

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA-INPA

Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais

Programa Integrado de Pós-Graduação em Botânica

ECOFISIOLOGIA EM MUDAS DE ACARIQUARA (*Minquartia*

***guianensis* Aubl.) E MOGNO (*Swietenia macrophylla* King.)**

ACLIMATADAS À CAMPOS ABERTOS

Gracilene Fernandes da Costa Azevedo

Fonte Financiadora: FAPEAM (PIPT 1746-08); INPA/MCT; CTPETRO (Fase IV)

**Manaus - Amazonas
Maio, 2009**

Gracilene Fernandes da Costa Azevedo

**ECOFISIOLOGIA EM MUDAS DE ACARIQUARA (*Minquartia
guianensis* Aubl.) E MOGNO (*Swietenia macrophylla* King.)
ACLIMATADAS À CAMPOS ABERTOS**

Orientador: Dr. Ricardo Antônio Marengo

Co-orientador: Dr. Luiz Antonio Candido

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia e Recursos Naturais (PPG-BTRN), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Botânica.

**Manaus - Amazonas
Maio, 2009**

FICHA CATALOGRÁFICA

Azevedo, Gracilene, F.C.

Ecofisiologia em mudas de acariquara (*Minquartia guianensis* Aubl.) e mogno (*Swietenia macrophylla* King.) aclimatadas a campos abertos. / Gracilene Fernandes da Costa Azevedo.

Manaus /AM: INPA/2009

Dissertação de Mestrado

p. 82 pp il.

1. Ecofisiologia, 2. Aclimação, 3. *Minquartia guianensis*, 4. *Swietenia macrophylla*

Sinopse:

Estudou-se o efeito do tempo de solarização na taxa de fotossíntese, na eficiência fotoquímica do fotossistema 2 (relação F_v/F_m), na atividade máxima da Rubisco, na taxa máxima de transporte de elétrons e no crescimento de mudas de acariquara e mogno aclimatadas a radiação solar plena.

Palavras-chave: Aclimação, Amazônia, Fotossíntese, *Minquartia guianensis*, *Swietenia macrophylla*.

Key words: Acclimation, Amazonia, photosynthetic, *Minquartia guianensis*, *Swietenia macrophylla*.

Dedico

À minha querida mãe Sebastiana Fernandes

Ao meu querido esposo João Batista,

Pelo apoio, compreensão e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao querido Deus, pela proteção, sabedoria, humildade e por permitir com que eu chegasse neste momento tão especial e tão almejado da minha vida.

À minha família, em especial a minha querida mãe Sebastiana por estar sempre do meu lado.

À memória póstuma do meu querido pai, Antonio Cardoso, que mesmo não estando mais aqui junto de mim, continua me protegendo e me dando forças para continuar essa caminhada.

Ao meu querido esposo João Batista, pela força, paciência e ajuda em todos os momentos dessa caminhada.

Ao meu orientador, Dr. Ricardo Marengo, pelos ensinamentos, paciência e incentivos em todos os momentos dessa caminhada científica. Pela orientação recebida desde o primeiro momento que ingressei no Curso de Mestrado e durante todo o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu co-orientador, Dr. Luiz Cândido pelas sugestões na avaliação da aula de qualificação e também pelas observações sugeridas no decorrer do experimento.

Ao Programa de Pós-graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais (PPG-BTRN/INPA), pela oportunidade de ingressar no curso de Botânica.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por conceder a bolsa de estudos.

À coordenadora do curso de Botânica, Dra. Maria Lúcia Absy meus agradecimentos.

Aos professores do curso de Botânica, meu muito obrigado pelos ensinamentos adquiridos na sala de aula.

Aos professores que avaliaram o projeto da dissertação.

À secretaria do curso de Botânica, em particular a Neide e Gisele pelas informações fornecidas em todas as ocasiões.

À secretaria de Silvicultura Tropical (INPA-V8) na pessoa da Valdecira, Alcione e Raimunda.

Aos professores doutores da banca julgadora (Ricardo E. Bressan-Smith, Benedito G. S. Filho, Angela P. Vitória, Osvaldo Ferrarese- Filho e Lúcia R. Dillenburg pela avaliação e sugestões para a melhoria da qualidade dessa dissertação.

A todos os colegas da turma de 2007 e 2008, pelo convívio e amizade.

Aos colegas do Laboratório de Ecofisiologia Vegetal - Miguel, Saul, José, Helena, Keila, Nilvanda em particular a Priscila e a Enedina pela ajuda na coleta de dados no laboratório, e em especial a minha querida amiga Daniela, pelo companheirismo, sugestões, informações e incentivos em todos os momentos.

Às amigas de todo o sempre, Isabel, Juliana, Leocinira, Gisele e Sheron meu muito obrigado.

Ao seu Diomar Barros e o seu Walderico Cabral pelo consentimento na liberação do viveiro (montagem do experimento).

Ao Edmilso pela ajuda na coleta de campo.

E a todos que contribuíram pela elaboração dessa dissertação, meus agradecimentos.

“O SENHOR é o meu pastor, nada me faltará. Deitar-me faz em verdes pastos, guia-me mansamente a águas tranquilas. Refrigera a minha alma; guia-me pelas veredas da justiça, por amor do seu nome. Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte, não temeria mal algum, porque tu estás comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam. Preparas uma mesa perante mim na presença dos meus inimigos, unges a minha cabeça com óleo, o meu cálice transborda. Certamente que a bondade e a misericórdia me seguirão todos os dias da minha vida; e habitarei na casa do SENHOR por longos dias. [Salmo 23 - O bom pastor]”.

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi estudar a resposta ecofisiológica de mudas de acariquara (*Minquartia guianensis* Aubl.) e mogno (*Swietenia macrophylla* King.) aclimatadas à radiação solar plena. O experimento foi realizado no campus V-8 do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) em Manaus, entre junho e dezembro de 2008. Utilizaram-se os seguintes tempos de solarização (TS): 0 (T₀, controle, mantido na sombra a 0,40 mol m⁻² dia⁻¹), 30 (T₃₀), 60 (T₆₀), 90 (T₉₀), 120 (T₁₂₀), 150 (T₁₅₀) e 180 dias (T₁₈₀). Em cada TS foram usadas cinco mudas (repetições) por espécie. Ao final do período de aclimação foram mensuradas: a relação F_v/F_m, as taxas de fotossíntese (A), a condutância estomática (g_s), a velocidade máxima de carboxilação da Rubisco (V_{cmax}), a taxa máxima de transporte de elétrons (J_{max}), a transpiração (E), o potencial hídrico da folha (Ψ_f), a altura, o diâmetro, o número de folhas, a área foliar específica (AFE) e o teor de clorofilas e carotenóides. Os dados de trocas gasosas foram mensurados com um medidor de fotossíntese (Li-6400, Li-Cor, EUA). Na acariquara, a transferência à luz solar plena causou, no início do experimento, fotoinibição severa que em alguns casos evoluiu para fotooxidação foliar e abscisão prematura de folhas; observando-se nesta espécie pouca produção de novas folhas, ao longo do experimento. Ao contrário, no mogno houve produção abundante de folhas (e pouca abscisão) e ausência de fotooxidação foliar. A exposição súbita das plantas à alta radiação solar causou diminuição severa na relação F_v/F_m, sendo mais acentuada na acariquara. No entanto, ao final do período de aclimação, tanto as mudas de acariquara como as de mogno apresentaram recuperação da fotoinibição, atingindo a relação F_v/F_m valores próximos aos observados no controle. Assim, nos últimos três meses do período de aclimação à luz solar plena, V_{cmax} foi de 12,9 μmol m⁻² s⁻¹ para acariquara, e de 20,4 μmol m⁻² s⁻¹ para o mogno; já a fotossíntese potencial (A_{pot}), para o mesmo período, foi de 8,2 μmol m⁻² s⁻¹ para acariquara e 10,2 μmol m⁻² s⁻¹ para o mogno. Não houve efeito do processo de aclimação no potencial hídrico da folha (Ψ_f). Finalmente, a maior taxa de fotossíntese observada no mogno coincidiu com as maiores taxas de crescimento nesta espécie, sendo estas aproximadamente três vezes maiores no mogno (crescimento em diâmetro de 0,9 mm mês⁻¹) do que na acariquara (0,25 mm mês⁻¹).

ABSTRACT

The objective of this research was to study the ecophysiological behavior of saplings of acariquara (*Minquartia guianensis* Aubl.) and mahogany (*Swietenia macrophylla* King.) during acclimation to full sunlight. The experiment was conducted at the Campus V-8 of the National Institute for Research in the Amazon (INPA) in Manaus, between June and December of 2008. The acclimation periods (TS) were: 0 (T₀, control, kept under shade, at 0.40 mol m⁻² day⁻¹), 30 (T₃₀), 60 (T₆₀), 90 (T₉₀), 120 (T₁₂₀), 150 (T₁₅₀) and 180 days (T₁₈₀). At each acclimation treatment, five saplings (replicates) per species were used. At the end of acclimation treatments were measured: the F_v/F_m ratio, photosynthetic rates (A), stomatal conductance (g_s), maximum carboxylation rate of Rubisco (V_{cmax}), maximum rate of electron transport (J_{max}), transpiration (E), leaf water potential (Ψ_f), height, diameter, number of leaves, specific leaf area (AFE), and chlorophyll and carotenoid contents. Gas exchange rates were measured with a photosynthesis meter (Li-6400, Li-Cor, USA). In acariquara, transfer to full sunlight immediately caused severe photoinhibition, which in some cases evolved to leaf photooxidation and premature leaf abscission. In this species, little production of new leaves during the experiment was observed. On the contrary, mahogany showed abundant production of leaves (and little leaf abscission) and absence of leaf photooxidation. The sudden plant exposure to full sunlight caused severe reduction in the F_v/F_m ratio, which was more pronounced in acariquara. However, at the end of the acclimation period, saplings of both species showed almost full recovery against photoinhibition, with F_v/F_m values close to those observed in control plants. Thus, in the last three months of the acclimation period to full sunlight, V_{cmax} was 12.9 μmol m⁻² s⁻¹ for acariquara and 20.4 μmol m⁻² s⁻¹ for mahogany, while the potential photosynthesis (A_{pot}) for the same period, was 8.2 μmol m⁻² s⁻¹ for acariquara and 10.2 μmol m⁻² s⁻¹ for mahogany. There was no effect of the acclimation process on Ψ_f. Finally, the higher photosynthetic rate observed in mahogany also coincided with higher growth rates in this species, which grew about three times faster (growth in diameter of 0.9 mm month⁻¹) than acariquara (0.25 mm month⁻¹).

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. HIPÓTESES	2
3. OBJETIVOS	2
3.1. Geral	2
3.2. Específicos	2
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
4.1. Ambiente físico das plantas	3
4.1.1. Radiação fotossinteticamente ativa (Q)	3
4.1.2. Temperatura, umidade do ar e pressão de vapor	5
4.2. Processo de aclimatação	5
4.2.1. Aclimatação ao ambiente luminoso	6
4.2.2. Aclimatação à disponibilidade de água	6
4.3. Crescimento da planta	7
4.4. Fluorescência da clorofila a	8
4.5. Fotoinibição	9
4.6. Fisiologia de estômatos e condutância estomática	10
4.7. Relações hídricas	11
4.8. Morfologia da folha	13
5. MATERIAL E MÉTODOS	14
5.1. Local do experimento	14
5.2. Material Vegetal	14
5.2.1. Acariquara	14
5.2.2. Mogno	14
5.3. Características das espécies estudadas	15
5.3.1. Acariquara	15
5.3.2. Mogno	15
5.4. Determinação da irradiância	16
5.5. Determinação da fluorescência da clorofila a	16
5.6. Determinação das variáveis de trocas gasosas	16
5.7. Determinação do potencial hídrico da folha	18
5.8. Determinação do crescimento e da área foliar específica	18
5.9. Determinação do conteúdo de clorofilas e carotenóides	18
5.10. Tratamentos de solarização e delineamento experimental	19
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
6.1. Irradiância incidente durante o período de aclimatação à luz solar plena	20
6.2. Efeito dos tratamentos de solarização (TS) nas folhas de acariquara e mogno ...	20
6.3. Efeito do tempo de solarização na condutância estomática e na transpiração	21
6.4. Efeito do tempo de solarização (TS) nos parâmetros da curva de luz	23
6.4.1. Fotossíntese máxima (A_{max})	23
6.4.2. Outros parâmetros da curva de luz	26
6.5. Efeito do tempo de solarização nos parâmetros associados à curva A-C _i	28
6.5.1. Fotossíntese potencial (A_{pot})	28

6.5.2. Velocidade máxima de carboxilação da Rubisco (V_{cmax}) e taxa máxima de transporte de elétrons (J_{max})	31
6.5.3. Efeito do tempo de solarização no fator limitante da fotossíntese	32
6.6. Efeito do tempo de solarização nos parâmetros de fluorescência (F_o , F_m e F_v/F_m)	38
6.6.1. Efeito em acariquara	38
6.6.2. Efeito em mogno	38
6.7. Efeito da irradiância no déficit de pressão de vapor e na temperatura foliar	41
6.8. Influência da luminosidade no potencial hídrico foliar	42
6.9. Influência do tempo de solarização no teor de clorofilas e carotenóides	44
6.10. Crescimento das mudas	47
7. CONCLUSÃO	51
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
9. ANEXOS	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Condutância estomática (g_s) e transpiração (E) em mudas de acariquara e mogno em resposta ao tempo de solarização -TS (T_0 a T_{180}). Média de três plantas e duas folhas por planta (\pm S. E.).....	23
Tabela 2. Fotossíntese máxima (A_{max}) em mudas de acariquara e mogno em resposta do tempo de solarização -TS (T_0 a T_{180}). Média de três plantas e duas folhas por planta (\pm S. E.).....	24
Tabela 3. Convexidade (Θ), rendimento quântico aparente (Φ) e irradiância de compensação (I_c) em mudas de acariquara e mogno em resposta ao tempo de solarização -TS (T_0 a T_{180}). Média (\pm S. E.) de três plantas e duas folhas por planta.....	27
Tabela 4. Fotossíntese potencial (A_{pot}) em mudas de acariquara e mogno em resposta ao tempo de solarização - TS (T_0 a T_{180}). Média (\pm S. E.) de três plantas e duas folhas por planta.....	29
Tabela 5. Velocidade máxima de carboxilação da Rubisco (V_{cmax}) e a taxa máxima de transporte de elétrons (J_{max}) em mudas de acariquara e mogno em função do tempo de solarização-(TS). Média (\pm S. E.) de três plantas e duas folhas por planta.....	31
Tabela 6. Valores de C_i/C_a em resposta ao tempo de solarização - (TS) em mudas de acariquara e mogno. Em que: C_i representa a $[CO_2]$ nos espaços intercelulares da folha e C_a indica a $[CO_2]$ no ambiente. Média (\pm S. E.) de três plantas e duas folhas por planta.....	33
Tabela 7. Valores de déficit de pressão de vapor da folha (DPV) e temperatura foliar (T_f) em resposta ao tempo de solarização -TS (T_{30} - T_{180}) em mudas de acariquara e mogno. Média (\pm S.E.) de três plantas e duas folhas por planta.....	42

Tabela 8. Teores de clorofilas e carotenóides em mudas de acariquara em resposta ao tempo de solarização -TS (T₀ a T₁₈₀). Média (\pm S. E.) de três plantas e duas folhas por planta.....45

Tabela 9. Teores de clorofilas e carotenóides em mudas de mogno em resposta ao tempo de solarização - TS (T₀ a T₁₈₀). Média (\pm S. E.) de três plantas e duas folhas por planta.....46

Tabela 10. Área foliar específica (AFE) e número de folhas em mudas de acariquara e mogno em resposta ao tempo de exposição à luz solar plena. Média (\pm S. E.) de três plantas e três discos foliares (17mm de diâmetro) por planta.....50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Radiação fotossinteticamente ativa (Q) diária nos diferentes tempos de solarização. A seta vertical mostra o valor do controle (T_0).....20

Figura 2. Fotossíntese máxima (A_{max}) em resposta da radiação fotossinteticamente ativa (Q) em mudas de acariquara e mogno. Cada símbolo representa à média (\pm S. E.) de três plantas e duas folhas por planta.....25

Figura 3. Fotossíntese potencial (A_{pot}) em mudas de acariquara e mogno em resposta ao tempo de solarização -TS (T_0 a T_{180}). Cada símbolo representa a média de três plantas e duas por folhas por planta (\pm S. E.).....30

Figura 4. Taxa de fotossíntese (A) em função da concentração intercelular de CO_2 (Curva A- C_i) em mudas de acariquara nos tratamento de solarização -TS (T_0 a T_{90}). A linha tracejada representa a taxa de fotossíntese limitada pelo transporte de elétrons (A_j) e a linha continua representa a taxa de fotossíntese limitada pela atividade da Rubisco (A_C). Média de três plantas e duas folhas por planta. A seta indica o valor de C_i em [CO_2] ambiente.....34

Figura 5. Taxa de fotossíntese (A) em função da concentração intercelular de CO_2 (Curva A- C_i) em mudas de acariquara nos tratamento de solarização -TS (T_0 , T_{120} - T_{180}). A linha tracejada representa a taxa de fotossíntese limitada pelo transporte de elétrons (A_j) e a linha continua representa a taxa de fotossíntese limitada pela atividade da Rubisco (A_C). Média de três plantas e duas folhas por planta. A seta indica o valor de C_i em [CO_2] ambiente.....35

Figura 6. Taxa de fotossíntese (A) em função da concentração intercelular de CO_2 (Curva A - C_i) em mudas de mogno nos tratamento de solarização -TS (T_0 a T_{90}). A linha tracejada representa a taxa de fotossíntese limitada pelo transporte de elétrons (A_j) e a linha continua representa a taxa de fotossíntese limitada pela atividade da Rubisco (A_C). Média de três plantas e duas folhas por planta. A seta indica o valor de C_i em [CO_2] ambiente.....36

Figura 7. Taxa de fotossíntese (A) em função da concentração intercelular de CO_2 (Curva A- C_i) em mudas de mogno nos tratamento de solarização -TS (T_0 , T_{120} - T_{180}).

A linha tracejada representa a taxa de fotossíntese limitada pelo transporte de elétrons (A_j) e a linha contínua representa a taxa de fotossíntese limitada pela atividade da Rubisco (A_C). Média de três plantas e duas folhas por planta. A seta indica o valor de C_i em $[CO_2]$ ambiente.....37

Figura 8. Efeito do tempo de solarização (TS) nos valores de F_o , F_m e na relação F_v/F_m em mudas de acariquara (A, C e E) e mogno (B, D e F). Círculos cheios (●) representam o controle e os círculos abertos (○) mostram os valores de fluorescência em plantas mantidas a céu aberto. Cada símbolo corresponde à média de cinco plantas e duas folhas por planta.....40

Figura 9. Potencial hídrico da folha (Ψ_f) de mudas de acariquara (A) e mogno (B) em resposta à aclimação à luz solar plena. Média de três plantas e duas folhas por planta (\pm S. E.).....43

Figura 10. Crescimento em altura e diâmetro em mudas de acariquara e mogno (A-C, B-D respectivamente) em função do tempo de solarização -TS (T_0 a T_{180}). Média de cinco plantas.....48

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia possui a maior floresta tropical do mundo, mas este cenário já vem apresentando mudanças em função do ritmo acelerado de desmatamento. Shukla *et al.* (1990) usaram um modelo atmo-biosférico para avaliar o efeito do desmatamento na Amazônia no clima regional, bem como a substituição da floresta por pastagens. As simulações prevêem para 2100 um aumento na duração da estação seca e redução de 50% da precipitação na região em comparações aos níveis atuais (Costa e Foley, 2000; Cox *et al.*, 2004). Esses resultados sugerem que a rápida destruição da floresta pode ter efeitos irreversíveis no ciclo hidrológico da região.

Todos esses aspectos mostram a relevância de se conhecer os fatores intrínsecos e ambientais relacionados à fisiologia das árvores amazônicas. Se a destruição das florestas tropicais continuar com as taxas atuais (aproximadamente $22.000 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$ Laurance *et al.*, 2004), provavelmente os produtos madeireiros serão obtidos de florestas secundárias ou de plantios. Entretanto, não se sabe como espécies de diferentes estádios sucessionais na floresta amazônica responderão a estas variações ambientais.

Algumas espécies como *Dipterex odorata* e *Swietenia macrophylla* parecem adaptar-se bem quando cultivadas em áreas perturbadas (Marenco *et al.* 2001), mas outras como *Minquartia guianensis* sofrem intensamente os efeitos da fotoinibição quando expostas a elevada radiação solar (Dias e Marenco, 2006).

Assim sendo, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar as mudanças fisiológicas que ocorrem em *Minquartia guianensis* e *Swietenia macrophylla* durante o processo de aclimação à radiação solar intensa partindo-se da premissa de que o processo de aclimação implica em mudanças fisiológicas ainda não bem caracterizadas em espécies florestais da Amazônia.

2. HIPÓTESES

1. O tempo de exposição à radiação solar direta influencia o desempenho fisiológico de mudas de mogno e acariquara;
2. As trocas gasosas e a eficiência quântica máxima (medida pela relação F_v/F_m) são variáveis fisiológicas que podem ser utilizadas para avaliar o nível de estresse causado pela transferência de mudas às condições de radiação solar plena;
3. O efeito da exposição à radiação solar direta varia de acordo com o estágio sucessional a que uma determinada espécie pertence.

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Estudar o efeito da exposição à luz solar plena sobre o desempenho fotossintético e crescimento de plantas jovens de acariquara (*Minuartia guianensis*) e mogno (*Swietenia macrophylla*) na Amazônia Central.

