

**POTENCIAL DE USO EM RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: UM ESTUDO DE TRÊS ESPÉCIES NATIVAS DA AMAZÔNIA ORIENTAL SOB DOIS REGIMES HÍDRICOS.**

**YVENS ELY MARTINS CORDEIRO**

---

Cordeiro, Yvens Ely Martins

“Potencial de uso em recuperação de áreas degradadas: Um estudo  
três espécies nativas da Amazônia Oriental sob dois regimes hídricos”

/Yvens Ely Martins Cordeiro.- Belém-Pa, 2012. 89 p.

1. Recuperação
  2. Áreas degradadas
  3. Mogno
  4. Jatobá
  5. Ipê amarelo.
-

## RESUMO

O afloramento dos problemas ambientais e a necessidade de recuperação de áreas degradadas têm aumentado o interesse sobre o conhecimento das espécies nativas da Amazônia. Sendo assim, em termos gerais o objetivo deste trabalho foi avaliar a ecofisiologia de plantas jovens de mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*), ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia*) e jatobá (*Hymenaea courbaril*) cultivadas sob dois períodos: “chuvoso” e “seco”, no município de Igarapé- Açu-Pa e em termos específicos, os objetivos foram avaliar possíveis alterações biofísicas, bioquímicas e crescimento de plantas jovens de mogno (*Swietenia macrophylla*), ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia*) e jatobá (*Hymenaea courbaril*) em pleno período chuvoso (15 e 16/03/2010) e em pleno período seco (15 e 16/10/2010) no município de Igarapé-Açu - PA. O decréscimo da condutância estomática ( $g_s$ ) das plantas de mogno brasileiro, jatobá e ipê-amarelo, respectivamente, ao longo do dia nos dois períodos pode ser devido ao aumento do déficit de pressão de vapor entre a folha e atmosfera, à diminuição do potencial hídrico do xilema foliar ( $\Psi_w$ ) ou à combinação de ambos os fatores, sem excluir o efeito da irradiância (RFA). A correlação entre  $g_s$  e  $\Psi_w$  foi positiva e altamente significativa para todas as espécies em estudo, porém relativamente baixa no período chuvoso e relativamente alta, no período seco. Uma relação similar, porém negativa, também foi observada entre a fotossíntese ( $A$ ) e  $g_s$  no período chuvoso em *Swietenia macrophylla* e *Hymenaea courbaril*. Entretanto, no período seco, essa correlação foi positiva e altamente significativa, porém baixa, para *Swietenia macrophylla* e *Tabebuia serratifolia*. A baixa correlação entre  $g_s \times \Psi_w$  e  $A \times g_s$  no período chuvoso, confirma que tanto a fotossíntese como a condutância estomática são variáveis da planta que respondem simultaneamente a um conjunto de fatores que se integram de forma coordenada, mas altamente complexa. Desse modo, não é surpreendente encontrar uma baixa correlação entre  $A$  e  $g_s$  em condições naturais de luminosidade e umidade do ar. As análises das concentrações foliares de carboidratos solúveis totais, sacarose, aminoácidos solúveis totais, prolina e glicina-betaína apresentaram incrementos médios de 113,81%, 44,63%, 20,67%, 40,47% e 63,26% (mogno), 81%, 39,32%, 16,71%, 24,41% e 51,77% (jatobá) e 148,14%, 56,36%, 22,66%, 49,63% e 86,91% (ipê-amarelo), do período seco em relação ao período chuvoso, respectivamente, apresentando diferenças estatísticas entre os períodos. As concentrações foliares de amido e proteínas solúveis totais, também apresentaram diferenças significativas entre os dois períodos, com reduções de 25,74% e 20,14% (mogno), 36,67% e 19,11% (jatobá) e 44,96% e 19,20% (ipê-amarelo), respectivamente, para o período seco em

relação ao período chuvoso. O aumento nas concentrações de glicina-betaina, prolina, carboidratos solúveis totais, aminoácidos solúveis totais e sacarose observados no período seco mostraram que as plantas das espécies estudadas se ajustaram osmoticamente, pois todas essas substâncias diminuem o potencial osmótico e, como consequência, o potencial hídrico celular, garantido o fluxo de água no interior da planta, provocando a manutenção da turgescência, garantindo a expansão celular e o crescimento. Além disso, foi observado que a altura e o diâmetro do ramo principal de plantas jovens de ipê – amarelo apresentaram nos dois períodos estudados (chuvoso e seco), incrementos significativamente superiores em relação às plantas de mogno e jatobá. Em se tratando de espécies perenes, esse fato é de grande importância, pois além da sobrevivência, a maior capacidade de adaptação dessas espécies favorece o crescimento e formação de biomassa na época seca.

**Palavras-chave:** Recuperação, Áreas degradadas, Mogno, Jatobá e Ipê amarelo.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	p
<b>Figura 1</b> Curso médio anual da temperatura máxima (A); temperatura mínima (B); precipitação pluviométrica (C), brilho solar (D), evaporação (E) e umidade relativa (F) no município de Igarapé-Açú, baseados na estação meteorológica da Embrapa Amazônia Oriental no período de 1994-2009.....	26
<b>Figura 2</b> Curso médio mensal da precipitação pluviométrica no município de Igarapé-Açú-PA, baseados na estação meteorológica da Embrapa Amazônia Oriental no ano de 2010.....	27
<b>Figura 3</b> Visão geral do experimento em campo na Fazenda Escola, município de Igarapé-Açú - PA.....	27
<b>Figura 4</b> Medições das trocas gasosas do experimento em campo na Fazenda Escola, município de Igarapé-Açú – PA.....	31
<b>Figura 5</b> Curso diurno da umidade relativa do ar (A e B), temperatura do ar (C e D), temperatura foliar (E e F), radiação fotossinteticamente ativa (G e H) e déficit de pressão e vapor entre folha e atmosfera (I e J) em plantas jovens de <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Hymenea courbaril</i> e <i>Tabebuia serratifolia</i> cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco.....	38
<b>Figura 6</b> Curso diurno do potencial hídrico do xilema foliar, taxa de assimilação líquida de carbono, condutância estomática, transpiração, condutividade hidráulica e razão entre a concentração interna e ambiente de CO <sub>2</sub> em plantas jovens de <i>Swietenia macrophylla</i> cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco.....	39
<b>Figura 7</b> Curso diurno do potencial hídrico do xilema foliar, taxa de assimilação líquida de carbono, condutância estomática, transpiração, condutividade hidráulica e razão entre a concentração interna e ambiente de CO <sub>2</sub> em plantas jovens de <i>Hymenea courbaril</i> cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco.....	45
<b>Figura 8</b> Curso diurno do potencial hídrico do xilema foliar, taxa de assimilação líquida de carbono, condutância estomática, transpiração, condutividade hidráulica e razão entre a concentração interna e ambiente de CO <sub>2</sub> em plantas jovens de <i>Tabebuia serratifolia</i> cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco.....	46
<b>Figura 9</b> Taxa de assimilação líquida de carbono, condutância estomática, transpiração, condutividade hidráulica e razão entre a concentração interna e ambiente de CO <sub>2</sub> em plantas jovens de <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Tabebuia serratifolia</i> e <i>Hymenea courbaril</i> cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco, no município de Igarapé-Açú, Pará.....	47

<b>Figura 10</b>	Curso diurno de teores foliares de glicina-betaína, prolina, carboidratos solúveis totais, amido, proteínas solúveis totais, aminoácidos solúveis totais e sacarose em plantas jovens de <i>Swietenia macrophylla</i> cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco.....	55
<b>Figura 11</b>	Curso diurno de teores foliares de glicina-betaína, prolina, carboidratos solúveis totais, amido, proteínas solúveis totais, aminoácidos solúveis totais e sacarose em plantas jovens de <i>Hymenaea courbaril</i> cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco.....	56
<b>Figura 12</b>	Curso diurno de teores foliares de glicina-betaína, prolina, carboidratos solúveis totais, amido, proteínas solúveis totais, aminoácidos solúveis totais e sacarose em plantas jovens de <i>Tabebuia serratifolia</i> cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco.....	57
<b>Figura 13</b>	Teores foliares de carboidratos solúveis totais, sacarose, amido, aminoácidos solúveis totais, proteínas solúveis totais, prolina e glicina-betaína em plantas jovens de <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Tabebuia serratifolia</i> e <i>Hymenaea courbaril</i> cultivadas em condições de campo no período “chuvoso” e “seco” no município de Igarapé-Açú, Pará.....	58
<b>Figura 14</b>	Temperatura do ar, umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor entre a folha e a atmosfera em plantas jovens de <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Hymenaea courbaril</i> e <i>Tabebuia serratifolia</i> cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010.....	59
<b>Figura 15</b>	Potencial hídrico de antimanhã, taxa de assimilação líquida de carbono, condutância estomática, transpiração, condutividade hidráulica, razão entre a concentração interna e ambiente de CO <sub>2</sub> e eficiência no uso da água em plantas jovens de <i>Swietenia macrophylla</i> , cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010.....	61
<b>Figura 16</b>	Potencial hídrico de antimanhã, taxa de assimilação líquida de carbono, condutância estomática, transpiração, condutividade hidráulica, razão entre a concentração interna e ambiente de CO <sub>2</sub> e eficiência no uso da água em plantas jovens de <i>H. courbaril</i> , cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010.....	62
<b>Figura 17</b>	Potencial hídrico de antimanhã, taxa de assimilação líquida de carbono, condutância estomática, transpiração, condutividade hidráulica, razão entre a concentração interna e ambiente de CO <sub>2</sub> e eficiência no uso da água em plantas jovens de <i>Tabebuia serratifolia</i> , cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010.....	64
<b>Figura 18</b>	Teores foliares de glicina-betaína, prolina, carboidratos solúveis totais, amido, proteínas solúveis totais, aminoácidos solúveis totais e sacarose em plantas jovens de <i>Swietenia macrophylla</i> cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010.....	66

