intensidade de luz a maioria das espécies vegetais tende a aumentar a absorção de luz, alocando mais biomassa para as folhas do que para raízes, produzindo folhas mais finas, com maior superfície por unidade de massa, epiderme mais fina e estrutura mais esponjosa do que as folhas de sol (GIVINISH, 1988). Com exceção de *G. americana*, no experimento em condições de sombra artificial, de maneira geral foram verificadas diminuições significativas na AF com o aumento dos níveis de sombreamento; principalmente quando as mudas estavam na sombra dos cacauzeiros. As diminuições verificadas na AF podem ser explicadas pelo fato de que em condições de pouca luz as

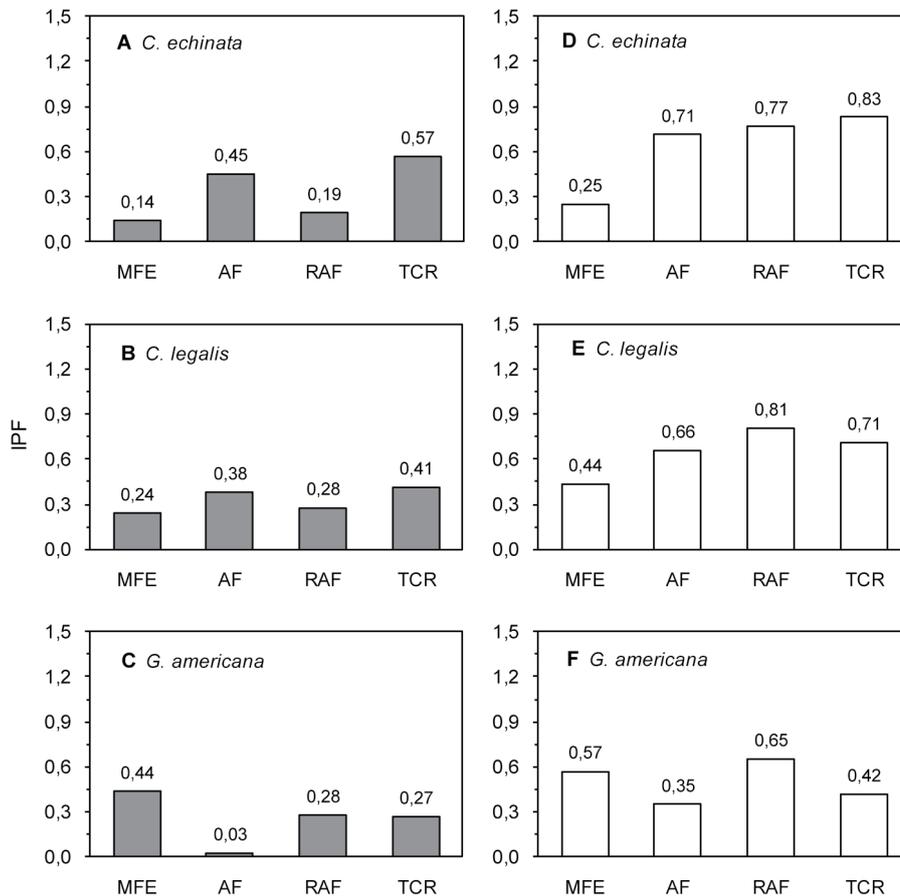
taxas de assimilação de carbono não foram suficientes para a produção de novos tecidos fotossintetizantes. Além disso, em condições em que os contrastes de disponibilidade de luz foram muito acentuados, resultados semelhan-

tes já haviam sido obtidos para *G. americana* (LAVINSKY *et al.*, 2007) e têm sido relatados para outras espécies arbóreas tropicais, tanto pioneiras como secundárias (SOUZA e VÁLIO, 2003; FEIJÓ *et al.*, 2009).



**Figura 2.** Área foliar total por planta (AF), massa foliar específica (MFE) e razão de área foliar (RAF) para três espécies arbóreas tropicais em condições de sombra artificial (A, C, E) e natural (B, D, F). PS - pleno sol e CB - Cabruca. Para o experimento de sombreamento artificial as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Letras maiúsculas representam comparações entre espécies dentro dos tratamentos de sombra e letras minúsculas representam comparações entre os tratamentos de sombra dentro de espécies.

**Figure 2.** Total leaf area per plant (LA), leaf mass per area (MFE) and leaf area ratio (RAF) for three tropical tree species under artificial (A, C, E) and natural (B, D, F) shade. PS - full sun and CB - Cabruca. For the experiment of artificial shade means followed by the same letter are not significantly different according to Tukey's test ( $p < 0.05$ ). Capital letters represent comparisons of species within light treatments and lower case letters represent comparisons of light treatments within species.