3.2. Específicos

1. Determinar o efeito do tempo de exposição à luz solar plena na fotossíntese máxima (A_{max}) e potencial (A_{pot}), condutância estomática (g_s) e nos parâmetros cinéticos da Rubisco;
2. Determinar o efeito da aclimação à luz solar plena no potencial hídrico da folha;
3. Avaliar o efeito da aclimação em luz solar plena na eficiência quântica máxima do FS2 (relação F_v/F_m);
4. Determinar o efeito da exposição à radiação solar plena no crescimento das mudas.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Ambiente físico das plantas

Durante o crescimento das árvores no seu ambiente natural, o regime de luminosidade é muito variado, com pouca luz na fase juvenil (no sub-bosque) e irradiância plena no topo da copa das árvores na fase adulta. O regime de luz no sub-bosque é caracterizado por alta variabilidade temporal por causa dos feixes de radiação direta (*sunflecks*) que penetram no dossel da floresta (Fetcher *et al.*, 1994; Marengo e Vieira, 2005). A duração dos *sunflecks* é dependente de muitos fatores (tamanho e geometria da abertura, densidade e orientação das folhas, latitude, estação do ano, presença de nuvens e altura do dossel) (Dalling *et al.*, 1999).

4.1.1. Radiação fotossinteticamente ativa (Q)

A radiação luminosa é transportada em forma de quanta ou fótons, com um comprimento de onda associado. A maior parte (98%) da radiação eletromagnética emitida pelo sol tem um comprimento de onda que varia entre 300 e 3000 nm (Tang, 1997). Parte desta energia é utilizada na fotossíntese, e trata-se da radiação fotossinteticamente ativa (Q) cujo comprimento de onda compreende 400 a 700 nm. Entretanto, pode-se mencionar que a radiação que tem efeitos fisiológicos na planta está compreendida entre 300 e 1000 nm, cuja faixa é conhecida como janela biológica (Tang, 1997). Comprimentos maiores de 700 e menores de 400 nm influenciam o desenvolvimento da planta via seu efeito na fotomorfogênese (por exemplo, fototropismo).

Quando a luz passa pela atmosfera terrestre, é modificada pela reflexão, absorção e dispersão de vários componentes da atmosfera. Essa passagem muda a quantidade, qualidade e direção da luz. Em nível do mar, a percentagem de radiação fotossinteticamente ativa que atinge o solo é de 45% da radiação solar total. Em média, a fração restante inclui radiação ultravioleta (3 a 5%) e radiação vermelho extremo (em torno de 50%), e proporção que varia em função de fatores ambientais como a nebulosidade (Salisbury e Ross, 1992).

A disponibilidade de luz é um dos fatores ambientais que mais limita o crescimento, a sobrevivência e a reprodução das plantas. Nas florestas tropicais úmidas a irradiância é muito variável. Em um dia ensolarado, a radiação fotossinteticamente ativa varia de menos de $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no sub-bosque da floresta, atingindo mais de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, nas clareiras médias, e até $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, no campo aberto. Em florestas tropicais úmidas, alta disponibilidade de luz nas aberturas ou clareiras promove, preferencialmente, o crescimento de espécies pioneiras. Assim, as plantas de modo geral se aclimatam às variações nos diferentes regimes de luz (Fetcher *et al.*, 1994).

A luz que passa através do dossel da floresta tem pouca proporção de radiação nos comprimentos de onda vermelho e azul. Por isso, há redução na relação de vermelho a vermelho distante (V/V_D), de 1,2 em céu aberto para 0,2 no sub-bosque e em sombra densa (Bazzaz e Pickett, 1980; Chazdon e Pearcy, 1991). As plantas, principalmente as pioneiras, são sensíveis às variações na relação V/V_D . Nas plantas jovens quando a relação V/V_D é baixa, observa-se alongação do internó e aumento na área foliar específica (Dalling *et al.*, 1999).

Do ponto de vista fotossintético, as respostas da planta às variações na irradiância ocorrem muito rapidamente. A fotossíntese (A) aumenta com a irradiância até atingir o ponto de saturação por luz (I_s), onde o aumento na luminosidade não causa acréscimo na taxa de fotossíntese. Entre irradiância de saturação (I_s) e a escuridão, está a irradiância de compensação (I_c), ponto em que a fotossíntese bruta apenas compensa as perdas de CO_2 por respiração, sendo a fotossíntese líquida igual a zero ($A=0$). A irradiância de compensação varia de acordo com a espécie, com as condições ambientais; por exemplo, concentração de CO_2 , temperatura e densidade de fluxo radiante durante o crescimento da planta (Boardman, 1977).

Embora plantas do sub-bosque sejam capazes de manter um balanço positivo de carbono na ausência de “*sunflecks*”, a luz continua sendo o principal fator ambiental limitante para o crescimento e reprodução em ambiente de sub-bosque. Entretanto, plantas de sub-bosque adaptadas à sombra podem exibir mecanismos fisiológicos característicos para o uso eficiente dos “*sunflecks*”. Estes mecanismos tornam-se evidentes pelas respostas dinâmicas da fotossíntese às rápidas flutuações em irradiância, para muitos micro-ambientes do sub-bosque. Entretanto, algumas vezes a duração dos “*sunflecks*” não são suficientemente longos para efetuar a completa

indução das enzimas da fotossíntese, principalmente a Rubisco (Chazdon e Pearcy, 1991).

4.1.2. Temperatura, umidade do ar e pressão de vapor

A temperatura tem efeito importante na fisiologia do vegetal. Quando a temperatura atinge valores críticos (dependendo da espécie), as estruturas e as funções celulares podem ser danificadas, provocando a destruição do cloroplasto (Larcher, 2000). Além disso, o déficit de pressão de vapor (DPV) segue a mesma tendência da temperatura, sendo maior no campo aberto do que na sombra. Tem sido proposto que espécies com similares graus de tolerância à sombra tenham similares respostas fisiológicas às variações na temperatura (Bazzaz, 1979, 1984). O efeito da temperatura no movimento estomático varia com a espécie. Em geral, altas temperaturas, podem levar ao fechamento dos estômatos ao provocar aumentos no déficit de pressão de vapor (Salisbury e Ross, 1992).

4.2. Processo de aclimação

Em geral, espécies de dossel passam por diferentes condições de luminosidade dentro da floresta até atingir a maturidade. Desta forma a plasticidade fotossintética (uma forma de aclimação) é uma importante característica ecofisiológica. Por exemplo, estudos em plântulas têm revelado que espécies dos primeiros estádios sucessionais podem aumentar consideravelmente a assimilação de carbono com o aumento da disponibilidade de luz. Conquanto, a fotossíntese de espécies de estádios sucessionais tardios são menos responsivas às mudanças no ambiente luminoso (Kammescheidt, 2000; Rijkers, 2000; Marengo e Vieira, 2005). Isto indica que espécies pioneiras se ajustam mais rapidamente a mudanças no regime de luz, em parte pela maior taxa de reposição das folhas (alto *turnover* foliar).

Em plantas da sucessão tardia, a aclimação está mais relacionada à plasticidade fisiológica do que às características morfológicas, pois quando plantas de sombra são colocadas no sol, estas apresentam aumento na taxa fotossintética via aumentos na espessura foliar e no tamanho dos cloroplastos (Oguchi *et al.*, 2005). Entretanto, variações intra-específicas na fisiologia e características morfofisiológicas tornam complexa a resposta ao ambiente físico nas diferentes espécies. Primeiro, devido às variações intrínsecas (componente genético) entre indivíduos. Segundo,

devido à interação genótipo vs ambiente (Falconer, 1981). Noutras palavras, diferenças no grau de aclimação entre indivíduos podem também resultar de modificações ontogenéticas, ou seja, diferenças morfológicas e fisiológicas na passagem da fase juvenil para a fase adulta.

4.2.1. Aclimação ao ambiente luminoso

A aclimação às mudanças na disponibilidade de luz (aumento ou diminuição) parece estar diretamente relacionada à maximização do ganho total de carbono na planta em respostas das mudanças de ambiente. Este ajuste funcional pode envolver simultaneamente dois processos: a) mudanças nas propriedades fotossintéticas da folha envolvendo ajustes fisiológicos e morfológicos; b) mudanças na arquitetura da planta, o que altera a relação entre tecidos fotossintetizadores e não fotossintetizadores (por exemplo, alteração na relação parte aérea/raiz). Contudo, a disponibilidade de assimilados pode eventualmente ser insuficiente para efetivar as mudanças morfológicas devido à baixa produtividade nos ambientes muito sombreados (Popma e Bongers, 1991).

Muita atenção tem sido dada ao efeito da luminosidade na taxa fotossintética de plantas de sol *versus* plantas de sombra (Boardman, 1977, Lambers *et al.*, 1998). Um fator importante que governa a produtividade da folha é a sua posição no dossel da planta, o que determina seu ambiente luminoso e, portanto, a taxa de fotossíntese. Plantas aclimatadas à sombra comumente apresentam baixo ponto de compensação (I_c) e normalmente a fotossíntese satura em baixa intensidade de luz. Conquanto, plantas de sol apresentam ponto alto de compensação e saturam em intensidades de luz relativamente alta.

4.2.2. Aclimação à disponibilidade de água

A água absorvida pelas plantas pode passar para o meio na forma líquida (gutação). Entretanto, o fenômeno de maior destaque na perda de água da planta é a transpiração que ocorre principalmente através dos estômatos, responsáveis pela eliminação de mais 95% da água transpirada (Marengo e Lopes, 2009).

Durante o processo da transpiração, a planta libera água na forma gasosa a partir de qualquer superfície exposta ao ar, principalmente pela folha, órgão que contém a grande maioria dos estômatos da planta (Salisbury e Ross, 1992).

Segundo Larcher (2000), as trocas gasosas na folha podem ser reduzidas principalmente pelo estresse hídrico causado indiretamente pela alta radiação solar. A aclimação ao estresse hídrico ocorre principalmente devido ao acúmulo de compostos osmoticamente compatíveis, via a osmorregulação (Ackerson e Hebert, 1981), tendo-se observado que a exposição repetida ao estresse hídrico diminui o efeito da escassez de água na fotossíntese, ou seja, favorece o processo de aclimação da planta à baixa disponibilidade de água (Matthews e Boyer, 1984). Isso possivelmente ocorre porque a aclimação ao estresse hídrico aumenta a resistência do fotossistema II as altas temperaturas (Valladares e Pearcy, 1997) comumente associadas ao estresse hídrico. A transpiração tem como efeito indireto o arrefecimento da folha. Um dos compostos osmoticamente compatível acumulado durante a exposição ao estresse hídrico é a prolina (Silva *et al.*, 2004).

4.3. Crescimento da planta

O crescimento da planta, medido pelo acúmulo de biomassa, é o resultado da diferença entre os ganhos de carbono via fotossíntese e as perdas de carbono (via respiração, produção de exsudatos, liberação de compostos orgânicos voláteis, etc). Evidentemente, de modo geral, as perdas de carbono via respiração tem papel de destaque (Atkin *et al.*, 2007). Por isso, é importante conhecer quais são os fatores que mais afetam os dois processos fisiológicos básicos (fotossíntese vs respiração). A fotossíntese consiste na oxidação da água e na redução de CO₂ para formar compostos orgânicos, levando finalmente à síntese de carboidratos. Adicionalmente é um processo que atenua o impacto do acúmulo de carbono na atmosfera.

Dentre os fatores ambientais, a luz parece ser o mais importante na limitação de crescimento em mudas e plantas que crescem no sub-bosque (Fetcher *et al.*, 1994). Uma das formas de se analisar o nível de estresse de uma planta é avaliando a fotossíntese da folha ou analisando a fluorescência da clorofila *a*, pois a relação F_v/F_m (relação entre fluorescência variável e fluorescência máxima) tem uma correlação muito estreita com a eficiência quântica da fotossíntese (Φ) (Genty *et al.*, 1989).

Balancos de carbono são proveitosos para integrar informações fisiológicas e prováveis respostas às mudanças no ambiente, mas a sua determinação é complexa, pois é muito difícil estimar a taxa de respiração das raízes. Desde modo, o método mais prático consiste em medir diretamente a taxa de crescimento da planta. Este método tem duas vantagens: primeiro, o crescimento da planta integra os efeitos ambientais nos processos fisiológicos primários (fotossíntese e respiração); segundo, muitos estudos têm mostrado que variáveis, tais como sobrevivência, capacidade competitiva e reprodução estão fortemente correlacionados com o tamanho da planta (Fetcher *et al.*, 1994). O crescimento de árvores pioneiras nos trópicos pode ser bastante rápido. Altas taxas de crescimento anual em diâmetro (20 a 30 mm) e altura da planta (5 m por ano) são comumente relatadas em pioneiras; em contraste, espécies sucessionais tardias, como acariquara crescem mais lentamente, poucos milímetros por ano (Vieira *et al.*, 2005).

4.4. Fluorescência da clorofila *a*

A fluorescência da clorofila foi primeiro observado por Kautsky há várias décadas (Govindjee, 1995). Kautsky descobriu que transferindo um material fotossintetizante do escuro para a luz ocorria um aumento da fluorescência da clorofila. Está comprovado que a intensidade da fluorescência está relacionada à redução das plastoquinonas (principalmente a Q_A), envolvidas no transporte de elétrons durante a fotossíntese (Maxwell e Johnson, 2000). Quanto maior o nível de redução das Q_A maior a intensidade da fluorescência *a*. A fluorescência atinge um ponto máximo (F_m) quando a redução da Q_A é total.

Fisicamente, a fluorescência é a re-emissão de fótons via fluorescência em um comprimento de onda maior daquele que incidiu na folha, a folha pode dissipar entre 1 a 3% da energia recebida (Muller *et al.*, 2001). Os processos fotoquímicos dentre eles a fotossíntese, a fotorrespiração e o ciclo água-água, conhecido como reação Mehler (Asada, 1999) podem dissipar até 45% da energia absorvida pela folha (Björkman e Demming-Adams, 1995), dissipando-se a fração restante via processos não-fotoquímicos (NPQ, do inglês *non-photochemical quenching*). Cabe aqui mencionar que NPQ envolve principalmente o ciclo das xantofilas (Müller *et al.*, 2001).

Os fluorômetros comumente utilizados em ecofisiologia vegetal, quase que exclusivamente, registram a fluorescência emitida pela clorofila *a*, o que não significa que outros tecidos da folha tenham emissão nula (Buschanan *et al.*, 2000). Embora a quantidade total da fluorescência seja muito pequena (~ 2% de luz absorvida total) a medição é relativamente simples, fácil, rápida, sensível e não destrutiva. Medindo-se a fluorescência da clorofila *a*, pode-se inferir sobre mudanças na eficiência fotoquímica e dissipação de calor (Maxwell e Johnson, 2000). Algumas variáveis são importantes na medição da fluorescência, dentre estas destacam-se: a fluorescência máxima (F_m), a fluorescência inicial (F_o) e a relação F_v/F_m (em que F_v representa a diferença entre F_m e F_o). Os valores da fluorescência inicial parecem ser muito úteis para se inferir sobre a ocorrência de fotoinibição crônica ou dinâmica (Dias e Marengo, 2006).

4.5. Fotoinibição

Fotoinibição é um estado de estresse fisiológico que pode ocorrer em todos os organismos fotossintetizantes que liberam oxigênio quando expostos à luz. A fotoinibição foi definida por Kok (1956) como o efeito da debilitação da capacidade fotossintética de organismos fotossintetizadores pela alta intensidade de luz. Uma definição mais recente considera a fotoinibição como a redução lentamente reversível da fotossíntese, que após uma exposição prolongada à luz pode levar a redução da fotossíntese máxima (Long *et al.*, 1994).

A fotoinibição pode ser exacerbada via redução da capacidade fotossintética induzida por estresse ambiental, tais como alta temperatura da folha e déficit hídrico, sendo que, nos trópicos, a luz do sol pode aumentar a temperatura da folha acima de 40 °C (Tribuzy, 2005). O grau de fotoinibição pode ser determinado pela diminuição dos valores de F_v/F_m . Adicionalmente, danos causados pela alta temperatura no FS2 podem ser inferidos a partir da medição do valor da fluorescência inicial (Kitao *et al.*, 2000, Dias e Marengo, 2006). Dependendo do tempo que uma planta leva para se recuperar da fotoinibição, esta pode ser dinâmica (recuperação do estresse radiativo durante a noite) ou crônica, a planta leva mais de um dia para se recuperar do estresse fotoinibitório em condições de baixa luminosidade (Castro *et al.*, 1995).

4.6. Fisiologia de estômatos e condutância estomática

Os estômatos são constituídos por duas células-guarda. Isto é, os poros estomáticos estão situados entre essas duas células especializadas, as quais controlam a abertura e fechamento do mesmo. Os estômatos são regulados por estímulos que maximizam a absorção de CO₂ e minimizam as perdas de vapor de água pela transpiração, num processo de interação entre diversos fatores endógenos e exógenos. Podem responder de uma forma relativamente rápida aos estímulos do meio, sendo um mecanismo de controle das interações entre a planta e o meio ambiente (Assmann, 1993).

Os estômatos são originados das células protodérmicas durante o desenvolvimento da folha. Estômatos individuais, uma vez diferenciados crescem e mudam de forma assim que a folha se expande (Meidner e Mansfield, 1968). A densidade estomática varia de 15 a 50 mm⁻² em plantas suculentas (plantas CAM) a 200-600 mm⁻² em árvores tropicais (plantas C₃), e o comprimento do poro varia de 10 µm em plantas suculentas a 10-25 µm em árvores tropicais. Entretanto, a dimensão crítica que determina a resistência estomática é a largura do poro que varia de 5 a 10 µm em plantas de mesófitas a 1-2 µm em esclerofilas (Larcher, 1995).

Os estômatos geralmente abrem-se ao amanhecer e fecham-se ao pôr do sol, o que torna possível a entrada de CO₂ durante o período diurno; a exceção ocorre com as plantas com metabolismo ácido (CAM). Altas temperaturas podem levar ao fechamento dos estômatos, enquanto que baixas concentrações de CO₂ na câmara subestomática da folha provocam a abertura dos mesmos o fechamento é estimulado por alta concentração de CO₂. Quando o potencial hídrico foliar diminui, os estômatos fecham-se, sendo este efeito preponderante sobre os demais fatores do meio, mesmo em condições ótimas de luz, temperatura e CO₂. Portanto, o movimento estomático é baseado na turgescência das células-guarda. Os estômatos permanecem abertos em folhas com baixo nível de estresse hídrico e se fecham com um moderado ou severo déficit hídrico, podendo abrir-se quando for restituído o fluxo de água da folha e superado o estresse hídrico (Larcher, 2000).

Na falta de água no solo, a transpiração excessiva gera um déficit hídrico nas folhas estimulando o fechamento dos estômatos, que reduz a transpiração. Deficiências

de minerais também reduzem a capacidade fotossintética, aumentando a concentração de CO₂ e levando ao fechamento dos estômatos.

A regulação da condutância estomática é um processo que envolve fatores do ambiente e da própria planta. Os fatores do ambiente afetam diretamente a transpiração pelo seu efeito direto no déficit de pressão de vapor (DPV). A irradiância solar, a umidade e a temperatura do ar, também concorrem para a regulação estomática, pois estes fatores afetam o funcionamento das células guardas (Willmer e Fricker, 1996). A condutância estomática (g_s) em geral diminui durante o dia conforme aumenta o déficit de pressão de vapor (DPV) entre a folha e a atmosfera (Schulze e Hall, 1982)

Alguns hormônios também estão envolvidos nos mecanismos estomáticos, entre eles o ácido abscísico (ABA) e a citocinina. O ABA é caracterizado como o hormônio do estresse. Em condições de seca aumenta a concentração de ABA nas folhas, mas especificamente nas células guardas. O ABA participa do mecanismo de fechamento dos estômatos, assim fatores de estresse (déficit hídrico, salinidade) elevam os níveis de ABA na folha ou afetam a sua redistribuição nos diferentes compartimentos da folha. Provavelmente ocorre interação entre as concentrações de ABA e citocininas na regulação do movimento estomático (Pospisilova, 2003).

Poucos estudos têm sido feitos para caracterizar o funcionamento dos estômatos ao longo do dia em árvores da Amazônia (Costa e Marengo, 2007). A maioria dos trabalhos efetuados com árvores tropicais tem avaliado o desempenho estomático e o estado hídrico da planta em condições estáticas. Isto é, valores de condutância estomática (g_s) e Ψ_f , são obtidos geralmente para determinados horários durante o dia, fornecendo-se pouca informação sobre como estes dois parâmetros (g_s , Ψ_f) se relacionam com variáveis ambientais (irradiância, temperatura, velocidade do ar), sem mencionar aspectos intrínsecos ao funcionamento da planta em si, tais como os ritmos circadianos (Blom-Zandstra *et al.*, 1995).

4.7. Relações hídricas

A água é a substância mais abundante e uma das mais importantes do globo terrestre, é fundamental para a manutenção da integridade funcional de todo e qualquer sistema biológico. Uma célula fisiologicamente ativa necessita de um ambiente interno com 80 a 95% de água em termos de matéria fresca. Entretanto, o teor de água muda de acordo com o tipo de órgãos e tecidos em que as células se encontram. Árvores

adultas têm baixo teor de água, visto que o tronco é formado principalmente por células mortas. Sementes de grãos são consideradas o tipo de órgão vegetal mais seco, sendo constituídas de apenas 5 a 15% de água (Larcher, 2000).

O movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera é possível graças a diferenças no potencial hídrico das partes que o compõem. O potencial hídrico (Ψ) é uma medida de energia livre da água, por intermédio da qual se pode determinar o movimento da água no solo, na planta e na atmosfera. Para determinar o potencial hídrico utiliza-se o somatório de seus componentes principais, o potencial de pressão (Ψ_p) e o potencial osmótico (Ψ_s). O movimento da água realiza-se sempre no sentido do sistema com menor potencial hídrico (mais negativo). Como resultado, a disponibilidade de água para a planta diminui à medida que diminui o potencial de água do solo. Portanto, geralmente, a diferença de potencial hídrico entre a planta e atmosfera resulta na perda de água da planta (Larcher, 2000).