<b>Figura 19</b>	Teores foliares de glicina-betaína, prolina, carboidratos solúveis totais, amido, proteínas solúveis totais, aminoácidos solúveis totais e sacarose em plantas jovens de <i>H. courbaril</i> cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010.....	67
<b>Figura 20</b>	Teores foliares de glicina-betaína, prolina, carboidratos solúveis totais, amido, proteínas solúveis totais, aminoácidos solúveis totais e sacarose em plantas jovens de <i>Tabebuia serratifolia</i> , cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010.....	68
<b>Figura 21</b>	Altura da planta e diâmetro do ramo principal em plantas jovens de <i>Swietenia macrophylla</i> cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010.....	70
<b>Figura 22</b>	Altura da planta e diâmetro do ramo principal em plantas jovens de <i>Hymenea courbaril</i> cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010.....	71
<b>Figura 23</b>	Altura da planta e diâmetro do ramo principal em plantas jovens de <i>Tabebuia serratifolia</i> cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010.....	72
<b>Figura 24</b>	Altura das plantas (AP, m) em plantas jovens de <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Hymenea courbaril</i> e <i>Tabebuia serratifolia</i> cultivadas em condições de campo no período chuvoso (A) e seco (B) no município de Igarapé-Açú, Pará.....	73
<b>Figura 25</b>	Diâmetro do ramo principal (DRP, mm <sup>2</sup> ) em plantas jovens de <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Hymenea courbaril</i> e <i>Tabebuia serratifolia</i> cultivadas em condições de campo no período chuvoso (A) e seco (B) no município de Igarapé-Açú, Pará.....	74

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Atributos químicos e granulométricos de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, textura média, coletado na camada de 0-20 cm, no município de Igarapé - Açu (PA), 2009.....	28
<b>Tabela 2</b>	Coefficiente de correlação de Pearson entre taxa de assimilação líquida de carbono, a condutância estomática, transpiração, condutividade hidráulica e potencial hídrico do xilema em plantas jovens de <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Hymenea courbaril</i> e <i>Tabebuia</i> cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco.....	44
<b>Tabela 3</b>	Valores médios de assimilação líquida de carbono, transpiração e eficiência no uso da água em plantas jovens de <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Hymenea courbaril</i> e <i>Tabebuia serratifolia</i> cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco.....	44
<b>Tabela 4</b>	Coefficiente de correlação de Pearson entre taxa de assimilação líquida de carbono, a condutância estomática e teores foliares de amido, proteínas solúveis totais, aminoácidos solúveis totais e sacarose em plantas jovens de <i>Swietenia macrophylla</i> , <i>Hymenea courbaril</i> e <i>Tabebuia serratifolia</i> cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco.....	54

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

A = TAXA DE ASSILAÇÃO LÍQUIDA DE CARBONO

A/E = EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA

ABS = ABSORBÂNCIA

AMD= AMIDO

CST = CARBOIDRATOS SOLÚVEIS TOTAIS;

DPV = DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR DO AR;

E = TRANSPIRAÇÃO;

FEIGA = FAZENDA ESCOLA DE IGARAPÉ-AÇU

GB = GLICINA- BETAÍNA;

GS = CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA;

$K_L$  = CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA

MPA = MEGA PASCAL (1 MPA = 0,1 BAR);

PCH = PERÍODO CHUVOSO

PRO= PROLINA

PS = PERÍODO SECO

PST= PROTEÍNAS SOLÚVEIS TOTAIS

RFA = RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA;

SAC= SACAROSE

TAR = TEMPERATURA RELATIVA DO AR;

TFOL = TEMPERATURA RELATIVA DA FOLHA;

UR = UMIDADE RELATIVA DO AR;

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Psi_{\text{am}}$  = POTENCIAL HÍDRICO DE ANTEMANHÃ

$\Psi_{\text{s}}$  = POTENCIAL HÍDRICO DO SOLO

$\Psi_{\text{x}}$  = POTENCIAL HÍDRICO DO XILEMA FOLIAR

## SUMÁRIO

	p
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	13
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	15
2.1 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA PARA OS VEGETAIS.....	15
2.2 TOLERÂNCIA À SECA.....	16
2.3 EFEITO DA SECA NO DESENVOLVIMENTO VEGETAL.....	17
2.4 EFEITO DA SECA NO POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR.....	18
2.5 EFEITO DA SECA NA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA.....	19
2.6 EFEITO DA SECA NA FOTOSSÍNTESE.....	20
2.7 ESPÉCIES BOTÂNICAS ESTUDADAS.....	21
<b>2.7.1 Características gerais do mogno brasileiro.....</b>	21
2.7.1.1 Aspectos botânicos.....	21
2.7.1.2 Distribuição geográfica e ocorrência natural.....	21
2.7.1.3 Características dendrológicas e fenológicas.....	22
<b>2.7.2 Características gerais do jatobá.....</b>	23
2.7.2.1 Aspectos botânicos.....	23
2.7.2.2 Distribuição geográfica e ocorrência natural.....	23
2.7.2.3 Características dendrológicas e fenológicas.....	23
<b>2.7.3 Características gerais do ipê-amarelo.....</b>	24
2.7.3.1 Aspectos botânicos.....	24
2.7.3.2 Distribuição geográfica e ocorrência natural.....	24
2.7.3.3 Características dendrológicas e fenológicas.....	25
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	26
3.1 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS.....	26
3.2 PREPARO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	28
3.3 PLANTIO E TRATOS CULTURAIS.....	29
3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	29
3.5 VARIÁVEIS AVALIADAS.....	30
<b>3.5.1 Variáveis biofísicas.....</b>	30
<b>3.5.2 Variáveis bioquímicas.....</b>	32
<b>3.5.8 Crescimento.....</b>	35

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A exploração desordenada e seletiva das florestas nativas tem provocado aumento significativo das áreas desflorestadas na região Amazônica. Além disso, outros processos associados ao desflorestamento como, fragmentação de habitat, efeito de borda, queimadas, corte seletivo e mineração ilegal, contribuem para a degradação desta floresta (LAURENCE et al., 2002). O afloramento dos problemas ambientais e a necessidade de recuperação de áreas degradadas têm aumentado o interesse sobre o conhecimento das espécies nativas brasileiras.

Um dos grandes problemas na recomposição de florestas nativas é a produção de mudas de espécies que possam suprir programas de reflorestamento. Apesar dos esforços e dos conhecimentos já acumulados sobre essas espécies, muitos questionamentos ainda existem e pouco se sabe sobre elas (MORAES, 1998), existindo apenas para aquelas que detêm maior interesse econômico (CARVALHO, 2000).

Segundo Sobral et al. (2002), as elevadas taxas de desmatamento para diversos usos da terra e o uso inadequado de espécies florestais nativas da Amazônia – muitas vezes exploradas de forma seletiva, como por exemplo, paricá, mogno, cedro, ipê-amarelo, poderão provocar, do ponto de vista genético, a perda irreversível de muitas espécies florestais. Então, torna-se urgente a necessidade de adoção de medidas visando à ocupação mais racional da Amazônia, a ampliação do conhecimento sistematizado e científico da região, especificamente da pesquisa agropecuária e florestal, para reverter o processo de degradação em curso.

Dentre as alternativas para restaurar ecossistemas degradados, está o reflorestamento com espécies arbóreas nativas da própria região, realizados preferencialmente nas épocas do ano de disponibilidade hídrica não limitante. Porém, no nordeste paraense, principalmente no município de Igarapé-Açú, o clima predominante é do tipo Am segundo a classificação de Köppen, caracterizado por um período seco, de julho a dezembro com uma precipitação pluviométrica média de aproximadamente 90 mm. Nesse caso, a evapotranspiração excede as médias das precipitações, caracterizando uma condição de deficiência hídrica limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

O termo seca indica um período sem precipitação considerável, durante o qual o conteúdo em água do solo é reduzido de tal modo que as plantas sofrem de falta de água. Frequentemente, a secura do solo está associada a uma forte evaporação causada pela baixa

umidade relativa do ar e elevados níveis de radiação (LARCHER, 2006). Os efeitos da deficiência hídrica em diversas culturas, inclusive em plantas lenhosas, vêm sendo pesquisado há décadas. De modo geral, o primeiro sintoma resultante da seca é a paralisação do crescimento, uma vez que a água é de crucial importância no processo de expansão celular que se dá durante a fase de diferenciação das novas células geradas (KRAMER e BOYER, 1995). Alterações biofísicas e metabólicas são também observadas, destacando-se às reduções na fotossíntese, na transpiração, condutância estomática, balanço hídrico da planta e níveis de carboidratos, proteínas, aminoácidos e compostos osmoreguladores, dentre outros (KRAMER e BOYER, 1995; SMIRNOFF, 1995).