**Figura 3.** Índices de plasticidade fenotípica (IPF) para três espécies tropicais após 100 dias crescendo em condições de sombra artificial (colunas em cinza) e natural (colunas em branco). Abreviações: MFE (massa foliar específica), AF (área foliar total), RAF (razão de área foliar) e TCR (taxa de crescimento relativo).

**Figure 3.** Phenotypic plasticity Indexes (IPF) for three tropical species after 100 days in growing under artificial (gray columns) and natural (blank columns) shade. Abbreviations: MFE (leaf mass per area), AF (total leaf area), RAF (leaf area ratio) and TCR (relative growth rate).

Pelo fato de representar o incremento em biomassa a partir da biomassa pré-existente (HUNT, 1990), a TCR é um excelente indicativo da adaptação das plantas a diferentes condições ambientes. No presente experimento, os valores da TCR obtidos a pleno sol (26, 24 e 18 mg g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, para *G. americana*, *C. legalis*, e *C. echinata*, respectivamente) encontram-se dentro da faixa de resultados previamente relatados para outras espécies arbóreas tropicais (POORTER, 1999; SOUZA e VÁLIO, 2003). Em geral, a TCR a pleno sol está diretamente relacionada ao estágio sucessional das espécies analisadas; sendo que as espécies pioneiras e intermediárias tendem a apresentar valores superiores às espécies secundárias ou clímax (POORTER, 1999; SOUZA e VÁLIO, 2003). Os maiores valores de IPF para TCR, tanto em sombra natural como artificial, foram observadas para *C. echinata*, seguido de *C. legalis* e de *G. americana*. Considerando que o IPF é uma relação entre os maiores e menores valores obtidos (VALLADARES *et al.*, 2000), nesse caso, quanto maiores forem os valores calcu-

lados, menor será a capacidade da espécie analisada em adaptar-se à condições extremas de sol e sombra. Esses resultados estão de acordo com aqueles obtidos por Aguiar *et al.* (2005), os quais verificaram que mudas de *C. echinata* com 24 meses de idade apresentaram uma tendência à diminuição do crescimento à medida que aumentaram os níveis de sombra, e com Moraes Neto *et al.* (2000), que verificaram que mudas de *G. americana* apresentam maior crescimento em níveis intermediários de disponibilidade de luz. Os menores valores de IPF para a TCR em *G. americana* e os maiores valores de TCR obtidos para essa espécie em todos os níveis de sombreamento são indicativos de uma espécie que ocupa os estágios iniciais da sucessão ecológica. Comparativamente com as demais espécies, a maior plasticidade fenotípica de mudas de *G. americana* proporciona o rápido estabelecimento das mudas e uma vantagem competitiva em sistemas mais dinâmicos e perturbados.

Os maiores valores de IPF para MFE, nos dois experimentos, foram observados para *G. ameri-*

cana seguido de *C. legalis* e de *C. echinata*. A MFE é uma variável morfológica diretamente relacionada com a disponibilidade de luz no ambiente de crescimento e desenvolvimento das folhas (EVANS e POORTER, 2001; ARANDA *et al.*, 2004; SANCHES *et al.*, 2009); sendo que as alterações estruturais em folhas, particularmente na MFE, estão entre os principais componentes da aclimação às condições de sol e sombra (ARANDA *et al.*, 2004; FENG *et al.*, 2004). Altos valores de MFE podem ser resultado da diminuição do tamanho das folhas e do aumento na quantidade e da capacidade do aparato fotossintético por unidade de área (EVANS e POORTER, 2001; ARANDA *et al.*, 2004). Assim, um alto valor de IPF para MFE em *G. americana* pode estar relacionado com a manutenção de altas taxas de assimilação de carbono nos diferentes ambientes (EVANS e POORTER, 2001) e, conseqüentemente, dos elevados valores de TCR, comparativamente com as demais espécies analisadas.

Pesquisas realizadas por Sambuichi (2002) e Rolim e Chiarello (2004) indicaram que as 'Cabruças' do sul da Bahia e do norte do Espírito Santo apresentam grande importância para a conservação biológica de espécies arbóreas nativas, embora essas áreas estejam sendo rapidamente alteradas, raleadas e empobrecidas. Assim, estudos sobre a adaptação das espécies arbóreas à disponibilidade de luz no seu ambiente de crescimento são importantes no sentido de contribuir para o desenvolvimento de técnicas de plantio e manejo de mudas dessas espécies na perspectiva de múltiplos usos da floresta. A inclusão de espécies arbóreas de valor econômico no sombreamento dos cacauzeiros deverá permitir maior rentabilidade e sustentabilidade ao sistema, ampliando a intersecção entre as esferas econômica, ambiental e social (MONTAGNINI e NAIR, 2004).