A transpiração produz o gradiente de potencial hídrico que possibilita o movimento da água através do xilema, controlando a taxa de absorção e ascensão da seiva (Slatyer, 1962; Hsiao, 1973). À medida que a planta se desenvolve ocorre a formação do xilema secundário a partir do câmbio; os condutos velhos passam a ser substituídos por xilema secundário novo. Quando se trata de espécies arbóreas, especialmente as que desenvolvem troncos largos, os condutos velhos perdem sua funcionalidade ao longo do tempo e passam ser substituídos por xilema novo nas camadas mais externas do caule. Em árvores, o alburno, que contém o xilema funcional, é encontrado a uma profundidade de aproximadamente 25% do raio da haste, a partir da casca (Marengo e Lopes, 2009).

O processo de transpiração causa demanda constante da água disponível no solo, portanto, assim como a temperatura, a água é fator determinante para a distribuição das plantas na superfície terrestre. Em regiões com temperatura adequada, chuvas abundantes, frequentes e bem distribuídas durante o ano a vegetação é exuberante, como por exemplo, na Floresta Amazônica.

O teor hídrico das plantas diminui quando as taxas de transpiração excedem as de absorção de água. No tecido vegetal, em condições isotérmicas, o potencial hídrico pode ser determinado pelo somatório de seus componentes principais, potencial de pressão (Ψ_p) e potencial osmótico (Ψ_s). Isto é: $\Psi = \Psi_p + \Psi_s$ (Salisbury e Ross, 1992).

Em árvores, a transpiração pode ocorrer, por algum período, em taxas superiores às de absorção de água pelas raízes (Kramer e Boyer, 1995). Neste caso, os

volumes de água transpirada derivam de volumes de água previamente armazenada em outras partes da planta (ramos, caules), que podem facilmente armazenar mais de 25% da água transpirada diariamente (Kozlowski *et al.*, 1991).

Em plantas anuais, quando a perda de água por transpiração excede a taxa de absorção de água pelas raízes, os estômatos tendem a se fechar. Isso também pode levar ao murchamento momentâneo das folhas, embora haja abundante disponibilidade de água sob solo. De forma geral, considera-se que o termo “déficit hídrico” indica uma medida da magnitude do balanço hídrico da planta, conquanto, “estresse hídrico” sugere uma situação em que a falta de água pode ser potencialmente prejudicial à planta (Larcher, 2000).

4.8. Morfologia da folha

A espessura da folha em geral aumenta com a exposição da planta a radiação solar plena. O mesmo ocorre com o número de estômatos. Numa mesma espécie, a densidade de estômatos tende a ser maior em plantas expostas a clareiras ou a campo aberto (Bjorkman e Holmgren, 1963). As plantas que crescem em alta irradiância têm folhas mais espessas, pois a irradiância estimula o desenvolvimento do tecido paliçádico e esponjoso do mesofilo (Boardman, 1977).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Local do experimento

O estudo foi realizado no campus (V-8) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) em Manaus. AM (lat. 03° 05' 30" S; long. 59° 59' 35" O). A cidade de Manaus apresenta características de clima equatorial úmido, com temperatura média de 27° C, variando de 23° C a 32°C, precipitação anual de 2240 (média 1961-1990) e umidade relativa de 83% (Inmet, 2008).

5.2. Material Vegetal

5.2.1 Acariquara

Sementes de acariquara (*Minuartia guianensis* Aubl.) foram coletadas de plantas matrizes localizadas na Estação Experimental de Silvicultura Tropical (Núcleo ZF-2), do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) (02° 36' 21" Sul, 60° 08' 11" Oeste) a cerca de 60 km ao norte de Manaus. A semeadura (11/09/2006) foi feita em bandejas de plástico contendo areia lavada; após 70 dias as sementes germinaram, sendo então, realizada a repicagem para os sacos plásticos de polietileno (3 kg), contendo como substrato mistura de terra compostada (90%), areia (7%) e vermiculita (3%), adubado (5g kg⁻¹) com um fertilizante de liberação lenta (Basacote[®]) contendo macro e micronutrientes (16% de N, na forma nítrica/amoniacal (proporções similares); 8% de P na forma de anidrido fosfórico; 12% de K na forma de óxido de potássio; 2% de óxido de magnésio e 12% de anidrido sulfúrico). As mudas foram mantidas em baixa irradiância (0,40 mol m⁻² dia⁻¹) até o início do experimento. As mudas tinham em torno de dois anos e em média 12 cm de altura quando foram expostas aos tratamentos de solarização, TS (T₃₀ a T₁₈₀), mantendo-se o controle (T₀) em baixa luminosidade, conforme descrito na seção 5.10.

5.2.2 Mogno

As mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King) foram oriundas de sementes coletadas de árvores matrizes localizadas na Reserva Adolf Ducke (km 26 da AM-010). A semeadura (07/02/2008) foi feita em bandejas de plástico contendo areia

lavada; as sementes germinaram após 15 dias. Posteriormente, foi realizada repicagem para sacos plásticos de polietileno (3 kg), contendo como substrato mistura de terra compostada (90%), areia (7%) e vermiculita (3%), adubado (5g kg⁻¹) com um fertilizante de liberação lenta (Basacote[®]) cuja composição foi descrita na seção anterior. As mudas foram mantidas em baixa irradiância (0,40 mol m⁻² dia⁻¹) até o início do experimento. As mudas tinham em torno de quatro meses e em média 12 cm de altura quando foram expostas aos tratamentos de solarização (T₃₀ a T₁₈₀), conforme descrito na seção 5.10.

As mudas de acariquara e mogno foram semeadas em anos diferentes de modo de obterem uniformidade no tamanho das mesmas (altura) por ocasião do início do experimento.

5.3. Características das espécies estudadas

5.3.1. Acariquara

A acariquara (*Minquartia guianensis*) pertence à família Olacaceae, é uma árvore que cresce em florestas de terra firme, apresenta folhas oblongas ou oblongo-ovaladas; flores muito pequenas, em ráceros paniculados. O fruto é uma drupa que antes da maturidade, tem o tamanho e a cor de uma uva verde. A semente simples é coberta com uma polpa doce. Possui um tronco muito irregular e sua madeira é muito resistente ao ataque de cupins e outros danos causados por microorganismos destrutivos de madeira. Por esta razão, a madeira desta espécie tem muitos usos na indústria madeireira, incluindo dormentes, cercas, postes, pisos e na construção de pontes. A alta demanda de madeira desta espécie tem contribuído para a devastação em muitos lugares (Hunter, 1991). *Minquartia guianensis* é considerada uma espécie clímax, tolerante à sombra, apresentando taxas fotossintéticas baixas e crescimento lento (Marenco e Vieira, 2005).

5.3.2. Mogno

O mogno (*Swietenia macrophylla*.) pertence à família das Meliaceae, considerada intermediária na escala de sucessão (Marenco *et al.*, 2001). É encontrada com mais frequência na região sul do Pará (Lorenzi, 1998). Tem densidade muito baixa em florestas naturais e, por não se desenvolver bem em solos pobres, necessita de alta irradiância (Veríssimo *et al.*, 1995; Gullison *et al.*, 1996; Grogan *et al.*, 2003).

Entretanto, a regeneração ocorre em condições de distúrbios moderados, como a abertura de clareiras (Grogan *et al.*, 2003). A madeira do mogno apresenta resistência moderada ao apodrecimento e ao ataque de cupins, porém, quando em contato com o solo e umidade, apresenta baixa durabilidade (Lorenzi, 1998). Em plantios, as taxas de fotossíntese do mogno atingem valores de até $12 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, decrescendo durante o dia na medida em que aumenta o déficit de pressão de vapor (Marenco e Maruyama, 2003).

5.4. Determinação da irradiância

A densidade de fluxo de fótons (Q) no local do experimento foi medida ao longo do dia utilizando um sensor quântico (LI-191SA Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA) conectado a um datalogger (LI-1000; Li-Cor. USA). Os valores de Q foram coletados em intervalos de 15 minutos, e posteriormente foi feito o cálculo da irradiância diária acumulada ($\text{mol m}^{-2} \text{dia}^{-1}$).

5.5. Determinação da fluorescência da clorofila *a*

Para a determinação da fluorescência da clorofila nos tratamentos de aclimação a pleno sol (TS) e no controle (baixa luminosidade) foi usado o analisador da eficiência da planta (PEA, MK2-9600, Hansatech, GB). Foram utilizadas duas folhas por planta. Antes de se efetuar a medição, a folha foi aclimatada ao escuro por 20 min., posteriormente, em uma área de 4 mm de diâmetro foi aplicado um pulso de luz saturante de $3000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Foram mensurados os valores de fluorescência inicial (F_0), máxima (F_m), variável (F_v) e a eficiência quântica potencial máxima do fotossistema 2 (relação F_v/F_m). Os dados de fluorescência foram coletados semanalmente desde o início até o final do período de aclimação (junho a dezembro de 2008).

5.6. Determinação das variáveis de trocas gasosas

Ao final do período de aclimação definido para cada tratamento de solarização (seção 5.10) foram medidas as trocas gasosas utilizando um medidor de fotossíntese (Li-Cor 6400, Li-Cor, Lincoln, Neb., USA) nas melhores folhas de cada planta, do ponto de vista da aparência física (algumas folhas sofreram fotooxidação severa após o início do tratamento de solarização). O déficit de pressão de vapor

(DPV) foi calculado como a diferença entre o vapor saturado e a pressão de vapor no ar. A Temperatura foliar (T_f) foi medida com um termopar acoplado à câmara foliar (medidor de fotossíntese-Licor 6400, Li-Cor, Lincoln, Neb., USA). A resposta da fotossíntese à luz (curva $A(Q)$) e a resposta da fotossíntese ao CO_2 (curva $A-C_i$) foram geradas de acordo com a metodologia descrita por Marengo *et al.* (2001). A partir das curvas de luz e $A(C_i)$ foi determinada a fotossíntese máxima (A_{max}) e potencial (A_{pot}). A_{max} foi determinada com uma intensidade de luz saturante de $1000 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ e CO_2 de $380 \mu mol mol^{-1}$ e A_{pot} com intensidade de luz de $1000 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ e CO_2 de $2000 \mu mol mol^{-1}$. A umidade do ar e a temperatura oscilaram conforme as condições do ambiente. Para medição das trocas gasosas foram utilizadas três plantas e duas folhas por planta. Para calcular as variáveis da curva de luz ($A(Q)$), foi utilizado modelo da hipérbole não-retangular.

$$A = \{[(\Phi Q A_{max} + R_d) - ((\Phi Q + A_{max} + R_d)^2 - 4\Phi Q \Theta (A_{max} + R_d))^{0.5}] / 2\Theta\} - R_d$$

Em que: Φ é o rendimento quântico aparente; Θ é o parâmetro de convexidade da curva de resposta à luz; A_{max} é a taxa fotossintética em luz saturante; Q é a irradiância ($\mu mol \text{ fótons } m^{-2} s^{-1}$) e R_d é a taxa de respiração da folha na presença de luz.

A taxa máxima de carboxilação da Rubisco (V_{c-max}) e a taxa máxima de transporte de elétrons (J_{c-max}), foram obtidas a partir das curvas $A-C_i$ como descrito por Farquhar *et al.* (1980). Além disso, a taxa de fotossíntese foi modelada tanto em função da velocidade de carboxilação da Rubisco (A_c) como da taxa de transporte de elétrons (A_j). Conforme Farquhar *et al.* (1980), A_c e A_j podem ser descritas pelas seguintes equações:

$$A_c = [V_{cmax} (C_i - \Gamma^*)] / [C_i + K_c(1 + O/K_o)];$$

$$A_j = [J_{max} (C_i - \Gamma^*)] / ([4C_i + 8\Gamma^*]);$$

Em que: Γ representa o ponto de compensação de CO_2 ; O a concentração de oxigênio nos cloroplastos; K_c e K_o representam as constantes de Michaelis-Mentem da Rubisco para CO_2 e O_2 , respectivamente. Os valores de V_{c-max} e J_{c-max} foram determinados a temperatura ambiente ($\sim 28 \text{ }^\circ C$) e normalizadas a $25 \text{ }^\circ C$, conforme descrito por Tribuzi (2005).

5.7. Determinação do potencial hídrico da folha

O potencial hídrico da folha (Ψ_f) foi determinado ao final do tempo de exposição à luz solar plena conforme definido para cada tratamento (seção 5.10). Para determinação do Ψ_f foram utilizados sensores psicrométricos do tipo L-51A (Wescor, Utah, EUA) conectados a um datalogger (Psypro, Wescor, Utah). As medições foram realizadas a intervalos de 10 minutos nas mesmas amostras utilizadas para as mensurações das trocas gasosas (Costa e Marengo, 2007).

5.8. Determinação do crescimento e da área foliar específica

Ao final do período de aclimação definido para cada tratamento (seção 5.10), foram efetuadas as medições em altura, diâmetro e também contado o número de folhas. A altura foi medida com uma régua (base ao ápice) e o diâmetro (a 5 cm do solo utilizando um paquímetro digital), o número de folhas foi contado manualmente.

Em plantas de cada espécie foi também determinada, para cada TS, a área foliar específica. A AFE foi determinada como a razão entre área foliar e massa foliar, em três discos foliares (17 mm de diâmetro) por planta, evitando-se as nervuras principais. Para determinar a massa foliar, os discos foliares foram colocados para secar em estufa com circulação forçada de ar, a 72°C, durante 24 horas.

5.9. Determinação do conteúdo de clorofilas e carotenóides

Ao final dos tratamentos de exposição ao sol (TS) foi determinado o teor de clorofila (Arnon, 1949). Com essa finalidade foram retirados discos foliares de 6 mm de diâmetro de uma folha por muda, totalizando três mudas por tratamento. Os pigmentos cloroplastídicos foram extraídos em acetona 80% (10 mL/amostra) e em seguida foi determinada a absorvância (SP-2000 UV, Shanghai Spectrum, Shanghai, China), nos comprimentos de onda 480, 645 e 663 nm. Os teores de clorofila *a* e *b* e carotenóides (*car*) foram calculados segundo Arnon (1949), como segue:

$$\text{Clorofila } a \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = 12,7A_{663} - 2,69A_{645}$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = 22,9A_{645} - 4,68A_{663}$$

$$\text{Carotenóides (}\mu\text{mol m}^{-2}\text{)} = A_{480} + 0,114A_{663} - 0,638A_{645}$$

Os valores de clorofila total (C_{tot}) foram obtidos como somatório da clorofila *a*+*b*.

5.10. Tratamentos de solarização e delineamento experimental

Os tratamentos de solarização (TS) para cada espécie foram os seguintes:

1. T_0 = controle (mudas na sombra);
2. T_{30} = aclimatação por 30 dias a céu aberto;
3. T_{60} = aclimatação por 60 dias a céu aberto;
4. T_{90} = aclimatação por 90 dias a céu aberto;
5. T_{120} = aclimatação por 120 dias a céu aberto;
6. T_{150} = aclimatação por 150 dias a céu aberto;
7. T_{180} = aclimatação por 180 dias a céu aberto.

O experimento iniciou-se no mês de junho de 2008 com término em dezembro do mesmo ano. A cada trinta dias foi levado a uma área aberta (exposição à luz solar plena) um conjunto de cinco novas mudas (daqui em diante, cada tratamentos de exposição ao sol, será chamado de tratamento de solarização, TS) totalizando, ao final do experimento, trinta mudas aclimatadas à luz solar plena para cada espécie. No início do experimento as mudas estavam sadias e em bom estado fitossanitário (Anexo 1A-B).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, tendo - se como tratamentos as duas espécies e os setes tratamentos de solarização (TS), incluindo o controle (T_0), mantido na sombra de árvores adultas. Cada tratamento foi constituído por cinco plantas (repetições). Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). O efeito do TS nas variáveis estudadas foi examinado por análise de regressão. O programa SAEG 9.0 da Universidade Federal de Viçosa foi utilizado para efetuar as análises estatísticas.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Irradiância incidente durante o período de aclimação à luz solar plena

A irradiância média diária acumulada (Q) recebida pelas mudas durante o período de aclimação foi de $15,7 \text{ mol m}^{-2}\text{dia}^{-1}$, oscilando entre os tempos de solarização (TS) em $13,2 \text{ mol m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (T_{90}) e $17,5 \text{ mol m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (T_{180}). No controle (T_0) a radiação acumulada foi de $0,40 \text{ mol m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ (Figura 1). O maior valor observado em T_{150} e T_{180} deve-se ao fato desses tratamentos incluírem os meses de junho e julho nos quais a radiação solar é mais intensa na cidade de Manaus.

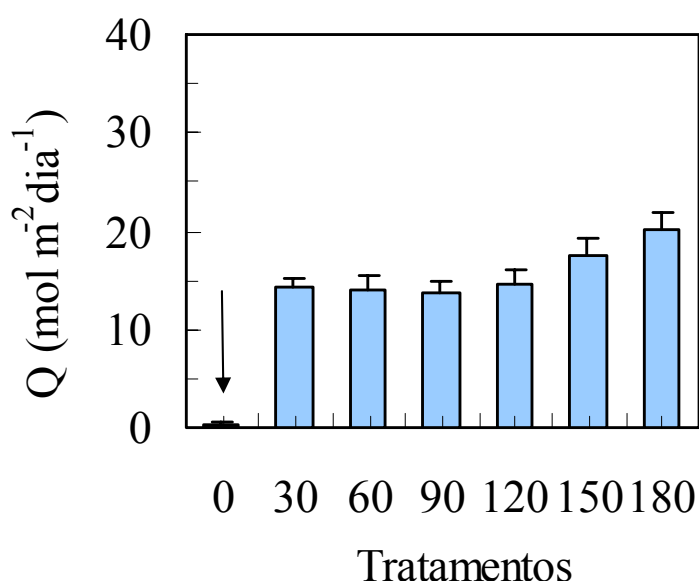


Figura 1. Radiação fotossinteticamente ativa (Q) diária nos diferentes tempos de solarização. A seta vertical mostra o valor do controle (T_0).

6.2. Efeito dos tratamentos de solarização (TS) nas folhas de acariquara e mogno

Na acariquara, a partir dos primeiros dias (uma semana após o início do tratamento de solarização) as folhas superiores apresentaram manchas cloróticas que com o tempo evoluíram para manchas necróticas (fotooxidação) causando, em alguns casos, senescência prematura. Porém, algumas folhas ainda permaneceram nas plantas (Anexo 2A). Já no mogno, as folhas apresentaram manchas “roxas” na superfície adaxial como resultado da transferência súbita à luz solar plena, não apresentando abscisão prematura nem fotooxidação (Anexo 2B).

No final do tempo de solarização, as mudas de acariquara e mogno desenvolveram novas e vigorosas folhas (Anexo 2C-D). Essas novas folhas já estavam aclimatadas à luz solar plena. No tratamento controle (sombra natural de árvores adultas), as folhas de acariquara permaneceram vigorosas e sadias (sempre verdes) (Anexo 2E).

No mogno, no controle, a quantidade de folhas permaneceu reduzida (Anexo 2F) e as mudas cresceram pouco. Isto está de acordo com o fato de plantas pioneiras e da sucessão ecológica intermediária (como o mogno) crescerem mais vigorosamente em ambientes ensolarados, não tolerando muito sombreamento (Bazzaz, 1979). Assim, o mogno uma espécie intermediária, apresentou melhor desenvolvimento em alta radiação solar, enquanto que acariquara apresentou crescimento lento. Finalmente, os tratamentos de solarização não provocaram a morte em nenhuma das espécies.

6.3. Efeito do tempo de solarização na condutância estomática e na transpiração

Foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) na condutância estomática (g_s) entre as espécies e os tratamentos de solarização (TS). Entretanto, a interação espécie x TS não diferiu estatisticamente ($p > 0,05$, Tabela 1A- Anexo). Os valores de g_s oscilaram de 0,02 a 0,05 mol m⁻² s⁻¹ em acariquara, e de 0,04 a 0,12 mol m⁻² s⁻¹, no mogno (Tabela 1). O maior valor de g_s foi observado em folhas aclimatadas ao sol tanto em acariquara como no mogno (Tabela 1). Valores similares de g_s foram encontrados em plantas jovens de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) em alta luminosidade (Costa e Marengo, 2007) provavelmente devido ao aumento da densidade de estômatos em ambientes ensolarados (Hetherington *et al.*, 2003).

Houve diferença entre as espécies ($p < 0,05$) nos valores de transpiração (E), bem como entre os tratamentos de solarização (TS) (Tabela 1). Similar ao observado para g_s a interação espécie x TS não foi significativo. Em T₁₂₀ o valor de E em acariquara foi de 0,57 mmol m⁻² s⁻¹ enquanto que T₁₅₀ e T₁₈₀ tiveram pouca variação na transpiração (Tabela 1). Nas duas espécies E foi menor no controle. Em mogno, os valores de E nos tratamentos de solarização (T₃₀-T₁₈₀) variaram de 0,68 a 1,56 mmol m⁻² s⁻¹ (Tabela 1).

Rocha e Morais (1997), estudando trocas gasosas em plantas de *Stryphnodendron adstringens*, observaram uma variação na condutância estomática de 0,10 a 0,32 mol m⁻² s⁻¹ quando submetidas a estresse hídrico pela falta de água. Os mesmos autores verificaram que a taxa de transpiração permaneceu entre 2,7 e 4,0

$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, atingindo os menores valores ($0,1 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no tratamento com alto estresse hídrico. A condutância estomática em espécies lenhosas diminuiu quando a umidade do ar foi baixa (Silva e Lemos-Filho, 2001). Schulze e Hall, (1982) relataram que a condutância estomática geralmente diminui em alta luminosidade devido a aumento do déficit de pressão de vapor (DPV) entre a folha e a atmosfera.