Sendo assim, em termos gerais o objetivo deste trabalho foi avaliar a ecofisiologia de plantas jovens de mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*), ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia*) e jatobá (*Hymenaea courbaril*) cultivadas sob dois períodos: “chuvoso” e “seco”, no município de Igarapé- Açu-PA e em termos específicos, os objetivos foram avaliar possíveis alterações biofísicas, bioquímicas e crescimento de plantas jovens de mogno (*Swietenia macrophylla*), ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia*) e jatobá (*Hymenaea courbaril*) em pleno período chuvoso (15 e 16/03/2010) e em pleno período seco (15 e 16/10/2010) no município de Igarapé-Açu - PA.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA PARA OS VEGETAIS

A água é o principal constituinte do tecido vegetal, representando aproximadamente 50 % da massa fresca nas plantas lenhosas e cerca de 80 a 95 % nas plantas herbáceas, sendo necessária como reagente no metabolismo vegetal, transporte e translocação de solutos, na turgescência celular, na abertura e fechamento dos estômatos e na penetração do sistema radicular (TAIZ e ZEIGER, 2009). A água é ainda responsável pela forma e estrutura dos órgãos e essencial para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Larcher, 2004), sejam elas anuais ou perenes (CARLESSO e SANTOS, 1999).

De todos os recursos de que as plantas necessitam para crescer e funcionar, a água é o mais abundante e, ao mesmo tempo, com frequência, o mais limitante. A prática de irrigação de culturas reflete o fato de que a água é um recurso-chave que limita a produtividade agrícola. A disponibilidade de água, da mesma forma, limita a produtividade de ecossistemas vegetais, levando a diferenças marcantes no tipo de vegetação que se desenvolve ao longo de gradientes de precipitação (KERBAURY, 2009).

As plantas utilizam água em grandes quantidades. Essa tremenda “sede” é uma consequência direta da absorção por difusão de CO<sub>2</sub> para fotossíntese. A maior parte (~97%) da água absorvida pelas raízes é transportada pela planta e evaporada das superfícies foliares. Tal perda de água denomina-se transpiração. Por outro lado, apenas uma pequena quantidade de água absorvida pelas raízes permanece na planta para suprir o crescimento (~2%), ser usada na fotossíntese ou em outros processos metabólicos (~1%) (TAIZ e ZEIGER, 2009).

Tanto a água utilizada pelas plantas nas suas funções vitais quanto a que é perdida para a atmosfera por transpiração provém do solo. As plantas absorvem água do solo pelas raízes e translocam até as folhas, onde é perdida para atmosfera, estabelecendo uma coluna contínua de água no sistema solo-planta-atmosfera, obedecendo a um gradiente decrescente de  $\Psi_w$ . A absorção de água pelas plantas só ocorre se houver um gradiente favorável de  $\Psi_w$  entre solos e raízes. Em um solo perdendo água permanentemente por evapotranspiração durante o dia, as plantas terão dificuldades crescentes de retirar água para balancear a perda por transpiração, levando a uma perda de pressão de turgor ou murchamento. No entanto, com

a quase total interrupção de transpiração à noite o turgor das plantas poderá ser recuperado (KERBAURY, 2009).

Para as atividades bioquímicas do protoplasma não é importante a quantidade de água nele existente, mas sim o estado termodinâmico da água. Pois a disponibilidade de água é expressa como o potencial hídrico de um sistema aquoso (células, compartimentos celulares e solução externa), tendo por referência o potencial da água pura, e isto significa quanto menor o potencial hídrico do sistema considerado, menor será também a disponibilidade de água nesse sistema (LARCHER, 2004).

## 2.2 TOLERÂNCIA À SECA

Quando a falta de água ocorre no solo, devido a um período sem chuvas prolongado, denominamos esse período de seca. Um estresse causado pela seca, gradualmente intensificado, pode ser também resultado da absorção inadequada de água pelas plantas que crescem em solos muito rasos, incapazes de proporcionar um desenvolvimento pleno para o sistema radicular (LARCHER, 2006).

As plantas lenhosas podem apresentar uma variedade de respostas de aclimação metabólicas e comportamentais à seca que inclui acumulação de compostos osmoreguladores (açúcares, aminoácidos, hormônios e etc.), mudanças na área foliar total e no sistema radicular, mudanças no sistema de endomembranas, no ciclo de divisões celulares. Todas essas respostas ajudam as plantas a tolerarem períodos mais longos de estresse hídrico. As plantas sob a circunstância de seca sobrevivem fazendo um auto balanço entre a manutenção do turgor e a redução da perda de água. Os mecanismos de tolerância à seca são: a manutenção do turgor com o ajuste osmótico (um processo que induz o acúmulo dos solutos na célula), aumento na elasticidade na célula e diminuição no tamanho da célula e na tolerância à dessecação pela resistência protoplásmica (MITRA, 2001).

Estudos realizados sobre estresse hídrico demonstraram que os hormônios desempenham um importante papel importante na percepção de estímulos desfavoráveis do meio ambiente e na geração de respostas adequadas que garantam a sobrevivência das plantas. Entre os hormônios mais estudados em plantas submetidas ao déficit hídrico, o ácido abscísico (ABA) é reconhecido em carências hídricas no solo, pois o mesmo é produzido em altas concentrações, atuando como um sinal positivo, sendo transportado da raiz para a parte

aérea através do xilema, promovendo o fechamento estomático, evitando desta forma a perda de água por transpiração. Entretanto, a imposição do estresse hídrico não resulta sempre em um aumento rápido no teor de ABA no sistema radicular. O estresse pode resultar numa maior sensibilidade dos tecidos ao ABA e/ou numa redistribuição ou síntese de hormônio nas folhas. O aumento de ABA nas folhas é geralmente independente, pelo menos no início do estresse, de sua concentração na seiva do xilema (KERBAURY, 2009).

Os efeitos do ABA na proteção ao estresse hídrico são exercidos principalmente através da indução de expressão de genes que codificam a síntese de proteínas com função de evitar as perdas de água e restaurar os danos celulares. Dentre estas, incluem-se as proteínas envolvidas no metabolismo da sacarose e da prolina, as proteínas de transporte, como os canais de íons, e as proteínas envolvidas em degradações e em processos de reparo, como as proteases (KERBAURY, 2009; CORDEIRO et al, 2009).

A tolerância à seca em plantas não é uma mecanismo simples, mas sim um complexo de adaptações que trabalham em conjunto ou isoladamente para evitar ou tolerar períodos longos de déficit hídrico. Portanto, períodos de seca tornam limitante a produtividade das plantas sempre que a deficiência hídrica é suficiente para interferir na assimilação de carbono e produção de fotoassimilados (TAIZ e ZEIGER, 2009; CORDEIRO et al, 2009).

## 2.3 EFEITO DA SECA NO DESENVOLVIMENTO VEGETAL

A redução da turgidez é o mais precoce efeito biofísico significativo do estresse hídrico, as atividades dependentes da turgidez, como a expansão foliar e o alongamento das raízes, são as mais sensíveis ao déficit hídrico (REIS et al, 1998).

A primeira e mais sensível resposta ao déficit hídrico, é a diminuição da turgescência e, associada a este evento está à diminuição do processo de crescimento em extensão da planta (LARCHER, 2006). A inibição desse crescimento em extensão provoca uma diminuição da área foliar total e, conseqüentemente, uma redução na taxa transpiratória, levando um balanço hídrico positivo para a planta.

Como resposta ao déficit hídrico, as plantas passam por mudanças fundamentais na relação da célula com a água e nos seus processos morfofisiológicos (PIMENTEL, 2005; REIS et al, 1988; CHAVES et al, 2004; CORDEIRO et al, 2009), influenciando a sua capacidade de tolerar as condições adversas do meio. No entanto, há restrição ao acúmulo de

biomassa (SILVA, 1998), prejudicando tanto no crescimento inicial das plantas como nos estádios mais tardios, limitando a dimensão das folhas individuais, o número de folhas, por conseguinte a área foliar total, número e taxas de crescimento dos ramos e o crescimento do caule (OSÓRIO et al., 1998).

Como a expansão foliar depende principalmente da expansão celular, os princípios que fundamentam os dois processos são similares, ou seja, a inibição da expansão celular provoca uma lentidão da expansão foliar no início do desenvolvimento de déficits hídricos. A área foliar menor transpira menos, conservando, efetivamente, um suprimento de água limitado no solo por um período mais longo. Portanto, a redução da área foliar pode ser considerada a primeira linha de defesa contra a seca (KERBAURY, 2009; CORDEIRO et al, 2009).

## 2.4 EFEITO DA SECA NO POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR

O conceito de potencial hídrico tem dois usos principais: primeiro, o potencial hídrico governa o transporte através de membranas celulares. Segundo, o potencial hídrico é comumente utilizado como uma medida do status hídrico de uma planta. Devido á perda de água por transpiração para atmosfera, as plantas raramente estão com plena hidratação. Durante períodos de seca, elas sofrem déficits hídricos que levam a inibição do crescimento celular, fotossíntese e produtividade de cultivos (LACHER, 2006; KERBAURY, 2009).