## CONCLUSÕES

No presente estudo *G. americana* apresentou a maior plasticidade fenotípica, com maiores variações na MFE e maior produção de biomassa tanto em condições de sombra artificial como natural; fato que possibilita maior crescimento em sistemas mais dinâmicos e perturbados. Assim, com base nesses resultados, sugere-se que mudas de *G. americana* podem ser plantadas em qualquer local dentro das 'Cabruças', ao passo que, mudas de *C. legalis* e de *C. echinata*, deveriam ser reintroduzidas preferencialmente em clareiras ou nos

locais onde os cacauzeiros foram plantados com maior espaçamento entre plantas.

## AGRADECIMENTOS

Pesquisa realizada com recursos do projeto "Avaliação dos mecanismos fisiológicos de resposta ao sombreamento e à deficiência de oxigênio no solo em espécies arbóreas da mata atlântica" (Convênio FAPESB/UESC 076/04). Alyne Oliveira Lavinsky foi bolsista de Iniciação Científica da FAPESB. Alex-Alan F. de Almeida e Marcelo S. Mielke são bolsistas de Produtividade em Pesquisa do CNPq.

## REFERÊNCIAS

- ALGER, K.; CALDAS, M. Cacau na Bahia: decadência e ameaça à Mata Atlântica. *Ciência Hoje*, Rio de Janeiro, v.117, p.28-35, 1996.
- AGUIAR, F.F.A.; KANASHIRO, S.; TAVARES, A.R.; PINTO, M.M.; STANCATO, G.C.; AAGUIAR, J.; NASCIMENTO, T.D.R. Germinação de sementes e formação de mudas de *Caesalpinia echinata* Lam. (Pau-brasil): efeito de sombreamento. *Revista Árvore*, Viçosa, v.29, n.6, p.871-875, 2005.
- ARANDA, I.; PARDO, F.; GIL, L.; PARDOS, J.A. Anatomical basis of the change in leaf mass per area and nitrogen investment with relative irradiance within the canopy of eight temperate tree species. *Acta Oecologica*, Berlin, v.25, p.187-195, 2004.
- BLOOR, J.M.G. Light responses of shade-tolerant tropical tree species in north-east Queensland: a comparison of forest- and shadehouse-grown seedlings. *Journal of Tropical Ecology*, Cambridge, v.19, p.163-170, 2003.
- CARVALHO, P.E.R. *Espécies florestais brasileiras*. Colombo: Embrapa/CNPq, 1994.
- 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, p.755-767, 2001.
- FEIJÓ, N.S.A.; MIELKE, M.S.; GOMES, F.P.; FRANÇA, S.; LAVINSKY, A.O. Growth and photosynthetic responses of *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms and *Schinus terebinthifolius* Raddi seedlings in dense shade. *Agroforestry Systems*, Berlin, v.77, p.49-58, 2009.