No geral, g_s diminui durante o dia conforme aumenta o DPV (Costa e Marengo, 2007). Larcher (2000) afirma que as espécies arbóreas apresentam superfície evaporativa bem ampla, o que aumenta a transpiração na presença de suprimento de água adequado (solo úmido). Ferreira *et al.* (1999) estudando a aclimação por tratamentos hídricos em mudas de *Eucalyptus citriodora* (Hook.) verificaram que houve diferença entre os períodos de avaliação e a frequência de irrigação nos parâmetros de condutância estomática e em E. Valores similares de E aos observados nesta dissertação foram também relatados por Lima-Junior *et al.* (2006) em experimentos utilizando plantas jovens de *Cupania vernalis* (Camb.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento (0 a 70%). Esses autores observaram que não houve diferença entre os tratamentos, apesar de ocorrer aumento na condutância estomática e na taxa de fotossíntese líquida (A) indicando uma relação positiva entre essas variáveis ($A \times g_s$). Resultados semelhantes aos aqui relatados foram também obtidos em cultivares de amendoim e seringueira (Nogueira *et al.*; 1998; Conforto *et al.*, 2005).

Tabela 1. Condutância estomática (g_s) e transpiração (E) em mudas de acariquara e mogno em resposta ao tempo de solarização - TS (T_0 a T_{180}). Média de três plantas e duas folhas por planta (\pm S. E.).

TS	Acariquara	Mogno	Acariquara	Mogno
	g_s (mol m ⁻² s ⁻¹)	g_s (mol m ⁻² s ⁻¹)	E (mmol m ⁻² s ⁻¹)	E (mmol m ⁻² s ⁻¹)
T₀	0,033 \pm 0,003	0,04 \pm 0,005	0,54 \pm 0,05	0,57 \pm 0,08
T₃₀	0,04 \pm 0,004	0,04 \pm 0,0001	0,66 \pm 0,13	0,68 \pm 0,03
T₆₀	0,04 \pm 0,001	0,12 \pm 0,04	0,74 \pm 0,07	1,56 \pm 0,4
T₉₀	0,04 \pm 0,004	0,11 \pm 0,2	0,63 \pm 0,05	1,51 \pm 0,3
T₁₂₀	0,03 \pm 0,006	0,07 \pm 0,02	0,57 \pm 0,09	1,09 \pm 0,3
T₁₅₀	0,02 \pm 0,005	0,05 \pm 0,002	0,73 \pm 0,23	0,86 \pm 0,03
T₁₈₀	0,05 \pm 0,006	0,06 \pm 0,02	0,73 \pm 0,19	0,97 \pm 0,27
¹ F(sp x TS)	2,22 ^{ns}		1,87 ^{ns}	
CV (%)	45,31		37,12	

¹ Valor de F (ANOVA) para a interação espécies x TS; CV, coeficiente de variação; ns, não significativo ($p > 0,05$).

6.4. Efeito do tempo de solarização (TS) nos parâmetros da curva de luz

6. 4.1. Fotossíntese máxima (A_{max})

Houve diferença entre espécies ($p < 0,05$), assim como entre os TS no que tange a fotossíntese máxima (A_{max}). Porém, a interação espécie x TS não foi significativa ($p > 0,05$, Tabela 1A). Em acariquara os menores valores de A_{max} foram observados em T_{30} e T_{60} (1,14 - 1,38 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 2, Tabela 2) e os maiores em T_{180} (2,97 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 2 C, Tabela 2). Em T_0 , A_{max} foi de 1,45 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Pode-se também observar que em acariquara, T_{90} e T_{120} apresentaram valores similares de A_{max} (2,13 - 2,36 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

No mogno, o valor maior de A_{max} foi em T_{60} (6,8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e o menor em T_{30} (1,25 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 2D, Tabela 2). Em T_0 o valor encontrado foi de 1,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Apesar dos valores de fotossíntese no controle (T_0 - sombra) serem baixos, o carbono fixado nessas condições garantiu a sobrevivência das plantas no ambiente sombra, e ainda observou-se algum crescimento entre as mudas (seção 6.12). Finalmente, pode-se observar

na Tabela 2 que em ambas espécies, os menores valores de A_{\max} foram observados em T₃₀ provavelmente devido a fotoinibição da fotossíntese a ser discutida na seção 6.6.

Tabela 2. Fotossíntese máxima (A_{\max}) em mudas de acariquara e mogno em resposta do tempo de solarização -TS (T₀ a T₁₈₀). Média de três plantas e duas folhas por planta (\pm S. E.).

TS	Acariquara	Mogno
	A_{\max} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	A_{\max} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
T ₀	1,45 \pm 0,17	1,70 \pm 0,43
T ₃₀	1,14 \pm 0,48	1,25 \pm 0,15
T ₆₀	1,38 \pm 0,56	6,8 \pm 1,75
T ₉₀	2,36 \pm 0,29	5,10 \pm 1,6
T ₁₂₀	2,13 \pm 0,7	4,83 \pm 1,52
T ₁₅₀	1,69 \pm 0,73	2,93 \pm 0,61
T ₁₈₀	2,97 \pm 0,58	2,93 \pm 0,99
¹ F(sp x TS)	2,31 ^{ns}	
CV %	49,23	

¹Valor de F (ANOVA) para a interação entre espécies xTS; CV, coeficiente de variação; ns, não significativo ($p > 0,05$).

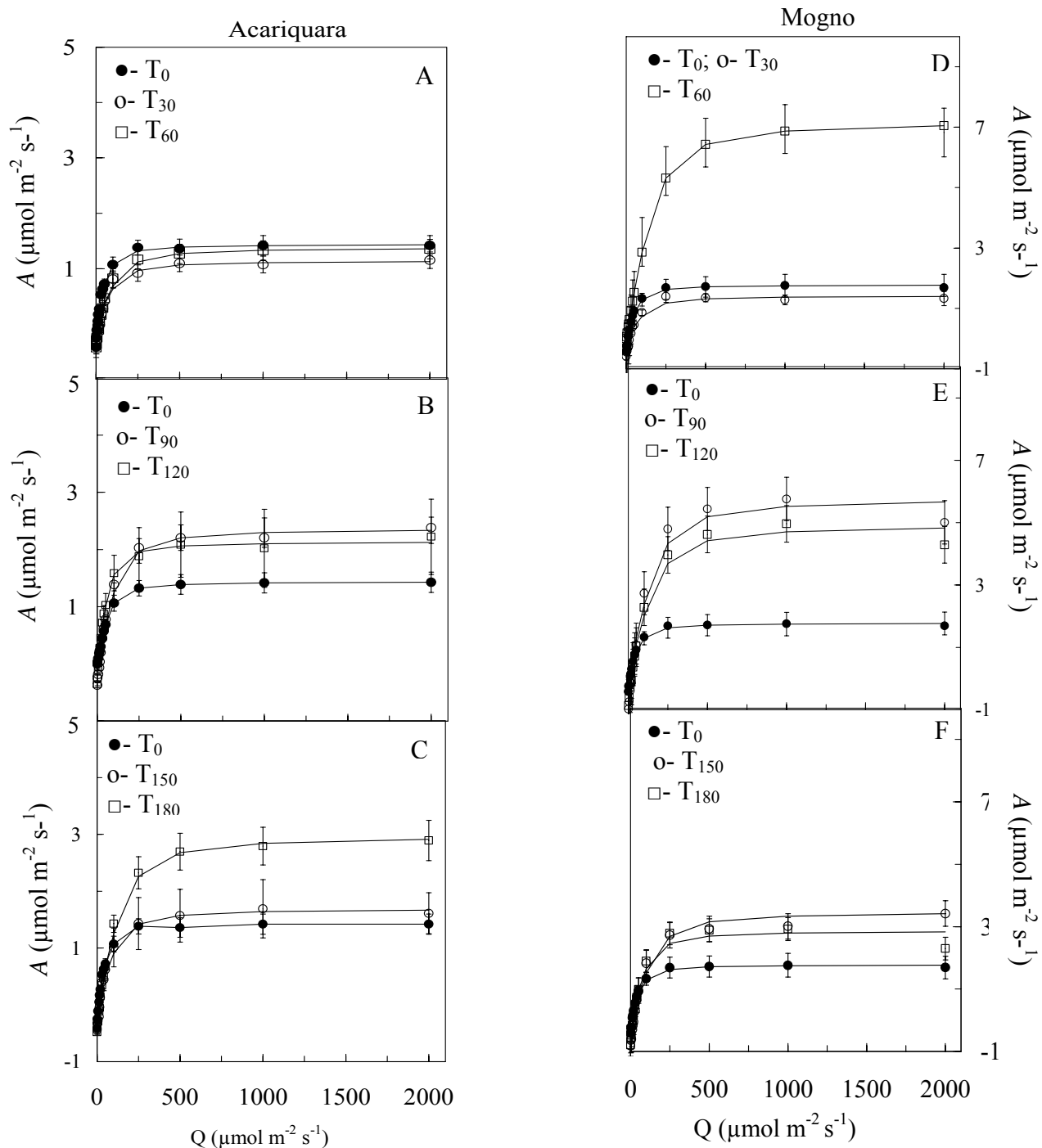


Figura 2. Fotossíntese máxima (A_{\max}) em resposta da radiação fotossinteticamente ativa (Q) em mudas de acariquara e mogno. Cada símbolo representa à média (\pm S. E.) de três plantas e duas folhas por planta. A-B-C e D-E-F representam as mudas de acariquara e mogno respectivamente.

Os resultados obtidos de A_{\max} neste trabalho são similares aos encontrados por Silvestrine (2000) em duas espécies florestais de diferentes grupos ecológicos, *Trema micrantha* (L.) (pioneira) e *Hymenaea courbaril* (L.) (clímax). Essa autora observou

que sob alta radiação, as mudas de *T. micrantha* apresentaram valores maiores de A_{\max} ($10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) do que *H. courbaril* ($2,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Baroni (2005), estudando mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), também verificou que A_{\max} foi maior quando exposta em 80% de luz solar ($5,47 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) do que naquelas mantidas embaixo de sombra.

Alves (2004) estudando a fotossíntese em espécies dominante em floresta de transição nas estações seca e chuvosa observou que *Dinizia excelsa* apresentou maiores valores em A_{\max} ($13,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) na estação chuvosa e a menor taxa na estação seca ($10,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) o que mostra o efeito do estresse hídrico moderado na fotossíntese.

6.4.2. Outros parâmetros da curva de luz

Não houve diferença entre espécies ($p < 0,05$), assim como entre os tratamentos de solarização no parâmetro de convexidade da curva (Θ). Os valores de Θ oscilaram entre 0,66 e 0,89 para acariquara e entre 0,67 e 0,92 para o mogno (Tabela 3), os quais estão dentro da faixa encontrados por outros autores (Mielke *et al.*, 2005; Dias, 2009).

O rendimento quântico aparente (Φ) foi diferente entre espécies ($p < 0,01$), assim como entre os tratamentos de solarização (TS), sendo também significativa a interação espécies x TS ($p < 0,05$, Tabela 1A). Em acariquara observou-se que os valores de Φ foram bastante semelhantes em todos os TS, com média de $0,025 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Tabela 3). Em mogno o valor maior de Φ foi observado em T_{60} ($0,05 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e o menor em $T_0 - T_{30}$ ($0,02 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 3). Quanto à irradiância de compensação (I_c), os menores valores oscilaram entre 13,0 e 20 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em acariquara (Tabela 3), o que está de acordo com outros trabalhos (Marenco *et al.*, 2001) que mostram que I_c aumenta em proporção com A_{\max} . Já, em mogno, os maiores valores de I_c foram observados nas mudas expostas ao sol ($16-24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e o menor no controle (Tabela 3). Novamente, os valores de I_c aumentaram em proporção a A_{\max} .

Tabela 3. Convexidade (Θ), rendimento quântico aparente (Φ) e irradiância de compensação (I_c) em mudas de acariquara e mogno em resposta ao tempo de solarização-TS (T_0 a T_{180}). Média (\pm S. E.) de três plantas e duas folhas por planta.

TS	Acariquara	Mogno	Acariquara	Mogno	Acariquara	Mogno
	Θ sem unidade	Θ sem unidade	Φ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Φ $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	I_c $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	I_c $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
T_0	0,89 \pm 0,01	0,92 \pm 0,03	0,02 \pm 0,03	0,02 \pm 0,003	9,01 \pm 2,4	9,9 \pm 1,7
T_{30}	0,67 \pm 0,03	0,73 \pm 0,02	0,02 \pm 0,004	0,02, \pm 002	13,4 \pm 1,4	24,3 \pm 2,2
T_{60}	0,89 \pm 0,01	0,67 \pm 0,03	0,02 \pm 0,03	0,05 \pm 0,01	20,5 \pm 2,3	16,4 \pm 0,6
T_{90}	0,66 \pm 0,04	0,74 \pm 0,04	0,02 \pm 0,002	0,04 \pm 0,006	15,9 \pm 3,7	21,5 \pm 2,8
T_{120}	0,72 \pm 0,01	0,70 \pm 0,04	0,03 \pm 0,003	0,04 \pm 0,006	13,0 \pm 0,67	20,9 \pm 1,5
T_{150}	0,75 \pm 0,03	0,75 \pm 0,03	0,03 \pm 0,002	0,03 \pm 0,003	15,8 \pm 2,2	21,8 \pm 1,9
T_{180}	0,67 \pm 0,03	0,73 \pm 0,02	0,02 \pm 0,004	0,03 \pm 0,001	16,1 \pm 2,9	17,1 \pm 2,8
¹ F(sp x TS)	2,42*		2,50**		1,69 ^{ns}	
CV (%)	11,2		21,4		29,9	

¹ Valor de F (ANOVA) para a interação espécies x TS; CV, coeficiente de variação; *, significativo ($p < 0,05$); **, altamente significativo ($p < 0,01$).

Björkman (1981) menciona que a curva de resposta à luz é influenciada pelo regime de luz durante o crescimento das plantas. Valores semelhantes de Φ aos aqui relatados foram encontrados por Machado *et al.* (2005) em três variedades de citros ('Valência', 'Murcote' e 'Tahiti). Também valores similares de Φ aos encontrados neste estudo foram observados em espécies da sucessão tardia (*Hydrophyllum virginianum*, *Quercus rubra* e *Aesculus glabra*) (Bazzaz e Carlson, 1982). Os valores de Φ e Θ encontrados neste trabalho foram similares aos encontrados por Marengo e Vieira (2005). Neste trabalho, o controle (mantido na sombra) apresentou valores de Φ menores do que aqueles observados nas mudas expostas ao sol, o que indica maiores taxas de respiração nos tratamentos de solarização (T_{30} - T_{180}). Isto porque o I_c reflete as perdas de carbono via respiração. Leverenz (1994) relata através de trabalhos realizados com *G. glabra* que o Θ permaneceu constante nas duas épocas do ano. Finalmente os valores de Φ deste estudo estão na faixa daquela observados por Mielke *et al.* (2005) em *Caesalpinia peltophoroides*. Nos TS (T_{30} - T_{180}) o ponto de saturação

por luz (I_s) foi maior no mogno ($1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) do que em acariquara ($250\text{-}500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Também no controle, o I_s foi maior em mogno ($500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) do que em acariquara. O valor de I_s encontrado em acariquara é menor do que o observado por Marenco e Viera (2005) nesta mesma espécie. Já o I_s observado no mogno é similar ao relatado por Maruyama *et al.* (2005), que também observaram menores valores de I_s para plantas mantidas na sombra. Pezzopane *et al.* (2003) estudando a radiação luminosa e fotossíntese em três espécies lenhosas, observaram que as espécies *Croton floribundus*, *Guatteria sellowiana* e *Bauhinia forficata* obtiveram os maiores valores de fotossíntese, quando submetida à incidência de luz de $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ do que em baixas irradiâncias.

6.5. Efeito do tempo de solarização nos parâmetros associados à curva A-C_i

6.5.1. Fotossíntese potencial (A_{pot})

A taxa de fotossíntese potencial (A_{pot}) diferiu entre espécies, assim como entre os tratamentos de solarização ($p < 0,05$), sendo também a interação espécies x TS altamente significativa ($p < 0,01$, Tabela 1A).

Em acariquara o maior valor de A_{pot} foi observado em T_{180} ($10,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) enquanto que o menor ocorreu em T_{30} ($4,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 4), mostrando o efeito fotoinibitório da exposição recente a radiação solar plena. Em mogno a A_{pot} variou de $6,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (T_{30}) a $11,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (T_{60}) (Tabela 4). O menor valor de A_{pot} foi observado no controle (T_0) $5,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sugerindo que esta espécie esteja mais adaptada a ambiente de alta luminosidade. Por outro lado, o valor baixo em T_{30} , reflete o efeito fotoinibitório da exposição recente ao céu aberto.

Em acariquara a relação entre A_{pot} e o tempo de solarização (TS) pode ser descrita pela equação $y = 4,46 + 0,024x$ ($r^2 = 0,59^*$) (Figura 3). Já para o mogno a relação A_{pot} e TS pode ser representada pela equação $y = 6,72 + 0,026x$ ($r^2 = 0,52^*$) (Figura 3). Em ambos os casos a A_{pot} apresenta sempre tendência de aumento com o tempo de solarização. Deve-se salientar que ao final do TS, ou seja, em T_{180} (mas não antes) as espécies mogno e acariquara apresentaram valores de A_{pot} similares ($10,6$ a $11 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) o que mostra que planta da sucessão tardia como a acariquara, pode atingir valores de

fotossíntese comparáveis àqueles observados em espécies intermediárias da sucessão ecológica, como o mogno. Assim, pode-se concluir que o tempo de aclimatação a luz solar plena em plantas de acariquara dura entre pelos menos 4 e 5 meses.

Tabela 4. Fotossíntese potencial (A_{pot}) em mudas de acariquara e mogno em resposta ao tempo de solarização – TS (T_0 a T_{180}). Média (\pm S. E.) de três plantas e duas folhas por planta.

TS	Acariquara	Mogno
	A_{pot} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	A_{pot} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
T_0	$6,03 \pm 0,50$	$5,3 \pm 0,4$
T_{30}	$4,4 \pm 0,39$	$6,5 \pm 0,3$
T_{60}	$4,78 \pm 0,43$	$11,7 \pm 1,8$
T_{90}	$6,87 \pm 0,25$	$9,3 \pm 0,9$
T_{120}	$7,44 \pm 1,93$	$9,9 \pm 0,9$
T_{150}	$6,47 \pm 1,16$	$9,8 \pm 1,1$
T_{180}	$10,60 \pm 1,31$	$11,0 \pm 1,6$
¹ F(sp x TS)	3,39**	
CV (%)	30,7	

¹ Valor de F (ANOVA) para a interação entre espécies x TS; CV, coeficiente de variação; **, altamente significativo ($p < 0,01$).

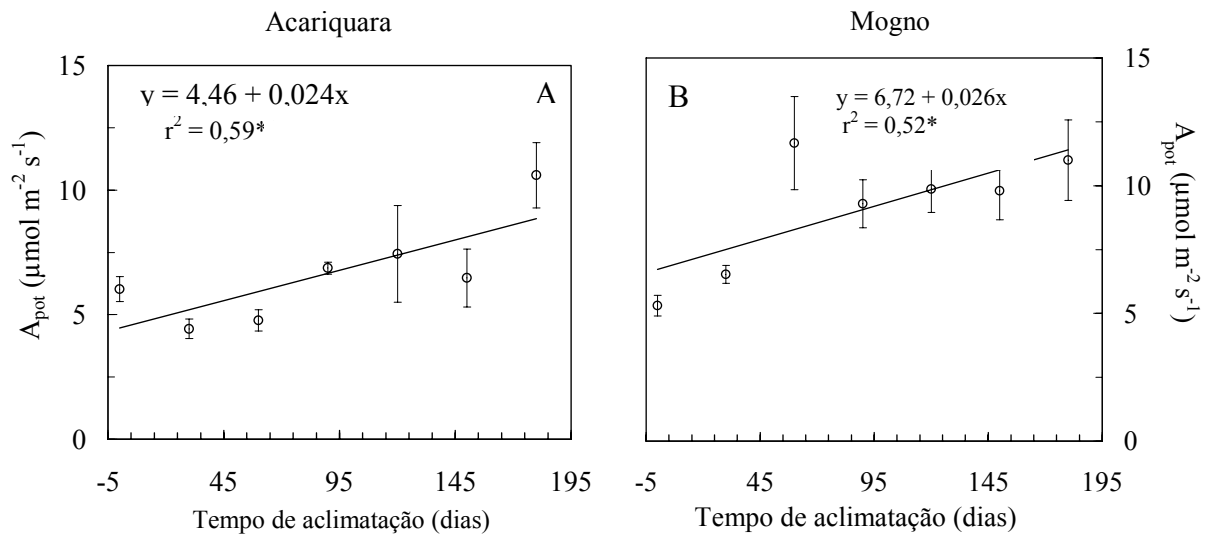


Figura 3. Fotossíntese potencial (A_{pot}) em mudas de acariquara e mogno em resposta ao tempo de solarização-TS (T_0 a T_{180}). Cada símbolo representa a média de três plantas e duas por folhas por planta (\pm S. E.), *, significativo ($p < 0,05$).

Kanegae *et al.* (2000) encontraram valores de A_{pot} em *Bowdichia virgilioides* (Kunth) semelhantes aos relatados nesta pesquisa. Os referidos autores observaram que A_{pot} foi maior ($8,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) na vegetação de campo sujo e o menor ($3,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) no cerradão. Em três variedades de citros ('Valência', 'Murcote' e 'Tahiti') Machado *et al.* (2005) também encontram valores de A_{pot} ($9,8$ a $13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) semelhantes aos relatados neste trabalho. Oliveira *et al.* (2002) estudando as trocas gasosas em mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) observaram que o valor de A_{pot} foi de $10,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Entretanto, os valores máximos de A_{pot} obtidos neste estudo são menores do que os encontrados por Marengo *et al.* (2003) em *Ochroma pyramidale* ($24 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) talvez pelo fato de *O. pyramidale* ser uma espécie pioneira.