A disponibilidade de água (ou seja, sua capacidade de realizar trabalho e translocação) é expressa como potencial hídrico de um sistema aquoso, tendo por referência o potencial da água pura, significando que, quanto maior for a negatividade do potencial hídrico do sistema considerado, menor será também a disponibilidade de água nesse sistema (LARCHER, 2004).

Medições do potencial hídrico foliar podem, também, fornecer informações que permitam identificar o status hídrico em que se encontram as plantas. Para a maioria das espécies, o potencial hídrico acompanha as variações diurnas da demanda evaporativa da atmosfera, atingindo um valor máximo logo antes do nascer do sol. Nesse momento, as plantas encontram-se com a máxima turgescência possível para uma dada condição hídrica no solo (KRAMER e BOYER, 1995). Dessa forma, o potencial hídrico antemanhã, tem sido considerado um indicativo do estado hídrico das plantas, bem como da quantidade de água disponível no solo (LARCHER, 2004; TAIZ e ZEIGER, 2009). De acordo com Nogueira et

al. (2005), o efeito da deficiência hídrica sobre as plantas é complexo, não havendo um mecanismo universal de resistência à seca, pois as plantas respondem através de vários processos adaptativos à escassez de água como, por exemplo, através da capacidade de reduzir o potencial hídrico.

## 2.5 EFEITO DA SECA NA CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA

Estômatos são estruturas epidérmicas existentes principalmente nas folhas, mas podem ser encontradas em frutos, flores e caules jovens, formados por duas células estomáticas (células guardas), que delimitam uma fenda (ostíolo), duas ou mais células anexas (acessórias ou subsidiárias) adjacentes e uma câmara subestomática, a qual está em conexão com os espaços intercelulares, através dos estômatos há uma comunicação direta do interior da planta com o ambiente (TAIZ e ZEIGER, 2009; KERBAUY, 2009).

A condutância foliar é composta em pequena parte pela condutância cuticular da epiderme e, quando os estômatos estão abertos, pela condutância estomática, que é controlada pelas células guardas dos estômatos. Assim, a condutância é proporcional ao número e tamanho dos estômatos e também ao diâmetro da abertura estomática e depende da interação de um grande número de fatores ambientais como a radiação solar, nível de  $\text{CO}_2$  no mesófilo, umidade relativa (déficit de pressão de vapor do ar), potencial hídrico, umidade do solo e outros, de menor magnitude, como vento, substâncias de crescimento e ritmos endógenos próprios de cada espécie (NILSEN e ORCUTT, 1996). O efeito da seca é muito variado e depende muito da intensidade de déficit de água no solo que a planta está submetida. Uma redução na condutância estomática afeta uma série de interações planta-ambiente, uma vez que os estômatos são pontos de controle de vapor d'água e balanço de energia entre o vegetal e o ambiente. Embora a redução na taxa de perda de água possa representar uma vantagem imediata para prevenir a desidratação do tecido, ela pode afetar diretamente o balanço de calor sensível sobre o vegetal, e ainda a absorção de  $\text{CO}_2$  e conseqüentemente a taxa fotossintética (BRUNINI e CARDOSO, 1998).

Em uma manhã ensolarada, quando há água abundante e a radiação solar incidente nas folhas favorece a atividade fotossintética, cresce a demanda por  $\text{CO}_2$  e os estomáticos se abrem, diminuindo a resistência estomática à difusão de  $\text{CO}_2$ . A perda de água por

transpiração é também substancial em tais condições, mas, uma vez que o suprimento hídrico é abundante, é vantajoso para a planta intercambiar a água por produtos da fotossíntese, essenciais ao crescimento e reprodução (KERBAURY, 2009). Por outro lado, quando a água do solo é menos abundante, os estômatos abrirão menos ou até mesmo permanecerão fechados em uma manhã ensolarada, evitando a perda de água por transpiração. Mantendo seus estômatos fechados sob condição de seca, a planta evita a desidratação.

## 2.6 EFEITO DA SECA NA FOTOSSÍNTESE

A água é um componente essencial na reação fotossintética. Escassez de água ou seca extrema na atmosfera e no solo criam um estresse hídrico que afeta a eficiência da reação fotossintética na planta. O estresse de umidade afeta a fotossíntese através de um grande número de mecanismos: por afetar o nível dos metabólitos intermediários, por inibir o sistema de transporte de elétrons fotossintéticos, por causar fechamento dos estômatos e por alterar a taxa de respiração.

Uma influência direta da disponibilidade de água na fotossíntese é através do impacto sobre a abertura estomática (MARENCO e LOPES, 2009). Como os estômatos fecham em resposta ao estresse, a resistência para a difusão do  $\text{CO}_2$  dentro das folhas aumenta. Assim, quando o estresse de umidade do solo aumenta a taxa fotossintética ótima é atingida em irradiâncias mais baixas; no entanto, quando o estresse de umidade do solo é baixo e com pouca demanda evaporativa da atmosfera a fotossíntese continua a aumentar mesmo em altas irradiâncias. Baixa umidade do ar reduz a fotossíntese, provavelmente devido à indução de rápida evaporação que reduz o turgor nas células guardas causando o fechamento dos estômatos.

## 2.7 ESPÉCIES BOTÂNICAS ESTUDADAS

### 2.7.1 Características gerais do mogno brasileiro

#### 2.7.1.1 Aspectos botânicos

O mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* (King)) é uma espécie nativa da região Amazônica pertencente à família Meliaceae, com uma larga aceitação no mercado nacional e internacional. Esta família pertence à ordem Sapindales (CRONQUIST, 1988), sendo composta de 51 gêneros e 550 espécies, quase todas lenhosas, nativas de regiões tropicais e subtropicais nos dois hemisférios terrestres (SIMMONDS, 2000). O mogno é comumente chamado de aguano, araputanga e mogno brasileiro (PINHEIRO, 2000). O mogno tem as seguintes propriedades físicas: massa específica básica (peso seco em estufa/volume verde) de  $0,45 \text{ kg/cm}^3$ , contração tangencial de 4,1%, contração radial de 3,0% e contração volumétrica de 7,8% (MELO et al, 1989).

#### 2.7.1.2 Distribuição geográfica e ocorrência natural

O mogno brasileiro apresenta ampla distribuição geográfica, estendendo-se desde a região tropical e subtropical da América, África e Ásia (COSTA, 2000). Desenvolve-se principalmente em zonas de transição, tais como: florestas subtropicais secas e florestas subtropicais úmidas (WHITMORE, 1988).

Na América Latina, o mogno ocorre no México passando pela costa atlântica da América Central, até o amplo arco Sul da Amazônia venezuelana, equatoriana, colombiana, peruana, boliviana e brasileira (LAMB, 1966; PENNINGTON et al., 1981).

No Brasil, o mogno ocorre em Florestas do Sul da região Amazônica (LAMB, 1966). De acordo com (BARROS et al, 1992; COSTA, 2000), o mogno ocorre em manchas naturalmente em sete estados do Brasil: Maranhão, Tocantins, Pará, Mato Grosso, Rondônia, Acre e parte sul do estado do Amazonas.

### 2.7.1.3 Características dendrológicas e fenológicas

O mogno apresenta árvores de grande porte com fuste retilíneo e cilíndrico e, geralmente a base do tronco apresenta expansões laterais (TEREZO, 1999). Estudos realizados na América Tropical mostraram que a altura do mogno varia de 20 a 30 m e o diâmetro a altura do peito (DAP) de 70 a 130 cm (LAMPRECHT, 1990; LORENZI, 1992).

As raízes do mogno são tabulares e as sapopemas podem atingir até 5 metros na base da tora (LAMB, 1966 e CHUDNOFF, 1979). Suas folhas são compostas escuras e lisas, penadas alternas com 25 a 45 cm de comprimento, com folíolos opostos contendo de 3 a 4 pares, e apresenta curtos períodos de caducifolia (LAMPRECHT, 1990; LORENZI, 1992). As flores de coloração creme-amareladas são inseridas em panículas de 15 a 25 cm de comprimento (LAMPRECHT, 1990). Lamb (1966) observou que em condições favoráveis, o mogno inicia seu ciclo reprodutivo a partir dos 12-15 anos de idade. Segundo o autor, a floração do mogno varia espacialmente e temporalmente, em termos estacionais, ocorrendo em estação seca na extensa área de distribuição natural. A estação seca, segundo Lamb (1966), favorece abertura dos frutos maduros de mogno e a dispersão de suas sementes aladas. Contudo, Lamprecht (1990) afirma que o mogno não tolera períodos longos de seca e nem geadas. Estudos sobre a fenologia desta meliácea mostram que os frutos do mogno amadurecem durante a estação chuvosa e caem durante a estação seca antes da floração reiniciar, ocorrendo à liberação de 45 a 60 sementes aladas (WHITMORE, 1988).