- FENG, Y.L.; CAO, K.F.; ZHANG, J.L. Photosynthetic characteristics, dark respiration, and leaf mass per unit area in seedlings of four tropical tree species grown under three irradiances. **Photosynthetica**, Praga, v.42, p.431-437, 2004.
- FUNDAÇÃO ARTHUR BERNARDES. SAEG 9.0. Disponível em: <<http://www.ufv.br/saeg/download.htm>> . Acesso em: 06 ago. 2010
- GIVINISH, T.J. Adaptations to sun and shade: a whole plant perspective. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.15, p.63-92, 1988.
- GONÇALVES, J.F.C.; BARRETO, D.C.S.; SANTOS JÚNIOR, U.M.; FERNANDES, A.V.; SAMPAIO, P.T.B.; BUCKERIDGE, M.S. Growth, photosynthesis and stress indicators in young rosewood plants (*Aniba rosaeodora* Ducke) under different light intensities. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, São Carlos, v.17, p.325-334, 2005.
- HUNT, R. **Basic growth analysis**. Londres: Unwin Hyman, 1990.
- LAVINSKY, A.O.; SANT'ANA, C.S.; MIELKE, M.S.; ALMEIDA, A.A.F.; GOMES, F.P.; FRANÇA, S.; SILVA, D.C. Effects of light availability and soil flooding on growth and photosynthetic characteristics of *Genipa americana* L. seedlings. **New Forests**, Berlin, v.34, p.41-50, 2007.
- LOIK, M.E.; HOLL, K.D. Photosynthetic responses of three seedlings in grass and under shrubs in early-successional tropical old fields, Costa Rica. **Oecologia**, Berlin, v.127, p.40-50, 2001.
- MIELKE, M.S.; SCHAFFER, B. Photosynthetic and growth responses of *Eugenia uniflora* L. seedlings to soil flooding and light intensity. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v.68, p.113-121, 2010.
- MONTAGNINI, F.; NAIR, P.K.R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Berlin, v.61, p.281-295, 2004.
- MORAES NETO, S.P.; GONÇALVES, J.L.M.; TAKAKI, M.; CENCI, S.; GONÇALVES, J.C. Crescimento de mudas de algumas espécies arbóreas que ocorrem na Mata Atlântica, em função do nível de luminosidade. **Revista Árvore**, Viçosa, v.24, n.1, p.35-45, 2000.
- POORTER, L. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**, Londres, v.13, p.396-410, 1999.
- ROLIM, S.G.; CHIARELLO, A.G. Slow death of Atlantic forest trees in cocoa agroforestry in southeastern Brazil. **Biodiversity and Conservation**, Berlin, v.13, p.2679-2694, 2004.
- ROZENDAAL, D.M.A.; HURTADO, V.H.; POORTER, L. Plasticity in leaf traits of 38 tropical species in response to light; relationships with light demand and adult stature. **Functional Ecology**, Londres, v.20, p.207-216, 2006.
- SAMBUICHI, R.H.R. Fitossociologia e diversidade de espécies arbóreas em Cabruca (Mata Atlântica raleada sobre plantações de cacau) na região sul da Bahia, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v.16, p.89-101, 2002.
- SAMBUICHI, R.H.R. Estrutura e dinâmica do componente arbóreo em área de Cabruca na região cacauzeira do sul da Bahia, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v.20, p.943-954, 2006.
- SANCHES, M.C.; MIELKE, M.S.; SOUZA, C.S.D.; VIEIRA, A.J.D.; LOPES, M.M.M.; SILVA JÚNIOR, M.B. Morfologia foliar de indivíduos jovens e adultos de *Caesalpinia echinata* Lam. numa floresta semidecídua do sul da Bahia. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.5, p.885-893, 2009.
- SOUZA, R.P.; VÁLIO, I.F.M. Seedling growth of fifteen Brazilian tropical tree species differing in successional status. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.26, p.35-47, 2003.
- VALLADARES E.; CHICO, J.M.; ARANDA, I.; BALAGUER, L.; DIZENGREMEL, P.; MANRIQUE, E.; DREYER, E. The greater seedling high-light tolerance of *Quercus robur* over *Fagus sylvatica* is linked to a greater physiological plasticity. **Trees**, Berlin, v.16, p.395-403, 2002.
- VALLADARES, E.; WRIGHT, S.J.; LASSO, E.; KITAJIMA, K.; PEARCY, R.W. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a panamanian rainforest. **Ecology**, Ithaca, v.81, p.1925-1936, 2000.

Recebido em 18/08/2009

Aceito para publicação em 21/07/2010



## **INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF)**

Armando José Storni Santiago (International Paper do Brasil Ltda.) - Presidente

Germano Aguiar Vieira (Masisa Brasil Empreendimentos Florestais Ltda.) - Vice-Presidente

### **Empresas Associadas Mantenedoras / Partners**

- » Arauco Florestal Arapoti S.A.
- » Arborgen Tecnologia Florestal Ltda
- » ArcelorMittal BioEnergia Ltda
- » Caxuana S/A Reflorestamento
- » Celulose Nipo-Brasileira S/A - CENIBRA
- » CMPC Celulose Riograndense
- » Consórcio Paulista de Papel e Celulose
- » Copener Florestal Ltda
- » Duratex S/A
- » Eucatex S/A Indústria e Comércio
- » Fibria Celulose S/A
- » Forestal Oriental
- » International Paper do Brasil Ltda
- » Jari Celulose, Papel e Embalagens S.A.
- » Klabin S/A
- » Lwarcel Celulose Ltda
- » Masisa do Brasil Ltda
- » Montes Del Plata S.A.
- » Ramires Reflorestamentos Ltda
- » Rigesa Celulose, Papel e Embalagens Ltda
- » Stora Enso Florestal RS Ltda
- » Suzano Papel e Celulose S.A.
- » Veracel Celulose S/A
- » V&M Florestal Ltda