6.5.2. Velocidade máxima de carboxilação da Rubisco (V_{cmax}) e taxa máxima de transporte de elétrons (J_{max})

Foi observada diferença significativa, tanto na velocidade máxima de carboxilação da Rubisco (V_{cmax}) calculada a partir da curva A- C_i , como na taxa máxima de transporte de elétrons (J_{max}) entre as espécies, assim como entre os tratamentos de solarização (TS) ($p < 0,05$, Tabela 1A). Em acariquara, o menor valor de V_{cmax} foi observado em T_{60} ($6,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e o maior em T_{180} ($14,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 5). Já em mogno, o valor maior de V_{cmax} foi em T_{180} ($20,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e o menor em T_{30} ($9,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 5).

Os valores de J_{max} em acariquara variaram de $20,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (T_{30}) a $34,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (T_{180}). Já, em mogno, os menores valores de J_{max} foram observados no controle e em T_{30} , e os maiores nos tratamentos T_{60} a T_{180} (em torno de $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 5).

Tabela 5. Velocidade máxima de carboxilação da Rubisco (V_{cmax}) e a taxa máxima de transporte de elétrons (J_{max}) em mudas de acariquara e mogno em função do tempo de solarização (TS). Média (\pm S. E.) de três plantas e duas folhas por planta.

TS	Acariquara	Mogno	Acariquara	Mogno
	V_{c-max} a 25°C ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	V_{c-max} a 25°C ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	J_{max} a 25°C ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	J_{max} a 25°C ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
T_0	$10,2 \pm 0,61$	$10,53 \pm 2,94$	$27,64 \pm 7,30$	$23,7 \pm 2,61$
T_{30}	$6,6 \pm 0,40$	$9,25 \pm 0,45$	$20,47 \pm 0,4$	$25,5 \pm 1,2$
T_{60}	$6,5 \pm 0,43$	$28,5 \pm 2,5$	$28,40 \pm 1,31$	$53,4 \pm 2,13$
T_{90}	$12,48 \pm 0,17$	$21,1 \pm 3,8$	$28,40 \pm 1,31$	$46,9 \pm 6,0$
T_{120}	$12,8 \pm 3,82$	$19,4 \pm 1,98$	$29,38 \pm 5,16$	$45,2 \pm 0,98$
T_{150}	$11,28 \pm 2,08$	$20,8 \pm 0,07$	$27,37 \pm 3,64$	$43,6 \pm 3,59$
T_{180}	$14,72 \pm 2,30$	$20,9 \pm 0,65$	$34,87 \pm 7,30$	$43,8 \pm 5,5$
¹ F(sp x TS)	$2,33^{ns}$		$3,14^*$	
CV (%)	39,7		30,6	

¹ Valor de F (ANOVA) para a interação entre espécies x TS; CV, coeficiente de variação; ns, não significativo; *, significativo ($p < 0,05$).

Os resultados deste trabalho são comparáveis aos relatados por Manter e Kerrigan (2004) que observaram que V_{cmax} oscilou entre 20 e 75 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em espécies de folhas largas. Os valores de V_{cmax} e J_{max} relatados nesta pesquisa também estão dentro da faixa dos valores relatados por Wullschleger (1993). Este autor observou, num trabalho envolvendo 109 espécies, que os valores de V_{cmax} oscilaram entre 6 e 194 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e os de J_{max} entre 17 e 372 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

6.5.3. Efeito do tempo de solarização no fator limitante da fotossíntese

Conforme o modelo de Farquar *et al.* (1980) a fotossíntese é limitada principalmente por dois fatores (V_{cmax} e J_{max}). Os dois parâmetros dependem de C_i . O valor de C_i depende da condutância estomática (g_s) aumentando C_i à proporção do aumento em g_s . Em acariquara, a relação C_i/C_a oscilou entre 0,68 e 0,84 (Tabela 6), o que significa que em média a $[\text{CO}_2]$ nos espaços intercelulares (C_i) foi de aproximadamente 270 $\mu\text{mol mol}^{-1}$. Assim, pode-se observar que independente de TS a fotossíntese foi limitada pela atividade da Rubisco em níveis de CO_2 do ambiente (CO_2 no ar de 380 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) indicada pela seta vertical nas Figuras 4 a 7. Já em alta $[\text{CO}_2]$, o fator limitante da fotossíntese foi o transporte de elétrons (linha tracejada nas Figuras 4 a 7). Estes resultados estão de acordo com Cen e Sage (2005) que mostraram que a velocidade de carboxilação é o principal fator limitante da fotossíntese em CO_2 ambiente.

Tabela 6. Valores da relação C_i/C_a em resposta ao tempo se solarização (TS) em mudas de acariquara e mogno. Em que: C_i representa a $[CO_2]$ nos espaços intercelulares da folha e C_a indica a $[CO_2]$ no ambiente. Média (\pm S. E.) de três plantas e duas folhas por planta.

TS	Acariquara	Mogno
	Relação C_i / C_a	Relação C_i / C_a
T ₀	0,73 \pm 0,02	0,78 \pm 0,02
T ₃₀	0,84 \pm 0,002	0,81 \pm 0,01
T ₆₀	0,84 \pm 0,004	0,72 \pm 0,04
T ₉₀	0,72 \pm 0,005	0,75 \pm 0,03
T ₁₂₀	0,68 \pm 0,05	0,69 \pm 0,05
T ₁₅₀	0,79 \pm 0,03	0,65 \pm 0,03
T ₁₈₀	0,73 \pm 0,4	0,73 \pm 0,005
¹ F (sp x TS)		2,80*
CV (%)		6,71

¹ Valor de F (ANOVA) para a interação espécies x TS; CV, coeficiente de variação; *, significativo ($p < 0,05$).

Com relação ao mogno, observou-se a tendência similar àquela encontrada em acariquara. Entretanto, deve-se salientar que no controle (T₀) não houve clara diferença entre a limitação imposta pela velocidade de carboxilação e aquela causada pela restrição ao transporte de elétrons (Figura 6 e 7). Sob baixas concentrações de CO₂ a taxa de fotossíntese é limitada pela capacidade de carboxilação da Rubisco (Sage, 1994). Os resultados desta pesquisa concordam com os relatados por outros autores, que mostram que a fotossíntese é limitada principalmente pela atividade da Rubisco (Ellsworth *et al.*, 2004; Onoda *et al.*, 2005).

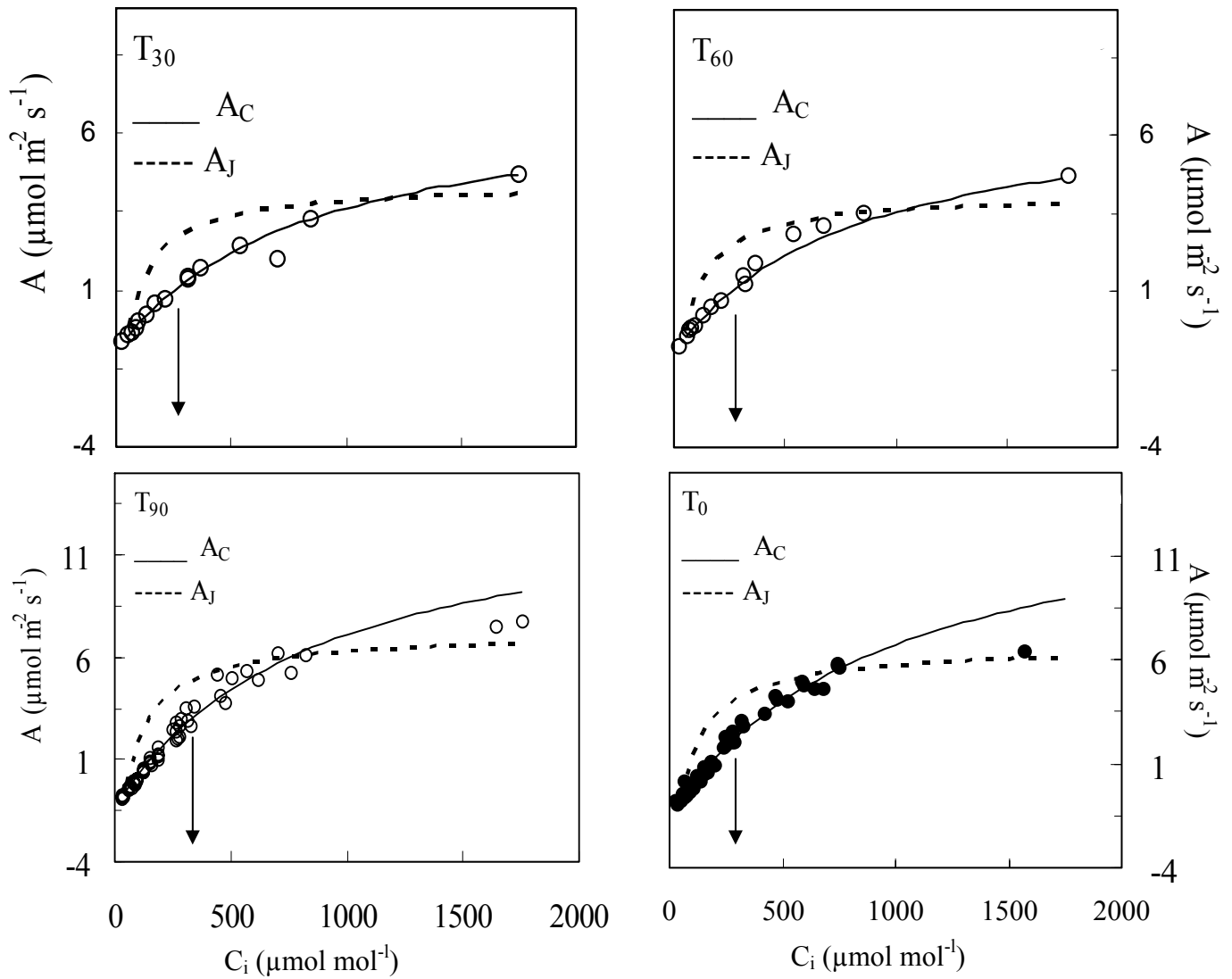


Figura 4. Taxa de fotossíntese (A) em função da concentração intercelular de CO_2 (Curva $A-C_i$) em mudas de acariquara nos tratamento de solarização – TS (T_0 a T_{90}). A linha tracejada representa a taxa de fotossíntese limitada pelo transporte de elétrons (A_j) e a linha continua representa a taxa de fotossíntese limitada pela atividade da Rubisco (A_c). Média de três plantas e duas folhas por planta. A seta indica o valor de C_i em $[\text{CO}_2]$ ambiente.

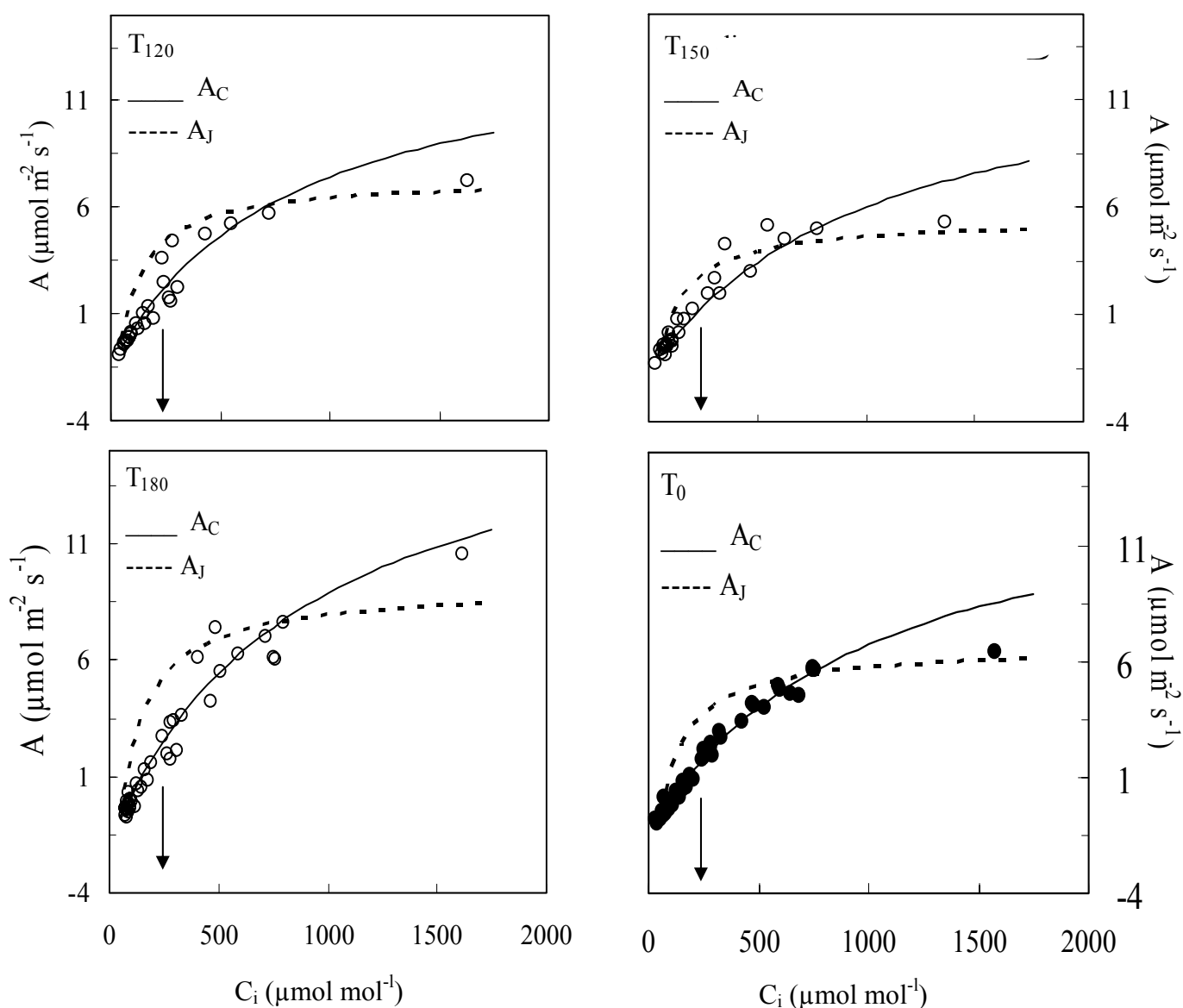


Figura 5. Taxa de fotossíntese (A) em função da concentração intercelular de CO_2 (Curva $A-C_i$) em mudas de acariquara nos tratamento de solarização – TS (T_0 , T_{120} - T_{180}). A linha tracejada representa a taxa de fotossíntese limitada pelo transporte de elétrons (A_J) e a linha continua representa a taxa de fotossíntese limitada pela atividade da Rubisco (A_C). Média de três plantas e duas folhas por planta. A seta indica o valor de C_i em $[\text{CO}_2]$ ambiente.

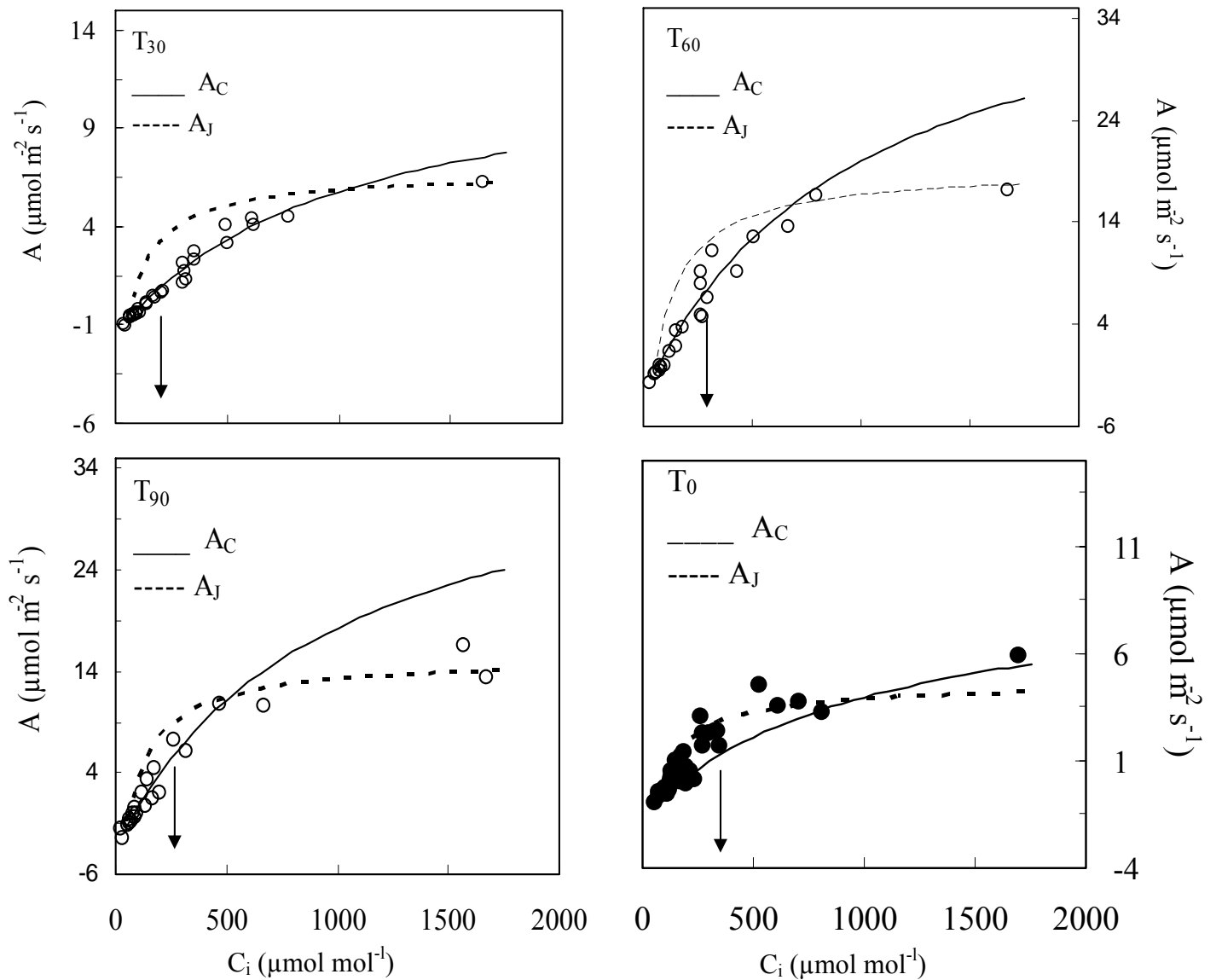


Figura 6. Taxa de fotossíntese (A) em função da concentração intercelular de CO_2 (Curva $A - C_i$) em mudas de mogno nos tratamento de solarização – TS (T_0 a T_{90}). A linha tracejada representa a taxa de fotossíntese limitada pelo transporte de elétrons (A_j) e a linha continua representa a taxa de fotossíntese limitada pela atividade da Rubisco (A_C). Média de três plantas e duas folhas por planta. A seta indica o valor de C_i em $[\text{CO}_2]$ ambiente.

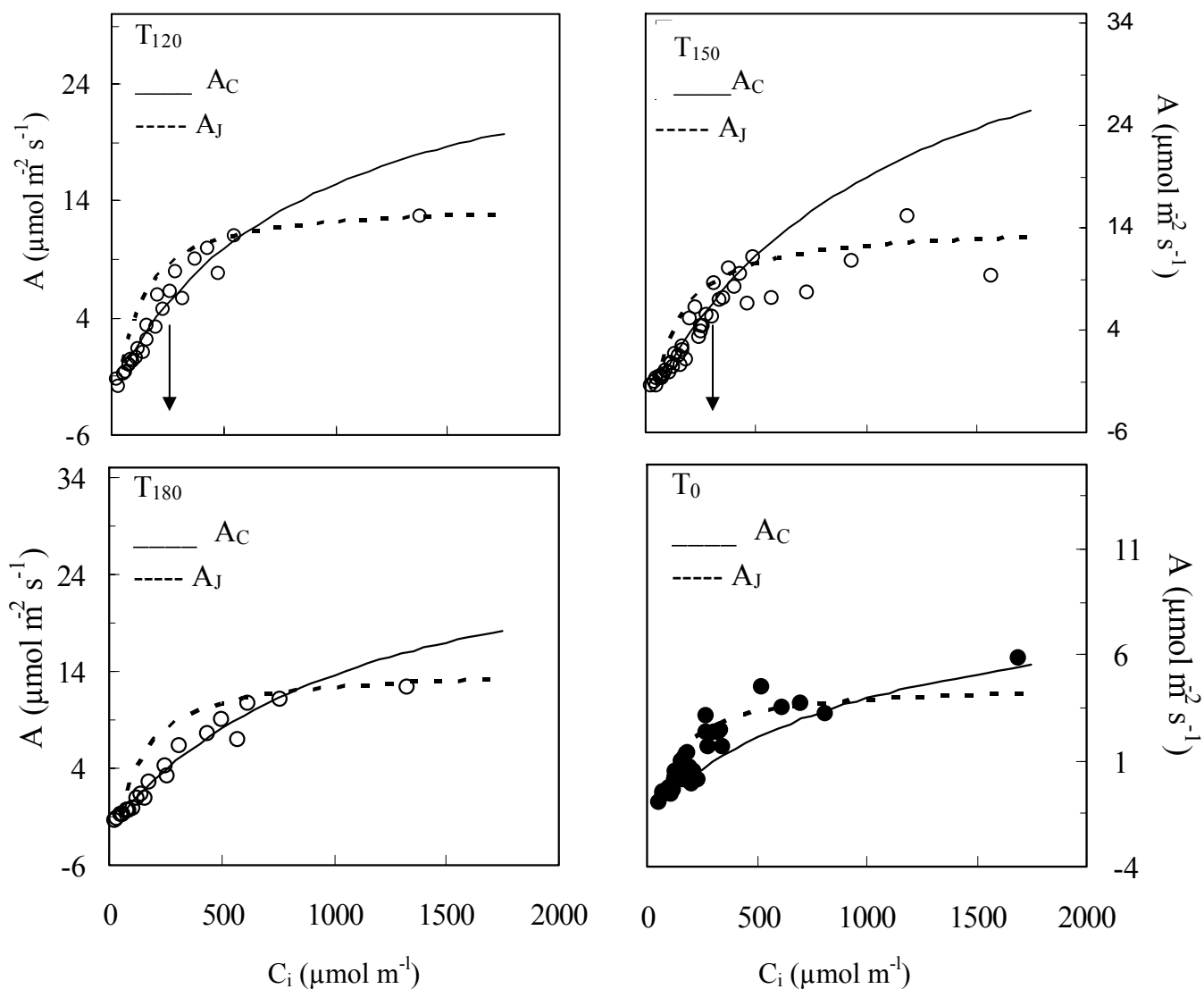


Figura 7. Taxa de fotossíntese (A) em função da concentração intercelular de CO_2 (Curva $A-C_i$) em mudas de mogno nos tratamento de solarização – TS (T_0 , T_{120} - T_{180}). A linha tracejada representa a taxa de fotossíntese limitada pelo transporte de elétrons (A_j) e a linha continua representa a taxa de fotossíntese limitada pela atividade da Rubisco (A_C). Média de três plantas e duas folhas por planta. A seta indica o valor de C_i em $[\text{CO}_2]$ ambiente.