O fruto do mogno é uma baga ovulada, e constitui uma cápsula lenhosa, contendo de 12 a 14 sementes (LAMPRECHT, 1990; LORENZI, 1992). As sementes são aladas, com 6 a 13 cm de comprimento por 1,0 a 2,5 cm de largura, e são dispersas pelo vento. As plantas juvenis de mogno em ambientes naturais requerem radiação solar para se desenvolverem. Em ambiente de clareiras com solos ricos em nutrientes, por exemplo, o crescimento de plantas juvenis alcança entre 3,5 m de altura e 3 cm de diâmetro, devido às condições ideais de solo e de radiação solar (GROGAN, 2001).

## 2.7.2 Características gerais do jatobá

### 2.7.2.1 Aspectos botânicos

O jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), árvore pertencente à família Leguminosae (Fabaceae). É uma espécie heliófita, característica de floresta latifoliada semidecídua. Apresenta dispersão ampla e irregular, porém sempre em solos bem drenados. Atinge altura de 6 a 9 m e diâmetro do tronco de 30 a 50 cm. A madeira é muito dura e resistente e bastante comercializada. Os frutos têm grande valor alimentar para as comunidades rurais e para a fauna. Pode ser plantado desde a condição de bordas e clareiras até fechamento de dossel. Em razão dos frutos destas espécies serem muito procurados pela fauna, ela é extremamente útil nos plantios de áreas degradadas destinadas à recomposição da vegetação arbórea (LORENZI, 2002).

### 2.7.2.2 Distribuição geográfica e ocorrência natural

O jatobá ocorre naturalmente desde o Piauí até o Norte do Paraná. Pouco exigente em fertilidade e umidade do solo, as mudas desenvolvem-se em ambiente a pleno sol, não podendo faltar na composição de reflorestamentos heterogêneos e em programas de recuperação de áreas degradadas (FILHO et al., 2003).

### 2.7.2.3 Características dendrológicas e fenológicas

O jatobá apresenta sistema radicular geralmente grande e superficial. As folhas são pecioladas, bifoliadas e com disposição alterna; os folíolos são subsésseis, com disposição oposta e formato oblongo lanceolado e falciforme; a base é desigual; o ápice é atenuado a acuminado; a margem é inteira; a lâmina é lustrosa, glabra e coriácea; a nervura central é proeminente e as secundárias são planas na face abaxial. As flores são actinomorfas,

hermafroditas, unicarpelares e uniloculares, estando dispostas em panículas terminais; as 4 sépalas são verde-cremes; as 5 pétalas são brancas a creme-alaranjadas. O fruto é uma vagem indeiscente, lenhosa, glabra, oblonga a cilíndrica, que mede 8-15 cm de comprimento. As sementes, em número de 2 a 6 por fruto ou mais, apresentam formato obovóide a elipsóide, medem 1,8- 2,8cm de comprimento, 1,4-2,0cm de largura, 0,8-1,4cm de espessura e pesam 2,1-6,2g; o tegumento é pétreo, liso e pardo-claro a pardo-escuro. A plântula glabra apresenta cotilédones carnosos, sésseis e com disposição oposta; eófilos simples de disposição oposta, formato ovado, base reniforme assimétrica, ápice obtuso, margem inteira e coloração verde-escura; metáfilos bifoliolados com disposição alterna; folíolos elíptico-falcados, com base oblíqua, ápice acuminado, margem inteira e coloração verde-clara (FERREIRA e SAMPAIO, 2000; LOUREIRO et al 1979).

### **2.7.3 Características gerais do ipê-amarelo**

#### **2.7.3.1 Aspectos botânicos**

*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nicholson (Bignoniaceae), conhecida popularmente como ipê-amarelo é uma espécie arbórea que atinge de 5-25m de altura (FERREIRA et al., 2004). O ipê-amarelo possui interesse econômico madeireiro, ornamental e medicinal. A madeira é empregada em marcenaria, construções pesadas e estruturas externas, tanto civis quanto navais. A árvore é utilizada em paisagismo e arborização urbana, devido suas atrativas flores amarelas (FERREIRA et al., 2004).

#### **2.7.3.2 Distribuição geográfica e ocorrência natural**

No Brasil, estende-se da Amazônia e Nordeste até São Paulo. É uma espécie característica das florestas pluviais densas, desde o nível do mar até altitudes de 1200m, ocorrendo também em florestas secundárias e campinas (FERREIRA et al., 2004). É uma planta decídua, heliófita, característica da floresta pluvial densa, sendo também largamente

dispersa nas formações secundárias, como capoeiras e capoeirões; predominantemente em solos bem drenados situados nas encostas (LORENZI, 1992).

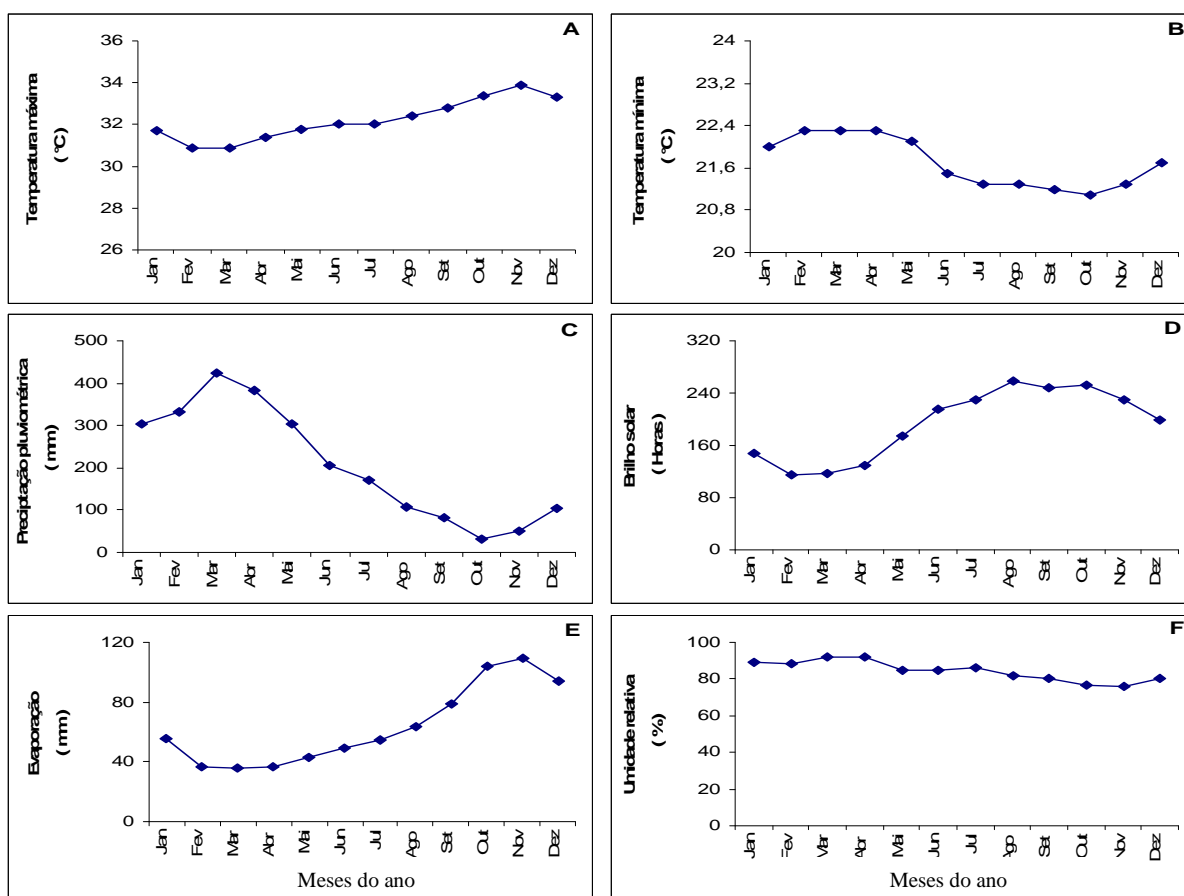
#### 2.7.3.3 Características dendrológicas e fenológicas

A floração ocorre durante ou logo após a queda completa das folhas, é sincronizada, rápida e anual. No Acre, a floração ocorre entre julho e agosto e a frutificação entre agosto e setembro (FERREIRA et al., 2004). As flores são hermafroditas e dispostas em inflorescências nas pontas dos ramos. O cálice e a corola, de coloração amarelo-dourada, apresentam estrutura tubular (LORENZI 1992). As flores atraem abelhas e pássaros, principalmente beija-flores, sendo que os principais polinizadores são as abelhas (CARVALHO, 2003). O fruto é uma vagem coriácea, deiscente. As sementes numerosas são leves e aladas e a dispersão é por anemocoria (FERREIRA et al., 2004).