Em média a concentração de CO_2 de compensação (Γ) foi similar nas duas espécies ao final do tratamento de solarização ($97 \mu\text{mol mol}^{-1}$) em acariquara e $100 \mu\text{mol mol}^{-1}$ no mogno. Valores similares de Γ foram relatados por Marengo *et al.* (2001) em estudos com mogno e cumaru (*Dipteryx odorata*).

6.6. Efeito do tempo de solarização nos parâmetros de fluorescência (F_0 , F_m e F_v/F_m)

6.6.1. Efeito em acariquara

Houve um aumento na fluorescência inicial (F_0) nas primeiras semanas de exposição das mudas de acariquara à luz solar plena (Figura 8A). Em seguida, observou-se decréscimo nos valores de F_0 , até se estabilizarem aos 50 dias após o início do experimento de solarização (Figura 8A). O aumento em F_0 deve-se provavelmente a danos causados a proteína D_1 do centro de reação do FSII, envolvendo danos à transferência de elétrons entre a plastoquinona A (Q_A) e a plastoquinona B (Q_B) (Dias e Marengo, 2006).

Os valores da fluorescência máxima (F_m) diminuíram nos primeiros dias de exposição ao sol. Depois aumentaram gradativamente até o final do tempo de solarização (Figura 8C). Em comparação aos valores de F_m no controle, pode-se observar uma diminuição neste parâmetro de 25% nos tratamentos de solarização. Os valores de F_v/F_m apresentaram variação similar aos observados para F_m . Isto é, houve diminuição brusca nos primeiros 15 dias de exposição à alta radiação solar (Figura 8E), seguida de recuperação gradual até atingir valores máximos (0,75), após três meses do início do processo de aclimação. Noutras palavras, a exposição das plantas à alta radiação solar causou diminuição severa (cerca de 60%) nos valores F_v/F_m nos primeiros 15 dias do início da aclimação a pleno sol (Figura em destaque no gráfico 8E). Ao final do período de aclimação as mudas de acariquara apresentaram recuperação de 80% na relação F_v/F_m , mas sem atingir os valores do controle, o que indica que em plantas aclimatadas os valores de F_v/F_m tendem a ser um pouco menores daqueles observados no controle, o que provavelmente indica algum grau de fotoinibição (Long *et al.*, 1994) .

6.6.2. Efeito em mogno

Os valores da fluorescência inicial (F_0) nas mudas de mogno tiveram um leve acréscimo (menor do que os relatados em acariquara), aproximando-se aos valores do controle aos 50 dias após o início do experimento de aclimação (Figura 8B). Em relação às mudas do controle, F_m diminuiu 14 % quando expostas a luz solar direta.

Como observado em acariquara, as mudas de mogno também sofreram redução na eficiência quântica do FS 2 (F_v/F_m). Aos cinco dias após o início do período de aclimatação, houve redução de aproximadamente 30% na relação F_v/F_m (Figura 8F em destaque no gráfico). Aumento de F_o juntamente com redução na relação F_v/F_m , indica a ocorrência de danos nos centros de reação do FS2 (Osmond, 1994). O excesso de luz provavelmente provocou fotoinibição causando a inativação parcial do fotossistema 2, devido ao aumento súbito na quantidade de luz que chegou às folhas (Anderson *et al.*, 1997).

A recuperação de F_v/F_m após o período de aclimatação em pleno sol indica que as plantas estão se aclimatando ao novo ambiente. Maxwell e Johnson (2000) relatam que através das medições da fluorescência da clorofila *a* em espécies de diferentes ambientes, é possível inferir sobre mudanças fotoquímicas na planta. Valores similares na relação F_v/F_m foram observados por Oliveira *et al.* (2006) em trabalho realizado em seringueira em diferentes sistemas de cultivo. Esses autores observaram que a eficiência fotoquímica (relação F_v/F_m) apresentou diferenças significativas em função das estações do ano (chuvosa e seca), tendo eles encontrado valores entre 0,60 (seca) a 0,80 (estação chuvosa). Diminuições na eficiência fotoquímica causada pelo excesso de luminosidade foram observadas também por Ribeiro *et al.* (2005) em trabalho realizado com espécies arbóreas. Os referidos autores observaram que em baixa luminosidade o valor da relação F_v/F_m ficou em torno de 0,70 e sob alta irradiância a relação F_v/F_m diminuiu chegando a 0,30 para a espécie *Cariniana legalis* (Mart.). Ou seja, o valor mínimo registrado por Ribeiro *et al.* (2005) é semelhante ao encontrado em acariquara, o que mostra que ambas as espécies reagem de forma similar à exposição à radiação solar plena.

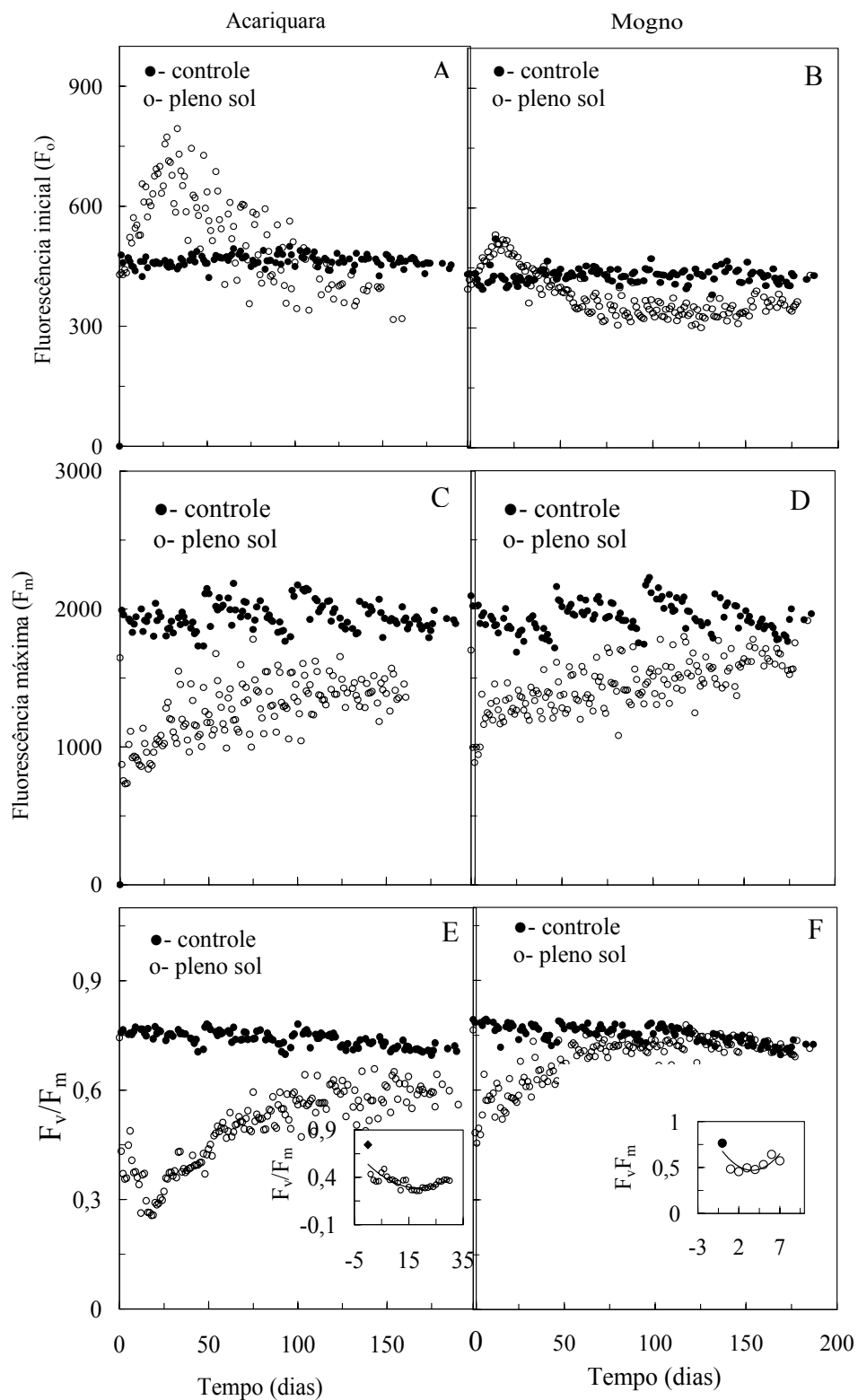


Figura 8. Efeito do tempo de solarização (TS) nos valores de F_0 , F_m e na relação F_v/F_m em mudas de acariquara (A, C e E) e mogno (B, D e F). Círculos cheios (●) representam o controle e os círculos abertos (○) mostram os valores de fluorescência em plantas mantidas a céu aberto. Cada símbolo corresponde à média de cinco plantas e duas folhas por planta.

6.7. Efeito da irradiância no déficit de pressão de vapor e na temperatura foliar

Não houve diferença ($p > 0,05$) entre as espécies nem entre os tempos de solarização no que se refere ao DPV. Porém, a interação espécies x TS foi altamente significativa ($p < 0,01$ Tabela 1A). Em acariquara, os valores de DPV variaram de 1,47 a 1,74 kPa em T_{90} e T_{30} (Tabela 7). Já no mogno o DPV variou de 1,39 e 1,75 em T_{60} e T_{150} (Tabela 7). No controle (T_0) os valores de DPV foram 1,70 e 1,56 kPa, em acariquara e mogno, respectivamente. Esses resultados estão entre a faixa encontrada por Ribeiro *et al.* (2005) em trabalho realizado com espécies arbóreas de diferentes grupos sucessionais e diferentes níveis de irradiância (alta e baixa intensidade de luz). Em alta irradiância ($39,6 \text{ mol m}^{-2}\text{dia}^{-1}$) os valores encontrados por esses autores variou de 0,6 a 5,3 kPa, enquanto que sob baixa intensidade de luz ($13,8 \text{ mol m}^{-2}\text{dia}^{-1}$) foi de 0,7 a 3,8 kPa.

Resultados semelhantes a este trabalho foram encontrados por Naves-Barbiero *et al.* (2000) em duas espécies sempre-verdes, *Rapanea guianensis* e *Roupala montana*. Esses autores encontraram valores de DPV entre 2,0 e 3,5 kPa para *R. guianensis* e 1,5 e 2,0 kPa para *R. montanae*. Segundo Bazzaz (1984) o déficit de pressão de vapor pode ser maiores a pleno sol do que na sombra, o que confirma as observações realizadas no presente trabalho.

Em relação à temperatura foliar (T_f) houve diferença entre espécies ($p < 0,05$), assim como entre os tratamentos de solarização. A interação espécies x TS foi significativa ($p < 0,05$, Tabela 1A). Em acariquara o menor valor de T_f foi observado em T_{90} ($26,6 \text{ }^\circ\text{C}$) e o maior em T_{180} ($28,8 \text{ }^\circ\text{C}$) (Tabela 7). No mogno o menor valor de T_f foi de $28,9 \text{ }^\circ\text{C}$ em T_{90} e o maior valor de T_f foi observado em T_{180} ($30,1 \text{ }^\circ\text{C}$) (Tabela 7).

Tabela 7. Valores de déficit de pressão de vapor da folha (DPV) e temperatura foliar (T_f) em resposta ao tempo de solarização-TS (T_{30} - T_{180}) em mudas de acariquara e mogno. Média (\pm S. E.) de três plantas e duas folhas por planta.

TS	Acariquara	Mogno	Acariquara	Mogno
	DPV (kPa)	DPV (kPa)	T_f (°C)	T_f (°C)
T₀	1,70 \pm 0,11	1,56 \pm 0,07	28,73 \pm 0,46	29,75 \pm 0,2
T₃₀	1,74 \pm 0,05	1,70 \pm 0,07	28,48 \pm 0,07	29,48 \pm 0,02
T₆₀	1,68 \pm 0,05	1,39 \pm 0,1	26,67 \pm 0,35	29,23 \pm 0,42
T₉₀	1,47 \pm 0,05	1,42 \pm 0,02	26,56 \pm 0,44	28,87 \pm 0,11
T₁₂₀	1,65 \pm 0,09	1,61 \pm 0,06	27,74 \pm 0,29	28,92 \pm 0,01
T₁₅₀	1,61 \pm 0,17	1,75 \pm 0,01	26,97 \pm 0,33	27,18 \pm 0,38
T₁₈₀	1,27 \pm 0,03	1,53 \pm 0,02	28,77 \pm 0,61	30,06 \pm 0,28
¹ F (sp x TS)		3,39**		1,33*
CV%		7,16		1,86

¹Valor de F (ANOVA) para a interação espécies x TS; CV, coeficiente de variação; **, altamente significativo ($p < 0,01$); *, significativo.

6.8. Influência da luminosidade no potencial hídrico foliar

O potencial hídrico da folha (Ψ_f) não diferiu entre espécies e nem entre os tratamentos de solarização ($p > 0,05$, Tabela 1A). Igualmente ocorreu com a interação espécie x TS. Em acariquara os valores de Ψ_f oscilaram de -0,62 a -1,34 MPa (Figura 9A). No controle o valor observado de Ψ_f foi de -0,99 MPa. No mogno os valores de Ψ_f variaram de -0,58 a -0,87 MPa (Figura 9). No controle o valor observado de Ψ_f foi de -0,57 MPa. Embora os TS tivessem efeito em g_s e E houve pouca variação no potencial hídrico foliar, o que indica que a turgidez final da folha foi pouco influenciada. Isto mostra que a perda de água pela folha foi compensada pela absorção de água das raízes e confirma que movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera é possível graças às diferenças no potencial hídrico das partes que o compõem.

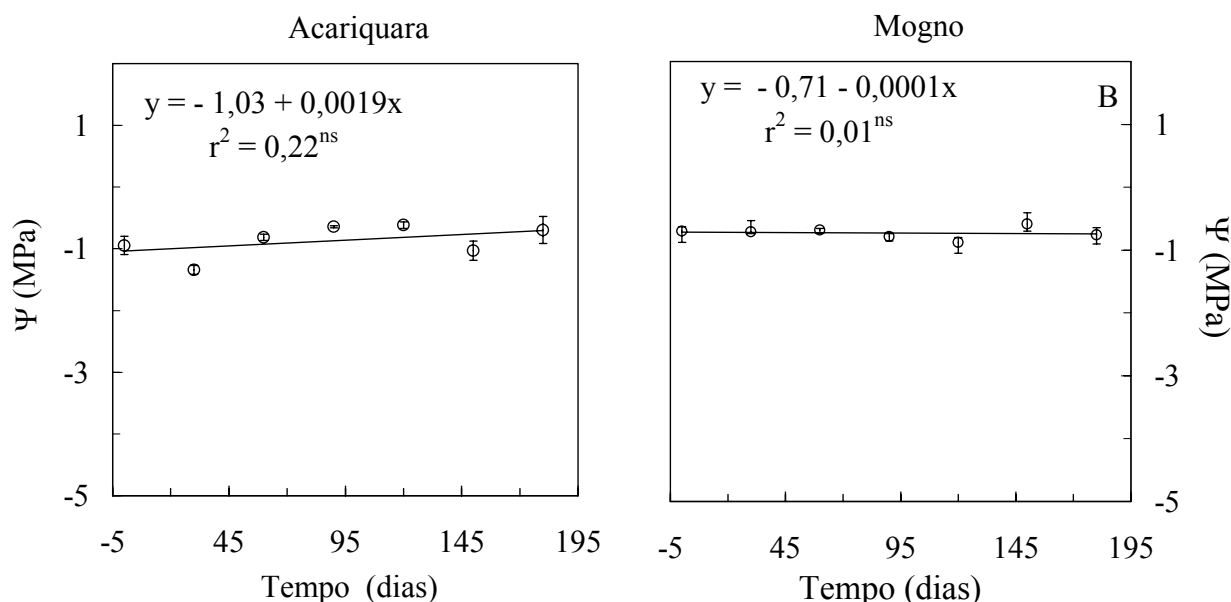


Figura 9. Potencial hídrico da folha (Ψ_f) de mudas de acariquara (A) e mogno (B) em resposta à aclimatação à luz solar plena. Média de três plantas e duas folhas por planta (\pm S. E.).

Calbo e Morais (2000), estudando o efeito da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleracea* (açai), obtiveram valores de potencial hídrico foliar semelhante ao desta pesquisa. Valores similares também foram encontrados por Costa e Marengo (2007), em estudo com plantas jovens de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.). Segundo Larcher (2000), geralmente as espécies arbóreas transpiram mais quando há suplemento adequado de água. Por outro lado, Perez e Moraes (1991) encontraram redução significativa nos valores de potencial hídrico para espécies arbóreas de cerradão (-3,5 e -4,0 MPa). Chaves-Filho e Stacciarini-Seraphin (2001) estudando alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico encontraram valores similares de potencial osmótico foliar de -1,02 MPa. Freitas *et al.* (2003) observaram que não houve alterações significativas nos valores de potencial hídrico nas plantas de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). A diminuição do potencial hídrico foliar devido à redução da água no solo está entre os fatores que promovem o fechamento estomático, conseqüentemente restringe a entrada de CO_2 e a capacidade produtiva das plantas (Calbo e Morais, 1997).

Naves-Barbieiro *et al.* (2000) relatam que mesmo em condições adequada de água no solo a fixação de carbono é afetada pelo Ψ_f , pois, fatores como a umidade relativa do ar, a temperatura e a radiação solar influenciam o desempenho estomático em decorrência do efeito de Ψ_f em g_s (Costa e Marengo, 2007). Estudando as relações hídricas em mogno, Silva e

Lemos-Filho (2001) verificaram que os menores valores de potencial hídrico (- 3,0 MPa) foram observados em mogno na estação seca. Rocha e Morais (1997) observaram os valores de potencial hídrico foliar em plantas de *Stryphnodendron adstringens* de -0,4 a -1,0 MPa, similares aos relatados neste trabalho.

6.9. Influência do tempo de solarização no teor de clorofilas e carotenóides

Os valores de clorofilas e carotenóides foram altamente significativos entre as espécies e também entre os tratamentos de solarização. Em acariquara os maiores teores de clorofilas nas plantas mantidas no sol foram observados em T₁₅₀ (173 mg m⁻² para clorofila *a* e 146 mg m⁻² para clorofila *b*) (Tabela 8). Porém, deve-se salientar que essas concentrações de clorofila foram menores do que aquelas observadas no controle. A relação clorofila *a/b* foi de 1,1 em T₀ e de 1,47 em T₁₈₀. Nas plantas expostas ao sol, o maior teor de carotenóides foi encontrado em T₁₅₀ (141,7 μmol m⁻²) (Tabela 8).

Em mogno, as plantas expostas ao sol também apresentaram teores de clorofila menores do que os observados no controle (Tabela 9). No controle (T₀) o valor encontrado foi de 267,5 mg m⁻² para a clorofila *a* e 123,2 para a clorofila *b*. Em relação ao conteúdo de carotenóides, o menor valor foi observado em T₃₀ (70,3 μmol m⁻²) e o maior no controle. O aumento na proporção clorofila *a/b* nos tratamentos T₁₈₀ indica diminuição na concentração de complexos antenas do fotossistema 2. Plantas aclimatadas à sombra apresentam uma maior concentração de complexos coletores de luz; por outro lado, plantas de sol investem mais em proteínas ligadas a Rubisco e ao transporte de elétrons (Hikosaka e Terashima, 1995).

Tabela 8. Teores de clorofilas e carotenóides em mudas de acariquara em resposta ao tempo de solarização TS (T₀ a T₁₈₀). Média (\pm S. E.) de três plantas e duas folhas por planta.

Acariquara				
TS	Clorofila <i>a</i> (mg m ⁻²)	Clorofila <i>b</i> (mg m ⁻²)	Clorofila <i>a/b</i>	Carotenóides (μmol m ⁻²)
T0	312,20 \pm 2,33	291,76 \pm 3,02	1,13 \pm 0,05	206,93 \pm 1,19
T30	69,07 \pm 0,05	48,54 \pm 0,40	1,44 \pm 0,01	78,25 \pm 0,10
T60	118,0 \pm 0,72	113,0 \pm 0,70	1,08 \pm 0,02	92,16 \pm 0,60
T90	63,60 \pm 0,05	36,62 \pm 0,40	1,76 \pm 0,02	65,09 \pm 0,56
T120	101,0 \pm 0,46	97,88 \pm 1,62	1,05 \pm 0,02	75,41 \pm 0,79
T150	172,9 \pm 17,29	145,7 \pm 18,57	1,21 \pm 0,03	141,74 \pm 17,3
T180	81,87 \pm 4,20	55,93 \pm 1,22	1,47 \pm 0,05	68,57 \pm 8,13
¹ Valor de F	41,6**	58,7**		23,8**
CV%	5,3	9,3		9,3

¹Valor de F (ANOVA) para a interação espécies x TS; CV, coeficiente de variação; **, altamente significativo ($p < 0,01$).