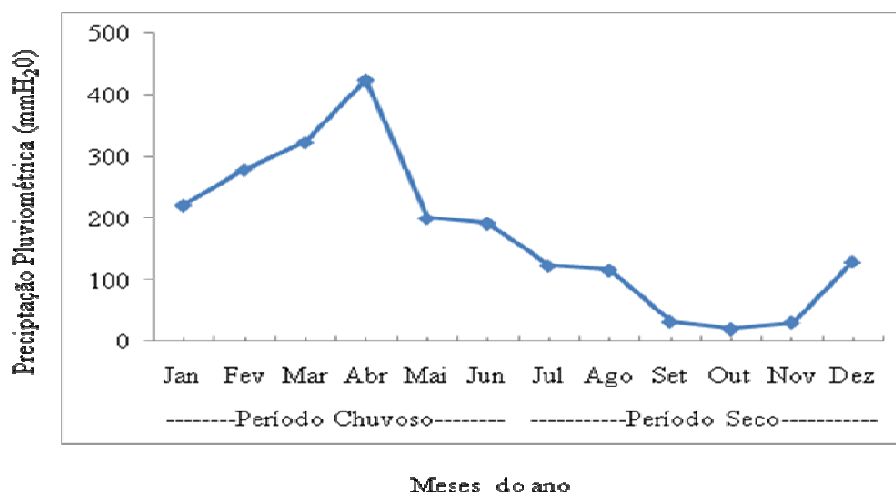
### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

O experimento foi conduzido em condições de campo no município de Igarapé-Açu (PA), (01 12'S, 47 36'W), Amazônia Oriental, no período de setembro de 2009 a dezembro de 2010. O clima da região é megatérmico úmido, do tipo Am, segundo a classificação de Köppen, com temperatura máxima e mínima média, respectivamente em torno de 32,2 e 21,7°C (Figura 1A e 1B). A precipitação anual é elevada e atinge 2499,3 mm (Figura 1C), com forte concentração de janeiro a junho e mais rara de julho a dezembro. O brilho solar anual permanece durante 2313,1 horas (Figura 1D) e a evaporação média anual em torno de 63,5 mm de H<sub>2</sub>O (Figura 1E). A umidade relativa do ar gira em torno de 84,33 % (Figura 1F).



**Figura 1:** Curso médio anual da temperatura máxima (A); temperatura mínima (B); precipitação pluviométrica (C), brilho solar (D), evaporação (E) e umidade relativa (F) no município de Igarapé-Açu, baseados na estação meteorológica da Embrapa Amazônia Oriental no período de 1994-2009.



**Figura 2:** Curso médio mensal da precipitação pluviométrica no município de Igarapé-Açu-PA, baseados na estação meteorológica da Embrapa Amazônia Oriental no ano de 2010.

Os dados de chuva foram fornecidos por um posto climatológico da Embrapa Amazônia Oriental, localizado a 800 m da área experimental. As maiores médias de precipitações pluviométricas no período chuvoso estiveram acima de 400 mm de H<sub>2</sub>O (Abril/2010), enquanto que as menores médias no período seco (outubro/2010) ficaram abaixo de 22 mm de H<sub>2</sub>O (Figura 2).



**Figura 3:** Visão geral do experimento em campo na Fazenda Escola, município de Igarapé-Açu - PA.

### 3.2 PREPARO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento abrangeu uma área de aproximadamente 0,48 hectares com início em setembro de 2009, quando então foi realizado o preparo da área. Este preparo foi parcialmente mecanizado e realizado com o auxílio de trator de rodas, grade aradora, roçadeira e coveador mecânico.

Inicialmente, foi realizada a roçagem mecanizada da cobertura vegetal, visando à eliminação das gramíneas e de espécies pioneiras resultante do processo de sucessão natural. Posteriormente, foram realizadas as seguintes atividades: destocamento, enleiramento e a queima de todos os resíduos lenhosos de maiores dimensões. Estas, três últimas atividades foram realizadas de forma manual. Após esta etapa foi realizado o balizamento manual, utilizando-se piquetes de madeira. Em seguida fizeram-se a abertura de covas com dimensão de 60 cm x 30 cm, com o auxílio de um coveador mecânico atrelado ao trator de rodas, obedecendo ao espaçamento único de 4 m x 4 m, totalizando 300 plantas (Figura 3).

O solo da área experimental foi descrito como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (EMBRAPA, 1999). Inicialmente foram coletados amostras do solo na camada 0-20cm de profundidade para caracterizar os atributos químicos e granulométricos por meio de análises efetuadas em laboratório do Departamento de Solos, pertencente a Embrapa Amazônia Oriental, segundo metodologia descrita pela Embrapa (1997). Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Atributos químicos e granulométricos de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico, textura média, coletado na camada de 0-20 cm, na Fazenda Escola, município de Igarapé-Açu – PA, 2009.

Atributos	Valores
pH em H <sub>2</sub> O	5,4
P (mg dm <sup>-3</sup> )	4
K (mg dm <sup>-3</sup> )	41
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,7
H + Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	5,45
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,3
MO (g kg <sup>-1</sup> )	8,26
N (%)	0,24
Ca + Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,2
Areia grossa (g kg <sup>-1</sup> )	282
Areia fina (g kg <sup>-1</sup> )	401
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	78
Argila total (g kg <sup>-1</sup> )	240

### 3.3 PLANTIO E TRATOS CULTURAIS

O plantio foi realizado em dezembro de 2009, quando as plantas tinham seis meses de idade e cerca de 60 cm de altura, arranjado no espaçamento único de 4 m x 4 m. A fertilização de pré-plantio foi realizada manualmente logo após a abertura das covas, por meio da utilização de esterco de ave (2 litros cova<sup>-1</sup>) e químico a base de fosfato natural Arad (300 g cova<sup>-1</sup>) e após 30 dias do plantio foi feita uma adubação de cobertura com 200 g cova<sup>-1</sup> com NK (20:00:30). Durante todo o período experimental procedeu-se aos tratos culturais como roçagem, coroamento e adubação de cobertura com 200g cova<sup>-1</sup> de NK (20:00:30) e de Sulfato de magnésio (15% ) (100 g cova<sup>-1</sup>), para diminuir o índice de plantas daninhas e reduzir a competição na área e favorecer o estabelecimento das espécies. Durante todo experimento, a irrigação será única e exclusivamente realizada pela precipitação local.

Foram utilizadas plantas jovens de mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* (King)), ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nicholson) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L) com seis meses de idade e cerca de 60 cm de altura, provenientes de sementes coletadas na Província Petrolífera do Rio Urucu, Base de Operações Geólogo Pedro de Moura “URUCU”, município de Coari-AM. As sementes foram coletadas em maio de 2009 em 19 áreas de clareiras: RUC 06, RUC 10, RUC 31, RUC 25, JAZ 97, JAZ 06, JAZ 21, JAZ 16, CL 10, CL 33, CL 11, CL 05, CL 04, SUC 03, SUC 02, SUC 01, LUC 29, LUC 39 e LUC 4. Após a coleta, as sementes foram acondicionadas em sacos de papel hermeticamente fechados e transportados para o Laboratório de Fisiologia Vegetal da UFRA, Belém-PA. Em seguida foram levados para a Fazenda Escola (FEIGA) da UFRA, no município de Igarapé-Açu- PA onde foram coletados para germinar.

### 3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental utilizado foi blocos ao acaso, arranjados em um esquema fatorial 3x2, constando de três espécies (*Swietenia macrophylla*, *Tabebuia serratifolia* e *Hymenaea courbaril*) e duas condições hídricas (período chuvoso e seco), com dez repetições. Cada bloco formado por três parcelas com vinte plantas de cada espécie, sendo

apenas duas plantas úteis. As demais plantas foram utilizadas para efeito de bordadura. Cada bloco conteve uma repetição de cada espécie. As variáveis de trocas gasosas, potencial hídrico e bioquímicas, determinadas ao longo do dia foram submetidas ao teste de médias com dez repetições  $\pm$  erro padrão da média, tomadas em dois dias diferentes. Os dados de trocas gasosas e potencial hídrico foliar antemanhã (4:30 h) e do xilema (12:00 h) foram submetidos à análise de variância, e quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Newman-Keuls a 5% de probabilidade (SAEG, 2007).

### 3.5 VARIÁVEIS AVALIADAS

#### 3.5.1 Variáveis biofísicas

As médias de temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) e umidade relativa do ar (UR) foram determinadas ao longo das medições de trocas gasosas, utilizando-se um termo-higrômetro (mod. 5203, Incoterm, RS, Brasil); o déficit de pressão de vapor d'água entre folha e atmosfera ( $DPV_{FA}$ ) foi estimado de acordo com Landsberg (1986), levando-se em conta a  $T_{ar}$ , UR e a temperatura da folha ( $T_{fol}$ ); a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi determinada por meio de um sensor quântico acoplado a um porômetro de estado estável.

A taxa de assimilação líquida de carbono ( $A$ ), transpiração ( $E$ ), condutância estomática ( $g_s$ ), razão da concentração interna e do ambiente de  $CO_2$  ( $C_i/C_a$ ) e a eficiência instantânea no uso da água, estimada pelo quociente entre  $A/E$  foram determinados pelo método descrito em Medina et al. (1998), utilizando um analisador portátil de  $CO_2$  por infra vermelho, IRGA (Li-6200, Licor Ltda., Lincoln, NE). Como amostra, foi selecionado um folíolo maduro do segundo par de folhas definitivas e completamente expandidas, contadas a partir do ápice. Para a caracterização da curva diária, as medições foram realizadas ao longo do dia, nos seguintes horários: 07:00-08:00 h, 09:00-10:00 h, 11:00-12:00 h, 13:00-14:00 h, 15:00-16:00 h, 17:00-18:00 h. As medições foram realizadas no período chuvoso (abril /2010) e seco (outubro/ 2010) (Figura 4).

O potencial hídrico ao longo do dia (potencial hídrico do xilema foliar,  $\Psi_x$ ), foi determinado nos mesmos horários das determinações de trocas gasosas, utilizando-se uma

Bomba de Pressão de Scholander (mod. Pms Instrument Co., Corvallis, USA), conforme descrito por Da Matta et al. (1993). À exceção do  $\Psi_{am}$ , utilizou-se como amostras os mesmos folíolos selecionados para a avaliação das trocas gasosas.



**Figura 4:** Medições das trocas gasosas do experimento em campo na Fazenda Escola, município de Igarapé-Açu – PA.

A partir destas curvas, as medidas de trocas gasosas foram feitas durante um ano (janeiro a dezembro de 2010) no período entre 8:30h e 10:30h, horários estes escolhidos pela média da fotossíntese máxima das três espécies, utilizando uma fonte luminosa fixa em  $1150 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  de radiação fotossinteticamente ativa.

O potencial hídrico foi determinado na antemãhã ( $\Psi_{am}$ ), entre 4:30 e 5:30 h, enquanto que o potencial hídrico do xilema foliar ( $\Psi_x$ ) foi determinado as 12:00 h. A partir dos dados de condutância estomática ( $g_s$ ), déficit de pressão de vapor d'água entre a folha e a atmosfera ( $\text{DPV}_{FA}$ ) potencial hídrico para horário ( $\Psi_x$ ), a condutividade hidráulica ( $K_L$ ) foi calculada utilizando-se a seguinte fórmula  $K_L = (g_s \times \text{DPV}_{FA}) / (\Psi_{am} - \Psi_x)$ , segundo Hubbard et al. (1999) e Donovan et al. (2000).

### 3.5.2 Variáveis bioquímicas

Amostras para a determinação dos teores foliares de sacarose, prolina, carboidratos solúveis totais, aminoácidos solúveis totais, amido, proteínas solúveis e glicina-betaína, foram coletadas a partir de folíolos completamente maduros, do segundo par de folhas definitivas e completamente expandidas contadas a partir do ápice. Os folíolos foram destacados das plantas nos mesmos horários em que foram conduzidas as medições de trocas gasosas e imediatamente acondicionados em sacos de papel e levados à estufa de ventilação forçada para completa secagem, a qual foi realizada a 72 °C, por 72 h. Após a secagem, os mesmos foram triturados a pó fino e armazenados em frascos hermeticamente fechados encerrados em um dessecador até o momento da análise.

Os teores de sacarose foram determinados utilizando-se o método proposto por Van Handel (1968). Para a extração, amostras de 30 mg de massa seca foliar foram homogeneizadas em 1,5 mL de solução de MCW (metanol, clorofórmio e água; 12:5: 3v/v/v), durante 30 minutos, e posteriormente centrifugada a 3500 rpm, por 30min, à temperatura ambiente. Após a coleta do sobrenadante, reservado em um tubo de ensaio em separado, uma extração do resíduo resultante foi realizada, seguindo as mesmas condições supracitadas. O novo sobrenadante foi coletado e reunido ao primeiro. Em seguida, realizou-se a separação de fases do solvente extrator, de modo que a cada 2,0 mL do extrato final foram adicionados 0,5 mL de clorofórmio e 0,75 mL de água destilada. A mistura foi submetida à centrifugação a 2000 rpm, por 10 min. Das fases resultantes, coletou-se a fração aquosa metanólica (superior), transferindo-se a mesma para tubos de ensaio com rosca e submetendo-os a incubação em banho-maria a 35°C, por 40 min, para a evaporação do clorofórmio residual. A quantificação das amostras foi realizada tomando-se alíquotas de 0,1 mL das mesmas e adicionando 0,1 mL de KOH 30%. Após vigorosa agitação, a mistura foi aquecida a 100°C por 10 min e, após resfriamento, foi imediatamente adicionado 3,0 mL de solução de antrona 0,2%, em ácido sulfúrico concentrado. A mistura foi agitada e incubada a 40 °C, por 20 min. Após resfriamento, obteve-se a absorvância das mesmas, a 620 nm, utilizando-se um espectrofotômetro UV-Visível (mod. Genesys<sup>TM</sup> 10series, Marca Thermo Electron Corporation, Wisconsin, USA). Para os cálculos, uma curva padrão de sacarose foi preparada e os resultados foram expressos em mg de sacarose/ g Matéria Seca (MS).

Os teores de prolina foram determinados de acordo com Bates et al. (1973). A extração foi realizada a quente (em banho-maria a 100 °C, por 30 min), homogeneizando amostras de 50 mg do material vegetal seco em 5 mL de água destilada. Após centrifugação a 1000 rpm, por 20 min, o sobrenadante foi coletado e deste utilizado uma alíquota de 1 mL para a quantificação de prolina. Para esta operação, foi adicionado 1 mL de ninhidrina ácida e 1 mL de ácido acético glacial (99,5%), seguindo-se de agitação e incubação a 100 °C, por 1 h. Após o desenvolvimento da cor, as mostras foram resfriadas em banho de gelo, sendo adicionadas às mesmas 2 mL de tolueno para a separação das fases. Desprezando a fase incolor, a leitura das amostras da fração contendo grupo cromóforo foi realizada em espectrofotômetro UV-Visível (mod. Genesys<sup>TM</sup> 10series, Marca Thermo Electron Corporation, Wisconsin, USA), a 520nm. A concentração de prolina foi determinada por meio de uma curva de calibração de prolina e o resultado expresso em  $\mu\text{mol prolina/g MS}$ .

Os carboidratos solúveis totais foram extraídos a quente (30 min a 100 °C), em amostras de 50 mg de matéria seca homogeneizadas em 5 mL de água destilada. As amostras foram centrifugadas a 2000 rpm, por 10 min, e o sobrenadante coletado para a obtenção do extrato total. Deste, foram tomadas alíquotas de 20  $\mu\text{L}$  por amostra e a elas adicionadas 480  $\mu\text{L}$  de água destilada e 500  $\mu\text{L}$  de fenol 5%. Após vigorosa agitação, foi adicionado, de maneira uniforme e de uma única vez no centro do tubo, 2,5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado. Os tubos foram agitados e após 20 min de repouso à temperatura ambiente obteve-se a absorvância da amostra a 490 nm (DUBOIS et al., 1956). Para os cálculos foi utilizada curva-padrão de glicose e os resultados expressos em  $\text{mmol glicose g}^{-1} \text{MS}$ .

As proteínas solúveis totais foram extraídas do resíduo resultante da extração dos carboidratos solúveis foi adicionado 5 mL de NaOH a 0,1 N, para a extração dos TPS. Em seguida foi misturado e centrifugado a uma mesma rotação e tempo utilizados para carboidratos. Uma nova extração com 5 mL de NaOH a 0,1% e centrifugação foram realizados. Do sobrenadante, foram retirados 0,1 mL e acrescentado 5 mL do reagente de Bradford. (100mg de Comassie Blue/50mL de etanol 95%). Após 15 min foi feita a leitura em um espectrofotômetro Micronal modelo B442 no comprimento de onda de 595 nm (BRADFORD, 1976).

Para os teores de glicina-betaína foram retiradas amostras de 25 mg de massa seca liofilizada foi colocada no shacker a 25° C (extração a frio); centrifugar a 10000 rpm por 10 min a 25° C; o sobrenadante para obtenção do extrato aquoso. Em eppendorfs de 2 ml foi

adicionado 250  $\mu\text{L}$  do extrato aquoso + 250  $\mu\text{L}$  de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2 N ( diluição da amostra 1:2); os eppendorfs devem permanecer durante 1 hora no banho de gelo ( na geladeira – de 0° C a 4° C); em seguida, adicionar 200  $\mu\text{L}$  de  $\text{KI-I}_2$  gelado; manter durante 16 horas a 0° C (banho de gelo na geladeira – de 0° C a 4° C); centrifugar durante 15 min, 10000 rpm, 0° C. Descartar o sobrenadante; lavar o precipitado 2 vezes com 2 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1n gelado com centrifugações por 5 min, 10000 rpm, 0°C a cada lavagem ( não agitar enquanto estiver lavando); após as lavagens, dissolver o precipitado em 3 ml de 1,2-dicloroetano agitando vigorosamente; realizar diluições 1:6 (diluição para a curva) ou testar outras maiores (1:12, 1:24, ou 1:48 para as amostras- a diluição vai depender da quantidade de glicina-betaína precipitada); após 2 a 2,5 hora de descanso, realizar a leitura em espectrofotômetro (GRIEVE e GRATAN, 1983).