Tabela 9. Teores de clorofilas e carotenóides em mudas de mogno em resposta ao tempo de solarização – TS (T₀ a T₁₈₀). Média (± S. E.) de três plantas e duas folhas por planta.

Mogno				
TS	Clorofila <i>a</i> (mg m ⁻²)	Clorofila <i>b</i> (mg m ⁻²)	Clorofila <i>a/b</i>	Carotenóides (μmol m ⁻²)
T₀	267,53 ± 0,44	123,2 ± 0,81	2,20 ± 0,01	113,86 ± 0,58
T₃₀	130,49 ± 0,76	56,13 ± 0,88	2,36 ± 0,02	70,28 ± 0,39
T₆₀	149,85 ± 0,38	59,56 ± 1,31	2,55 ± 0,05	74,73 ± 0,13
T₉₀	190,09 ± 0,37	79,76 ± 0,14	2,42 ± 0,001	95,75 ± 0,03
T₁₂₀	180,21 ± 1,55	84,69 ± 2,01	2,16 ± 0,03	88,61 ± 0,79
T₁₅₀	207,08 ± 1,65	102,88 ± 4,2	2,04 ± 0,06	93,32 ± 0,89
T₁₈₀	167,58 ± 0,14	64,16 ± 1,89	2,65 ± 0,08	83,39 ± 0,31
¹ Valor F	41,6**	58,7**		23,8**
C.V%	5,3	9,3		9,3

¹ Valor de F (ANOVA) para a interação espécies x TS; CV, coeficiente de variação; **, altamente significativo (p < 0,01).

No geral o conteúdo de carotenóides (car) foi menor nas folhas de mogno do que em acariquara. Além disso, deve-se também observar que, a proporção de carotenóides foi em termos absolutos menor nos tratamentos expostos ao sol do que no controle. Porém, a proporção car/C_{tot} foi maior nas plantas em aclimação à luz solar plena do que no controle. Por exemplo, para T₁₈₀, a relação car/C_{tot} foi de 0,36 em mogno e 0,49 em acariquara. Já em T₀ essa relação foi de 0,29 em mogno e 0,34 em acariquara. O aumento na relação car/C_{tot} nas plantas em aclimação mostra a importância dos carotenóides na fotoproteção da planta ao estresse causada pela radiação solar intensa (Demming-Adams e Adams, 1992; Choudhury e Behera, 2001). Lima-Junior *et al.* (2005), estudando plantas jovens de *Cupania vernalis* (Camb.), observaram que a concentração de clorofila *a* foi menor em plantas cultivadas a pleno sol. A relação clorofila *a/b*, de uma maneira geral é menor em ambientes de baixa intensidade luminosa (Boardman, 1977) o que está de acordo com os resultados neste trabalho.

6.10. Crescimento das mudas

Houve diferença significativa entre espécies e entre os TS no que se refere ao crescimento das mudas ($p < 0,05$). Observou-se que a altura e o diâmetro das mudas aclimatadas a alta luminosidade (T_{30-180}) foram maiores do que as mudas do controle (T_0 - sombra) em ambas espécies (Figura 10). O mogno apresentou maior altura absoluta no T_{180} (39 cm). O menor valor em diâmetro foi encontrado em T_0 , 2,10 mm para o mogno e 2,5 mm para a acariquara. Em média, a taxa de crescimento em diâmetro de mogno foi de $0,9 \text{ mm mês}^{-1}$, maior daquela observada em acariquara ($0,25 \text{ mm mês}^{-1}$). Enquanto que, a taxa de crescimento em altura foi de $3,3 \text{ cm mês}^{-1}$ para o mogno e $0,83 \text{ cm mês}^{-1}$ para acariquara. Estas taxas de crescimento são maiores do que as observadas em outras espécies florestais (Clark e Clark, 2001), ou para a Amazônia Central (Vieira *et al.*, 2005). Assim, pode-se concluir que a taxa de crescimento do mogno é aproximadamente três vezes maior do que em acariquara.

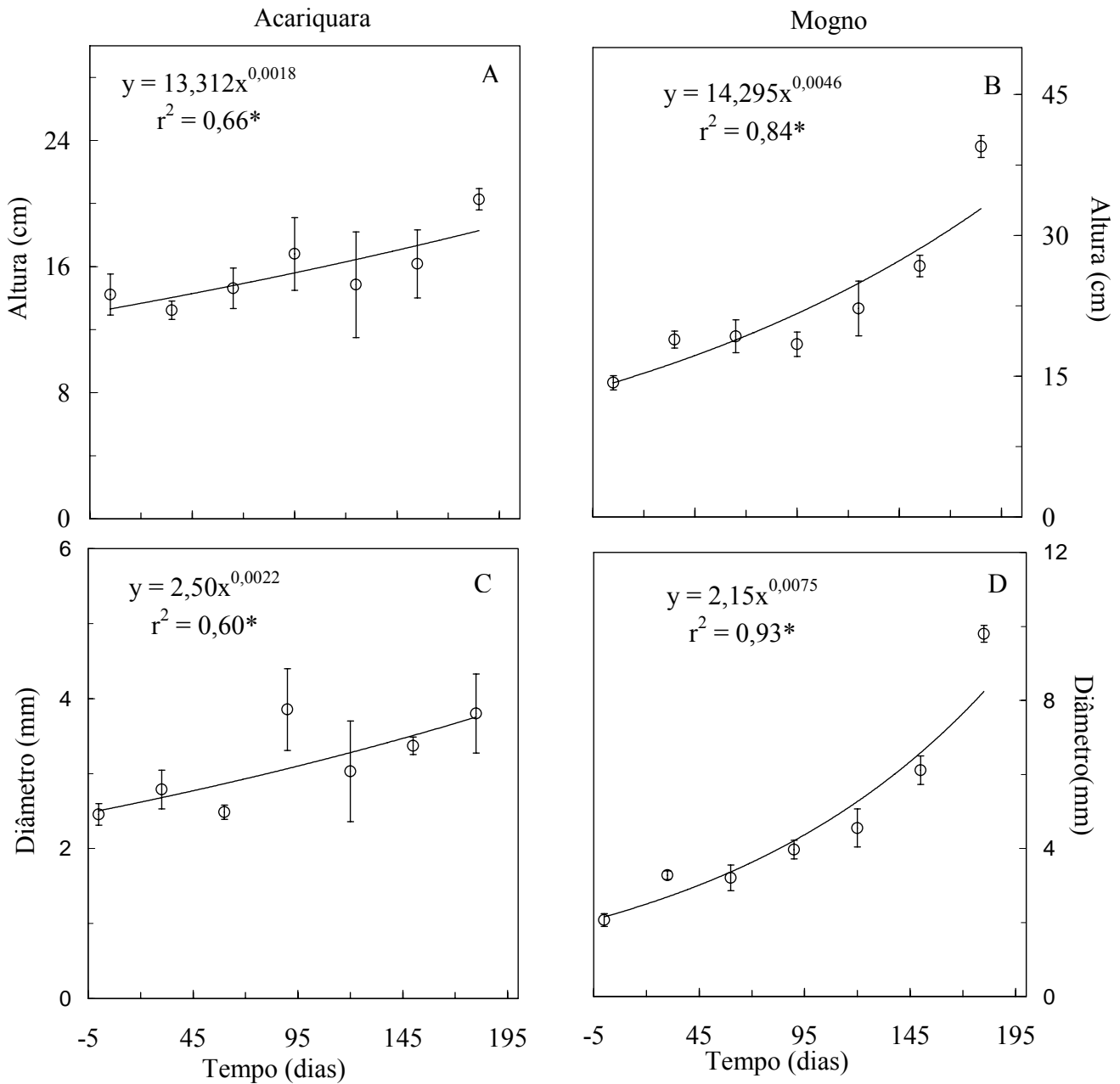


Figura 10. Crescimento em altura e diâmetro em mudas de acariquara e mogno (A-C, B-D respectivamente) em resposta ao tempo de solarização – TS (T₀ a T₁₈₀). Média de cinco plantas.

Resultados similares em altura e diâmetro foram observados por Scalón *et al.* (2001) no crescimento de mudas de pintagueira (*Eugenia uniflora* L.) crescendo a pleno sol. Carvalho-Filho *et al.* (2003), estudando a produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes ambientes, verificou que as mudas tiveram maior crescimento em altura a pleno sol.

Scalon *et al.* (2002), avaliando o crescimento de mudas de sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides* Benth.), ingá (*Inga uruguensis* Hook.) e amendoim bravo (*Pterogyne nitens* Tul.), também encontraram maior taxa de crescimento em altura entre *Caesalpinia peltophoroides* e *Pterogyne nitens* em alta irradiância. Ao contrário, mudas de pau d'álho (*Gallesia integrifolia*) apresentaram menores crescimento em altura sob luz solar direta. Tal resultado indica que algumas espécies se desenvolvem melhor em irradiância moderada (Demuner *et al.*, 2004).

Resultados semelhantes foram encontrados por Campos e Uchida (2002) em mudas de pau-de-balsa (*Ochroma lagopus* Car. Ex Lam.) e caroba (*Jacaranda copaia* Aubl.). Aguiar *et al.* (2005), trabalhando com mudas de pau-Brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) encontraram maior diâmetro nas mudas expostas à solarização total (4,8 mm ano⁻¹). Maiores crescimento em plantas cultivadas em pleno sol foram também encontradas em mudas de velame (*Sclerolobium paniculatum*) (Felfili *et al.*, 1999) e mudas do jequitibá-rosa (*Cariniana legalis* (Martius)) (Rego e Possamai, 2006). A capacidade de aclimação em alta luminosidade varia de espécie para espécie dependendo do regime de luz que chega às folhas. Em baixa intensidade de luz, as espécies têm maiores acumulo de biomassa nas folhas do que nas raízes. Conseqüentemente, as folhas são mais finas e maiores (Poorter, 1999).

Pôde-se concluir neste trabalho que o mogno apresentou maior capacidade de aclimação (inferido pela maior taxa de fotossíntese e maior taxa de crescimento) em alta irradiância do que acariquara. Alta capacidade de aclimação à irradiância foi também observada por Duz *et al.* (2004) em *Cecropia glazioui* (Sneth), uma espécie pioneira.

A área foliar específica (AFE) foi maior sob sombreamento (T₀) nas duas espécies estudadas (Tabela 10). Em estudo com mudas de *Guapira opposita* Lima- Junior (2005) encontrou maior AFE em folhas de sombra. Groninger *et al.* (1996), observaram em plantas jovens, tolerantes a sombra, maior AFE em condições de sombreamento. Rego e Passamai (2006) também observaram que mudas de *Cariniana legalis* (Martius) têm maior AFE em baixa luminosidade.

Em relação ao número de folhas observou-se que as mudas de mogno aclimatadas a pleno sol (T₃₀₋₁₈₀) apresentaram maior quantidade de folhas em relação à sombra (Tabela 10). Isto não foi observado em acariquara, na qual o número de folhas permaneceu quase constante ao longo do experimento, devido à perda prematura de folhas no ambiente ensolarado (Tabela 10).

Silva *et al.* (2004) verificaram que o número de folhas em mudas de faveira (*Clitoria fairchildiana*) em diferentes níveis de radiação não diferiu estatisticamente em pleno sol e na

sombra (50% e 70% de sombreamento). Esses autores concluíram que essa espécie por ser heliófila, se desenvolve melhor a pleno sol, confirmando a intolerância ao sombreamento. Em ambiente de alta intensidade luminosa, a estrutura da folha é influenciada, pois observa-se mudanças na espessura foliar (Bjorkman, 1995).

Tabela 10. Área foliar específica (AFE) e número de folhas em mudas de acariquara e mogno em resposta ao tempo de exposição à luz solar plena. Média (\pm S. E.) de três plantas e três discos foliares (17 mm de diâmetro) por planta.

TS	Acariquara AFE ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$)	Mogno AFE ($\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$)	Acariquara Número de folhas	Mogno Número de folhas
T ₀	23,37 \pm 0,73	35,70 \pm 1,80	6,0 \pm 1,2	7,0 \pm 1,0
T ₃₀	16,17 \pm 0,46	19,52 \pm 0,67	4,5 \pm 1,5	5,0 \pm 1,63
T ₆₀	16,68 \pm 0,98	19,63 \pm 0,11	2,5 \pm 0,5	7,0 \pm 0,82
T ₉₀	19,71 \pm 0,02	19,61 \pm 0,02	8,5 \pm 0,5	8,5 \pm 2,04
T ₁₂₀	19,52 \pm 0,67	18,31 \pm 0,50	6,0 \pm 3,0	8,33 \pm 2,47
T ₁₅₀	17,2 \pm 0,61	18,72 \pm 0,43	4,0 \pm 1,0	11,67 \pm 2,72
T ₁₈₀	17,17 \pm 0,92	16,22 \pm 0,38	8,3 \pm 1,86	16,6 \pm 1,29
¹ F(sp x TS)		18,5 *		2,8*
CV (%)		7,90		32,9

¹Valor de F (ANOVA) para a interação espécies x TS; CV, coeficiente de variação; *, significativo ($p > 0,05$).

7. CONCLUSÃO

Mudas de acariquara e mogno apresentaram comportamento fisiológico diferentes. O tempo de solarização (TS) influenciou a taxa fotossintética, a relação F_v/F_m e o crescimento das espécies. No geral, a taxa fotossintética foi maior no mogno do que em acariquara. As maiores taxas de fotossíntese observadas no mogno, podem ser atribuídas a uma maior atividade da Rubisco. Em média, nos últimos três meses, V_{cmax} foi de $12,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para acariquara, contra $20,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o mogno; já J_{max} , para o mesmo período, foi de $30,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para acariquara e $44,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o mogno. Além disso, observou-se que a exposição súbita das plantas à alta radiação solar causou diminuição severa na relação F_v/F_m , sendo esta mais acentuada em acariquara. No entanto, ao final do período de aclimação, tanto as mudas de acariquara como as de mogno apresentaram recuperação da fotoinibição, atingindo a relação F_v/F_m valores próximos aos observados no controle; processo de aclimação que esteve relacionado com aumento na relação car/C_{tot} . Não houve efeito do processo de aclimação no potencial hídrico da folha (Ψ_f), provavelmente pelo fato das plantas receberem suprimento adequado de água durante o experimento. No mogno houve produção abundante de folhas (e pouca abscisão de folhas) e ausência de fotooxidação foliar. Entretanto, em acariquara houve fotoinibição severa, fotooxidação foliar e abscisão prematura de folhas, no início do experimento, e, pouca produção de novas folhas ao longo do experimento. Finalmente, a maior taxa de fotossíntese observada no mogno coincidiu também com maiores taxas de crescimento nesta espécie, sendo estas aproximadamente três vezes maiores no mogno (crescimento em diâmetro de $0,9 \text{ mm mês}^{-1}$) do que em acariquara ($0,25 \text{ mm mês}^{-1}$).

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackerson, R.C.; Hebert, R.R. 1981. Osmoregulation in cotton in response to water stress. *Plant Physiology*, 67: 484-488.
- Aguiar, F.F.A.; Kanashiro, S.; Tavares, A.R.; Pinto, M.M.; Stancato, G.C.; Aguiar, J.; Nascimento, T.D.R. 2005. Germinação de sementes de mudas de *Caesalpinia echinata* Lam. (pau-brasil): Efeito de sombreamento. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, 29: 871-875.
- Alves, A.O. 2004. *Estudo da fotossíntese de espécies dominantes em floresta de transição no Sudoeste da Amazônia*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso. 77 pp.
- Anderson, J.M.; Park, Y.I.; Chow, W.S. 1997. Photoinactivation and photoprotection of photosystem II in nature. *Physiologia Plantarum*, 100: 214-223.
- Atkin, O.K.; Scheurwater, I.; Pons, T.L. 2007. Respiration as a percentage of daily photosynthesis in whole plants is homeostatic at moderate, but not high, growth temperatures. *New Phytologist*, 174: 367-380.
- Asada, K. 1999. The water-water cycle in chloroplasts; scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50: 601-639.
- Assmann, S.M. 1993. Signal transduction in guard cells. *Annual Review of Cell Biology*, 9: 345-375.
- Baroni, A.M. 2005. *Caracterização do sistema fotossintético em folhas de plantas jovens de Caesalpinia echinata Lam. (pau-brasil)*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo. 72pp.
- Bazzaz, F.A. 1979. The physiological ecology of plant succession. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 10: 351-371.
- Bazzaz, F.A.; Pickett, S.T.A. 1980. Physiological ecology of tropical succession: a comparative review. *Annual Review of Ecology and Systematic*, 11: 287-310.
- Bazzaz, F.A.; Carlson, R.W. 1982. Photosynthetic acclimation to variability in the light environment of early and late successional plants. *Oecologia*. 54: 313-316.

- Bazzaz, F.A. 1984. Dynamics of wet tropical forest and their species strategies. In: Medina. E.; Mooney. H.A.; Vazquez-Yánez. C. *Physiological ecology of plants of the wet tropics*, p.233-243.
- Bernacchi, C.J.; Kimball, B.A.; Quarles, D.R.; Long, S.P.; Ort, D.R. 2007. Decreases in stomatal conductance of soybean under open-air elevation of [CO₂] are closely coupled with decreases in ecosystem evapotranspiration. *Plant Physiology*, 143: 134–144.
- Blom-Zandstra, M.; Pot, C.S.; Maas, F.M.; Schapendonk, A.H.C.M. 1995. O Effects of different light treatments on the nocturnal transpiration and dynamics of stomatal closure of two rose cultivars. *Scientia Horticulturae*, 61: 251-262.
- Boardman, N.K. 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annual Review of Plant Physiology*, 28: 355-377.
- Björkman, O.; Holmgren, P. 1963. Adaptability of the photosynthetic apparatus to light intensity in ecotypes from exposed and shaded habitats. *Physiologia Plantarum*, 16: 889-914.
- Björkman, O. 1981. Responses to different quantum flux densities. In: *Encyclopedia of Plant Physiology. Physiological Plant Ecology I. 12A*, Lange, O.; Nobel, P.; Osmond, C.; Ziegler, H., Eds. Springer-Verlag: Berlin, p.57-107.
- Björkman, O.; Demmig-Adams, B. 1995. Regulation of photosynthetic light energy capture, conversion and dissipation in leaves of higher plants. In: Shulze, E.D.; Caldwell, M.M. (Eds). *Ecophysiology of Photosynthesis*. New York: Springer-ag, p.17- 47.
- Buschmann, C.; Langsdorf, G.; Lichtenthaler, H.K. 2000. Imaging of the blue, green and red fluorescence emission of plants: An overview. *Photosynthetica*, 38: 483-491.
- Calbo, M.E.R.; Moraes, J.A.P.V. 1997. Fotossíntese, condutância estomática, transpiração e ajustamento osmótico de plantas de buriti submetidas a estresse hídrico. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 9:117-123.
- Calbo, M.E.R.; Moraes, J.A.P.V. 2000. Efeitos da deficiência de água em planta de *Eutepa oleracea* (açai). *Revista Brasileira de Botânica*, 23: 225-230.
- Clark, D.A.; Clark, D.B. 2001. Getting to the canopy: Tree height growth in a neotropical rain forest. *Ecology*, 82: 1460-1472.

- Campos, M.A.A.; Uchida, T. 2002. Influencia do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37: 281-288.
- Carvalho-Filho, J.L.S.; Arrigoni-Blank, M.F.; Blank, A.F.; Rangel, M.S.A. 2003. Produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes ambientes, recipientes e composições de substratos. *Cerne*, 9: 109-118.
- Castro, Y.; Fetcher, N.; Fernandez, D.S. 1995. Chronic photoinhibition in seedlings of tropical trees. *Physiologia Plantarum*, 94: 560-565.
- Chaves-Filho, J.T.; Stacciarini-Seraphin, E. 2001. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira (*Solanum lycocarpum* St.-Hil.) em resposta ao estresse hídrico. *Revista Brasileira de Botânica*, 24: 199-204.
- Chazdon, R.L.; Pearcy, R.W. 1991. The importance of sunflecks for forest understory plants: photosynthetic machinery appears adapted to brief, unpredictable periods of radiation. *Bioscience*, 41: 760-766.
- Cen, Y.P.; Sage, R.F. 2005. The regulation of Rubisco activity in response to variation in temperature and atmospheric CO₂ partial pressure in sweet Potato. *Plant Physiology*, 139: 979-990.
- Choudhury, N.K.; Behera, R.K. 2001. Photoinhibition of photosynthesis: Role of carotenoids in photoprotection of chloroplast constituents. *Photosynthetica*, 39: 481-488.
- Conforto, E.C.; Cavalcante, J.R.; Pessoa, J.D.C.; Moreno, R.M.B.; Mattoso, L.H.C. 2005. Variação sazonal das trocas gasosas, turgescência relativa do tronco e produtividade em dois cultivares de seringueira em Votuporanga, SP, Brasil. *Acta Botânica Brasileira*, 19: 733-740.
- Costa, M.H.; Foley, J.A. 2000. Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO₂ concentrations on the climate of Amazonia. *Journal of Climate*, 13: 18-34.
- Costa, G.F.; Marengo, R.A. 2007. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico da folha em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). *Acta Amazônica*, 37: 229-234.
- Cox, P.M.; Betts, R.A.; Collins, M.; Harris, P.P.; Huntingford, C.; Jones, C.D. 2004. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theoretical and Applied Climatology*, 78:137-156.

- Dalling, J.W.; Lovelock, C.E.; Hubbel, S.P. 1999. Growth responses of seedlings of two neotropical pioneer species to simulated forest gap environments. *Journal of Tropical Ecology*, 15: 827-839.
- Demmig-Adams, B.; Adams III, W.W. 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43: 599-626.
- Demuner, V.G.; Hebling, S.A.; Dagustinho, D.M. 2004. Efeito do sombreamento no crescimento inicial de *Gallesia integrifolia* (Spreng.) Harms. *Revista do Museu de Biologia Mello Leitão*, 17: 45-55.
- Dias, D.P.; Marengo, R.A. 2006. Photoinhibition of photosynthesis in *Minuartia guianensis* and *Swietenia macrophylla* inferred by monitoring the initial fluorescence. *Photosynthetica*. 44: 235-240.
- Dias, D.P. 2009. *Fotossíntese e crescimento em diâmetro de árvores em função da temperatura e da precipitação numa floresta primária de terra-firme na Amazônia Central*. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus-Amazonas. 122 pp.
- Duz, S.R.; Siminski, A. Santos, M.; Paulilo, M.T.S. 2004. Crescimento inicial de três espécies arbóreas de floresta Atlântica em resposta à variação na quantidade de luz. *Revista Brasileira de Botânica*, 27: 587-596.
- Ellsworth, D.; Reich, P.B.; Naumburg, E.S. Koch, G.W.; Kubiske, M.E.; Smith, S.D. 2004. Photosynthesis, carboxylation and leaf nitrogen responses of 16 species to elevated CO₂ across four free-air CO₂ enrichment experiments in forest, grassland and desert. *Global Change Biology*, 10: 2121-2138.
- Falconer, D.S. 1981. *Introduction to quantitative genetics*. 2 ed. London:Longman.
- Farquhar, G.D.; Von Caemmerer, S.; Berry, J.A. 1980. A biochemical-model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species. *Planta*, 149: 78-90.
- Felfili, J.M.; Hilgert, L.F.; Franco, A.C.; Sousa-Silva, J.C.; Resende, A.V.; Nogueira, M.V.P. 1999. Comportamento de plântulas de *Sclerolobium paniculatum* Vog. var. *rubiginosum* (Tul.)Benth. sob diferentes níveis de sombreamento, em viveiro. *Revista Brasileira de Botânica*, 22: 297-301 (suplemento).
- Ferreira, C.A.G.; Davide, A.C.; Carvalho, L.R. 1999. Relações hídricas em mudas de *Eucalyptus citriodora* (Hook) em tubetes, aclimatadas por tratamentos hídricos. *Cerne*, 5: 95-104.

- Fetcher, N.; Oberbauer, S.F.; Chazdon, R.L. 1994. Physiological ecology of plants. In: Mcdade. L. A.; Bawa. K. S.; Hespenehede. H. A.; Hartshorn. G. S. (ed). *La Selva: ecology and natural history of a neotropical rain forest*. Chicago and London: The University of Press, 128-141 pp.
- Freitas, R.B.; Oliviera, L.E.M.; Delú Filho, N.; Soares, A. M. 2003. Influência de diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). *Ciência Agrotecnica*, 27: 804-810.
- Genty, B.; Briantais, J.M.; Baker, N.R. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochimica et Biophysica Acta*, 990: 87-92
- Govindjee, 1995. Sixty-three years since kautsky - chlorophyll a fluorescence. *Australian Journal of Planta Physiology*, 22:131-160.
- Gullison, R.E.; Panfil, S.N.; Strouse, J.J.; Hubbell, S.P. 1996. Ecology and management of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in the Chimanes Forest, Beni, Bolivia. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 122: 9-34.
- Grogan, J.; Ashton, M.S.; Galvão, J. 2003. Big leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) seedlings survival and growth across a topographic gradient in southeast Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 186: 311-326.
- Groninger, J.W.; Seiler, J.R.; Peterson, J.A.; Kreh, R.E.1996. Growth and photosynthetic responses of four *Virginia piedmont* tree species to shade. *Tree Physiology*, 16: 773-778.
- Hetherington, A.M.; Woodward, F.I. 2003. The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*, 424: 901-908.
- Hikosaka, K.; Terashima, I. 1995. A model of the acclimation of photosynthesis in the leaves of C₃ plants to sun and shade with respect to nitrogen use. *Plant, Cell and Environment*, 18: 605-618.
- Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Planta Physiology*, 24: 519-570.
- Hunter, J.R. 1991. Observation on the growth ecology and uses of *Miconia guianensis*, a humid tropical tree. *The International Tree Crops Journal*, 6: 221-238.
- InMet, 2008. Clima (www.inmet.gov.br/clima). Acesso: 14/08/09.
- Kammesheidt, L. 2000. Some autoecological characteristics of early to late successional tree species in Venezuela. *Acta Oecologica*. 21: 37-48.

- Kanegae, M.F.; Braz, V.S.; Franco, A.C. 2000. Efeitos da seca sazonal e disponibilidade de luz na sobrevivência e crescimento de *Bowdichia virgilioides* em duas fitofisionomias típicas dos cerrados do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 23: 459-468.
- Kitao, M.; Lei, T.T.; Koike, T.; Tobita, H.; Maruyama, Y.; Matsumoto, Y.; Ang, L-H. 2000. Temperature response and photoinhibition investigated by chlorophyll fluorescence measurements for four distinct species of dipterocarp trees. *Physiologia Planta*, 109: 284-290.
- Kok, B. 1956. On the inhibition of photosynthesis by intense light. *Biochim Biophys Acta*, 21: 234-244.
- Kozlowski, T.T.; Kramer, P.J.; Pallardy, S.G. 1991. *The physiological ecology of woody plants*. San Diego: Academic Press. 657p.
- Kramer, P.J.; Boyer, J.S. 1995. *Water relations of plants and soils*. Academic Press. San Diego. 495p.
- Lambers, H.; Chapin III, F.S.; Pons, T.L. 1998. *Plant Physiological Ecology*. Springer New York. 540pp.
- Larcher, W. 1995. *Physiological plant ecology*, 3. ed. Berlin. Heidelberg. New York: Springer-Verlag, 506p.
- Larcher, W. 2000. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima. 531 pp.
- Laurance, W.F.; Albernaz, A.K.M.; Fearnside, P.M.; Vasconcelos, H.L.; Ferreira, L.V. 2004. Deforestation in Amazonia. *Science*, 304:1109.
- Leverenz, J.W. 1994. Factors determining the nature of the light dosage response curve of leaves. In: Baker, N.R.; Boyer, J.R. (Eds). *Photoinhibition of Photosynthesis from molecular mechanisms to the field*. BioScientific Publishers Ltd. Oxford, UK. p. 239-254.
- Lima-Junior, E.C.; Alvarenga, A.A.; Castro, E.M.; Vieira, C.V.; Alves, J.P.R.; Barbosa, D. 2006. Aspectos fisiológicos de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. *Revista Árvore*, 30: 33-41.
- Lima-Junior, E.C.; Alvarenga, A.A.; Castro, E.M.; Vieira, C.V.; Oliveira, H.M. 2005. Trocas gasosas, características das folhas e crescimento de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. *Ciência Rural*, 35: 1092-1097.

- Long, S.P.; Humphries, S.; Falkowski, P.G. 1994. Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 45: 633-662.
- Lorenzi, H. 1998. *Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. Nova Odessa : Plantarum, 368p.
- Machado, E.C.; Schmidt, P.T.; Medina, C.L.; Ribeiro, R.V. 2005. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 40: 161-1170.
- Manter, D.K.; Kerrigan, J. 2004. A/C_i curve analysis across a range of woody plant species: influence of regression analysis parameters. *Journal of Experimental Botany*, 55: 2581-2588.
- Marenco, R.A.; Gonçalves, J.F.C.; Vieira, G. 2001. Photosynthesis and leaf nutrient contents in *Ochroma pyramidale* (Bombacaceae). *Photosynthetica*, 39: 539-543.
- Marenco, R.A.; Maruyama, Y. 2003. Leaf gas exchange of tropical trees in open fields and under nursery conditions. In: Higuchi, N.; Santos, J.; Sampaio, P.T.B.; Marenco, R.A.; Ferraz, J.; Sales, P.C.; Saito, M.; Matsumoto, S. (Eds.) *Projeto Jacaranda – fase 2: Pesquisas florestais na Amazônia central*, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 252 pp.
- Marenco, R.A.; Vieira, G.; Gonçalves, J.F.C. 2003. Leaf micronutrient concentrations and potential photosynthesis on *Ochroma pyramidale* established in a degraded land. *Acta Amazônica*, 33: 23-31.
- Marenco, R. A.; Vieira, G. 2005. Specific leaf area and photosynthetic parameters of tree species in the Forest understorey as a function of the microsite light environment in central Amazonia. *Journal of Tropical Forest Science*, 18:121-126.
- Marenco, R.A.; Lopes, N.F. 2009. *Fisiologia vegetal. Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral*. Viçosa: editora UFV. 486p.
- Maruyama, Y.; Nakamura, S.; Marenco, R.A.; Vieira, G.; Sato, A. 2005. Photosynthetic traits of seedlings of several tree species in an Amazonian forest. *Tropics*, 14: 211-219.
- Matthews, M.A.; Boyer, J. 1984. Acclimation of photosynthesis to low leaf water potentials. *Plantarum Physiology*, 74:161-166.

- Maxwell, K.; Johnson, G.N. 2000. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 51: 659-668.
- Meidner, H.; Mansfield, T.A. 1968. *Physiology of stomatal*. London: McGraw Hill. 179 p.
- Mielke, S.M.; Almeida, A.A.F.; Gomes, F.P. 2005. Photosynthetic traits of five Neotropical rainforest tree species: Interactions between light response curves and leaf-to-air vapour pressure deficit. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 48: 815-824.
- Muller, P.; Li, X.P.; Niyogi, K.K. 2001. Non-photochemical quenching. A response to excess light energy. *Plant Physiology*, 125: 1558-1566.
- Naves-Barbiero, C.C.; Franco, A.C.; Bucci, S.J.; Goldstein, G. 2000. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 12: 119-134.
- Nogueira, R.J.M.C.; Santos, R.C.; Neto, E.B.; Santos, V. F. 1998. Comportamento fisiológico de duas cultivares de amendoim submetidas a diferentes regimes hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 33: 1963-1969.
- Oguchi, R.; Hikosaka, K.; Hirose, T. 2005. Leaf anatomy as a constraint for photosynthetic acclimation: differential responses in leaf anatomy to increasing growth irradiance among three deciduous trees. *Plant, Cell and Environment*, 28: 916-927.
- Oliveira, M. A. J.; Bovi, M. L. A.; Machado, E.C.; Gomes, M.M.A.; Habermann, G.; Rodrigues, J. D. 2002. Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. *Scientia Agrícola*, 59: 59-63.
- Oliveira, C.R.M.; Barbosa, J.P.R.A.D.; Soares, A.M.; Oliveira, L.E.M.; Macedo, R. L.G. 2006. Trocas gasosas de cafeeiros (*coffea arabica*.) e seringueiras (*Hevea brasiliensis* muell. arg.) em diferentes sistemas de cultivo na região de Lavras, MG. *Revista Árvore*, 30: 197-206.
- Onoda, Y.; Hikosaka, K.; Hirose, T. 2005. Seasonal change in the balance between capacities of RuBP carboxylation and RuBP regeneration affects CO₂ response of photosynthesis in *Polygonum cuspidatum*. *Journal of Experimental Botany*, 56: 755-763.
- Osmond, C.B. 1994. What is photoinhibition? Some insights from comparisons of shade and sun plants. In: Baker, N.R.; Bowyer, J.R. (Eds). *Photoinhibition of*

- photosynthesis: from molecular mechanisms to the field*. BIOS Scientific Publishers Ltd, Oxford, 1-24 p.
- Pezzopane, J.E.M.; Reis, G.G.; Reis, M.G.; Neto, S.N.O.; Higuchi, P. 2003. Radiação luminosa e fotossíntese em quatro espécies lenhosas no interior de um fragmento de floresta secundária semidecidual. *Floresta e Ambiente*, 10: 48-57.
- Perez, S.C.J.G.A.; Moraes, J.A.P.V. 1991. Determinações de potencial hídrico, condutância estomática e potencial osmótico em espécies dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo de um cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 3: 27-37.
- Poorter, L. 1999. Growth Responses of 15 Rain-forest tree species to a light gradient: The relative importance of morphological and physiological traits. *Functional Ecology*, 13: 396-410.
- Popma, J.; Bongers, F. 1991. Acclimation of seedlings of three Mexican tropical rain forest tree species to a change in light availability. *Journal of Tropical Ecology*, 7: 85-97.
- Pospisilova, J. 2003. Participation of phytohormones in the stomatal regulation of gas exchange during water stress. *Biologia Plantarum*. 46: 491-506.
- Rego, G.M.; Possamai, E. 2006. Efeito do sombreamento sobre o teor de clorofila e crescimento inicial do jequitibá-rosa. *Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo*, 53: 179-194.
- Ribeiro, R.V.; Souza, G.; Oliveira, R.; Machado, E.C. 2005. Photosynthetic responses of tropical tree species from different successional groups under contrasting irradiance conditions. *Revista Brasileira de Botânica*, 28:149-161.
- Rijkers, T.; Pons, T.L.; Bongers, F. 2000. The effect of three height and light availability on photosynthetic leaf traits of four neotropical species differing in shade tolerance. *Functional Ecology*, 14: 77-86.
- Rocha, A.M.S.; Moraes, J.A.P.V. 1997. Influência do estresse hídrico sobre as trocas gasosas em plantas jovens envasadas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 9: 41-46.
- Sage, R.F. 1994. Acclimation of photosynthesis to increasing atmospheric CO₂: The gas exchange perspective. *Photosynthesis Research*, 39: 351-368.
- Salisbury, F.B.; Ross, C.W. 1992. *Plant physiology*. 4. ed. Belmont, CA: Wadsworth Publishing, 682p.

- Silva, B.M.S.; Cesarino, F.; Pantoja, T.F. 2004. *Efeito de diferentes níveis de radiação sobre o crescimento inicial de clitoria fairchildiana R.A. Howard*. Resumo expandido. Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá (IEPA), 71: 1-3.
- Silva, E.C.; Nogueira, R.J.M.C.; Neto, A.D.A.; Brito, J.Z.; Cabra, E.L. 2004. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras. Paraíba. Brasil. *Iheringia. Série Botânica*, 59: 201-205.
- Silva, B.G.; Lemos-Filho, J.P. 2001. Relações hídricas em espécies lenhosas no campus Pampulha/UFMG, Belo Horizonte, MG. *Revista Brasileira de Botânica*, 24: 519-525.
- Silvestrine, M. 2000. *Fotossíntese e acúmulo de biomassa em plantas jovens de duas espécies arbóreas de diferentes grupos ecológicos (pioneira x climácica) de uma floresta estacional semidecidual*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Biologia, Campinas, São Paulo. 78 pp.
- Scalon, S.P.Q.; Scalon-Filho, H.; Rigoni, M.R.; Veraldo, F. 2001. Germinação e crescimento de mudas de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) sob condições de sombreamento. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 23: 652-655.
- Scalon, S.P.Q.; Scalon-Filho, H.; Rigoni, M.R.; Veraldo, F. 2002. Crescimento inicial de mudas de espécies florestais nativas sob diferentes níveis de sombreamento. *Revista Árvore*, 26: 1-5.
- Schulze, E.D.; Hall, A.E. 1982. Stomatal responses, water loss and CO₂ assimilation rates of plants in contrasting environments. In: Lange, O.L.; Nobel, P.S.; Osmond, C.B.; Ziegler, H. *Physiological plant ecology II*, 12B. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, p. 181-230.
- Shukla, J.; Nobre, C.; Selles, P.S. 1990. Amazon deforestation and climate change. *Science*, 247:1322-1325.
- Slatyer, R.O. 1962. Internal water relations of higher plants. *Annual Review of Planta Physiology*, 13: 351-378.
- Tang, Y. 1997. Light. In: Prasad. M.N.V. *Plant Ecophysiology*. Chichester, New York, Toronto: John Wiley e Sons. p. 3-40.
- Tribuzy, E.S. 2005. *Variações da temperatura foliar do dossel e o seu efeito na taxa assimilatória de CO₂ na Amazônia Central*. Tese de Doutorado, Escola

- Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 77 pp.
- Valladares, F.; Pearcy, R.W. 1997. Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia*. *Plant, Cell and Environment*, 20: 25-36.
- Veríssimo, A.; Barreto, P.; Tarifa, R.; Uhl, C. 1995. Extraction of a high-value natural resource in Amazonia: the case of mahogany. *Forest Ecology and Management*, 72: 39-60.
- Vieira, S.; Trumbore, S.; Camargo, P.B.; Selhorst, D.; Chambers, J.Q.; Higuchi, N.; Martinelli, L.A. 2005. Slow growth rates of Amazonian trees: Consequences for carbon cycling. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102: 18502-18507.
- Willmer, C.; Fricker, M. 1996. *Stomata*. London, Glasgow, New York: Chapman e Hall. 375 p.
- Wullschlegel, S.D. 1993. Biochemical limitations to carbon assimilation in C₃ plants—a retrospective analysis of the A/C_i curves from 109 species. *Journal of Experimental Botany*, 44: 907-920.

9. ANEXOS

Tabela 1A. Resumo das análises de variância, mostrando F (de Fisher), grau de liberdade (gl), o valor do resíduo (res.) e significância das variáveis analisadas no estudo, em função das espécies (Spp) e dos tratamentos de solarização (TS); ns, não significativo ($p > 0,05$); *, significativo ($p < 0,05$) e **, altamente significativo ($p < 0,01$).

Variáveis/ efeitos	gl (efeito, res.)	F	Variáveis/ efeitos	gl (efeito, res.)	F
A_{max}			DPV		
Spp	1,25	14,1**	Spp	1,25	10,5**
TS	6,25	3,2*	TS	6,25	2,7*
Spp x TS	6,25	2,3 ^{ns}	Spp x TS	6,25	1,9 ^{ns}
A_{pot}			T_{folha}		
Spp	1,25	22,9**	Spp	1,25	42,5**
TS	6,25	4,4*	TS	6,25	12,3**
Spp x TS	6,25	3,4*	Spp x TS	6,25	1,3 ^{ns}
g_s			Diâmetro		
Spp	1,25	9,1**	Spp	1,25	41,1**
TS	6,25	2,9*	TS	6,25	28,7**
Spp x TS	6,25	2,2 ^{ns}	Spp x TS	6,25	15,2**
E			Altura		
Spp	1,25	10,5*	Spp	1,25	60,9**
TS	6,25	2,7*	TS	6,25	26,5**
Spp x TS	6,25	1,9 ^{ns}	Spp x TS	6,25	11,8**
V_{emax}			NF		
Spp	1,25	22,6**	Spp	1,24	9,8**
TS	6,25	3,2*	TS	6,24	5,1**
Spp x TS	6,25	2,3 ^{ns}	Spp x TS	6,24	2,8*
J_{max}			AFE		
Spp	1,25	25,4**	Spp	1,24	27,5**
TS	6,25	3,9*	TS	6,24	66,2**
Spp x TS	6,25	3,1**	Spp x TS	6,24	18,6**

Tabela 1A. Cont.

Variáveis / efeitos	gl (efeito, res.)	F	Variáveis / efeitos	gl (efeito, res.)	F
Chl a			Γ		
Spp	1,18	298,3**	Spp	1,25	0,3 ^{ns}
TS	1,18	234,4**	TS	6,25	3,4*
Spp x TS	1,18	41,6**	Spp x TS	6,25	0,6 ^{ns}
Chl b			Ic		
Spp	1,18	90,1**	Spp	1,25	5,6*
TS	1,18	151,2**	TS	6,25	4,9*
Spp x TS	1,18	58,7**	Spp x TS	6,25	1,7 ^{ns}
Chl a/b			Φ		
Spp	1,24	389,4**	Spp	1,25	27,6**
TS	1,24	8,3*	Ts	6,25	3,1**
Car			Epp x Ts		
Spp	1,18	22,0**		6,25	2,5*
TS	1,18	51,9**	Θ		
Spp x TS	1,18	23,8**	Spp	1,27	0,2 ^{ns}
C_i/C_a			TS	6,27	1,5 ^{ns}
Spp	1,25	3,2 ^{ns}	Spp x TS	6,27	2,4*
TS	6,25	2,9*	Ψ_f		
Epp x TS	6,25	2,8*	Spp	1,27	1,7 ^{ns}
			Tra	1,27	0,6 ^{ns}
			Epp x Ts	1,27	1,8 ^{ns}

A_{max} – fotossíntese máxima

A_{pot} – fotossíntese potencial

g_s – condutância estomática

E – transpiração

DPV – déficit de pressão de vapor

T_{folha} – temperatura foliar

Chl a – clorofila a

Car – carotenóides

AFE – área foliar específica

Chl b – clorofila b

Chl a/b – razão clorofila a/b

Ψ_f – potencial hídrico foliar

.. Θ – convexidade da curva

Γ – ponto de compensação de CO₂

ANEXOS 1



Figura 1A. Mudanças de mogno (A) e acariquara (B) antes do início do experimento à radiação solar plena.

ANEXO 2



Figura 2A. Mudanças de acariquara (A-C-E) e mogno (B-D-F) após o início do tratamento de solarização. A-B, primeiras semanas à pleno sol; C-D, folhas novas aclimatadas a céu aberto (180 dias); E-F - folhas na sombra (controle) desde o início do experimento. Em C-D, as setas em vermelho mostram as folhas novas aclimatadas à radiação solar plena e as setas em azul mostram as folhas necróticas (principalmente em acariquara) e as que permaneceram na muda desde o início do experimento.