Para a extração do amido, amostras de 50 mg de matéria seca foliar, homogeneizadas em 5,0mL de etanol 80%, foram incubadas em banho-maria, por 30 min, a 80 °C. Após centrifugação por 10 min, a 2000 rpm, o sobrenadante foi coletado e reservado em um novo tubo. Do resíduo da extração etanólica procedeu-se nova extração, porém, utilizando-se 5,0 mL de  $\text{HClO}_4$  30%, seguindo de incubação a 25 °C, por 30 min. Uma nova centrifugação similar a anterior foi realizada e o novo sobrenadante foi coletado e reunido ao primeiro, sendo o volume final ajustado para 10 mL com água destilada. Em seguida, alíquotas de 20  $\mu\text{L}$  do extrato final foram misturadas a 480  $\mu\text{L}$  de água destilada e submetidos à agitação por 15 min. Foi adicionado 0,5 mL de fenol 5%, procedendo-se nova agitação por igual tempo. Por fim, foi adicionado, de uma única vez no centro do tubo, 2,5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, seguindo-se de agitação vigorosa por 15 min. Após repouso por 20 min, à temperatura ambiente, a absorvância das amostras foi obtida a 490 nm (DUBOIS et al., 1956). Para a quantificação do amido foi utilizada uma curva padrão de glicose e os resultados expressos em  $\mu\text{g}$  glicose/ g MS.

Para quantificação de aminoácidos solúveis totais foram utilizados 30 mg de massa seca foliar, adicionou-se 15 mL de água destilada seguido de incubação por 30 min a 100°C. Após centrifugação a 1000 rpm por 10 min para obtenção do extrato total. Em seguida alíquotas de 30  $\mu\text{L}$  do extrato e foram misturados a 470  $\mu\text{L}$  de água destilada. Em seguida acrescentou-se 250  $\mu\text{L}$  do tampão citrato (0,2 M e pH 5,0) e 250  $\mu\text{L}$  do reagente ninhidrina. Seguindo-se de agitação por 10 min e uma nova incubação por 15 min. a 100°C. Os tubos foram resfriados e adicionado 1,5 mL de etanol 50% e após 20 min de repouso, à temperatura ambiente, a absorvância das amostras foi obtida a 570 nm (PEOPLES et al., 1989). Para a

quantificação de açúcares solúveis totais foi utilizada uma curva padrão de glutamina e os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol}$  de AA/ g MS.

### **3.5.3 Crescimento**

Foram determinados a altura das plantas (AP) e o diâmetro do ramo principal (DRP). A AP foi obtida por meio de medição direta do ramo principal, utilizando-se uma trena fixada em régua de madeira, na região compreendida entre o coleto e o meristema apical. O DRP foi obtido com o uso de um paquímetro digital, a partir da média de três determinações de diâmetro tomadas ao longo do ramo principal (base, porção mediana e região apical). Estas determinações foram realizadas no período de janeiro a dezembro de 2010, antes da avaliação das demais variáveis descritas acima.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias das variáveis ambientais, tomadas para um mesmo período, foram relativamente constantes, indicando que as determinações das variáveis biofísicas foram realizadas sob as mesmas condições. Assim, no período chuvoso, a umidade relativa do ar (UR) variou em média de 61,95% a 89,2% (Figura 5A), enquanto que no período seco, variou de 56,5% a 86 % (Figura 5B). A temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) no período chuvoso variou de 27°C a 35,1°C (Figura 5C) e a temperatura foliar ( $T_{fol}$ ) variou de 29,5°C a 39,3°C (Figura 5E), sendo estes valores máximos no horário de maior radiação solar (13 horas). No período seco, a  $T_{ar}$  variou de 26,2°C a 36,2°C (Figura 5D) e a  $T_{fol}$  variou de 31,1°C a 40,1°C (Figura 5F).

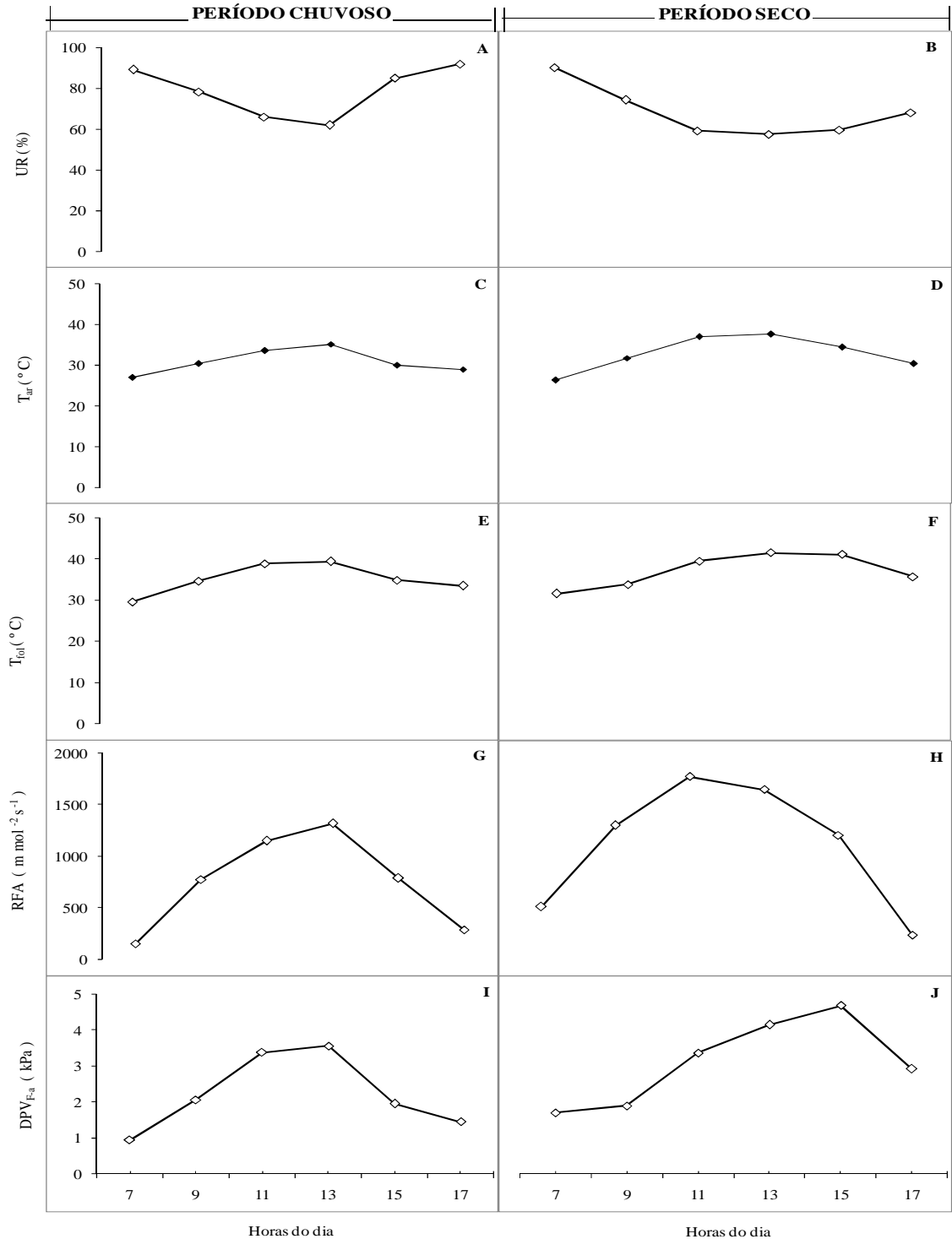
No período chuvoso, a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) variou de 151,05  $\mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a 1317,8  $\mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (Figura 5G), e de 326,6  $\mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a 1698,6  $\mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , no período seco (Figura 5H). O déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar ( $\text{DPV}_{FA}$ ), no período chuvoso, variou de 0,94 KPa a 3,56 Kpa (Figura 5I), enquanto que no período seco, variou de 1,58 KPa a 4,38 Kpa (Figura 5J). Assim, podemos inferir que a oscilação de RFA ocorridas ao longo do dia deveu-se a nebulosidade do ambiente, atingindo os valores próximos de 1400  $\mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (13 horas), no período chuvoso e de 1700  $\mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (11 horas), no período seco. Pode-se observar nas Figuras 5 (I e J) que a variação do  $\text{DPV}_{FA}$  ser uma variável que depende tanto da umidade e temperatura do ar como da temperatura da folha, o que corrobora com os relatos de Marengo e Lopes (2005).

Foi observado que no período chuvoso, o potencial hídrico do xilema foliar ( $\Psi_x$ ) variou de -0,4; -0,3 e -0,26 MPa (7:00 h) a -1,03; -0,85 e -0,85 MPa (11:00 h), para as plantas de mogno brasileiro, jatobá e ipê- amarelo (Figuras 6A,7A e 8A), respectivamente. No período seco, o  $\Psi_x$  variou de -1,28; -1,14 e -1,29 MPa (7:00 h) a -3,49; -2,99 e -2,72 MPa (13:00 h) para as plantas de mogno brasileiro, jatobá e ipê-amarelo (Figuras 6B,7B e 8B), respectivamente. Resultados equivalentes foram observados com *S. macrophylla* no campus Pampunha (UFMG) na estação seca, observam-se no decorrer do dia valores de  $\Psi_w$  inferiores a -3 Mpa (SILVA e FILHO, 2001). Lima (1993) não encontrou diferenças no  $\Psi_w$  em mudas de *Eucalyptus grandis* cultivadas em vasos sob déficit hídrico, atribuindo tal comportamento à eficiência do ajuste estomático. Liberato et al. (2006) verificou reduções no potencial

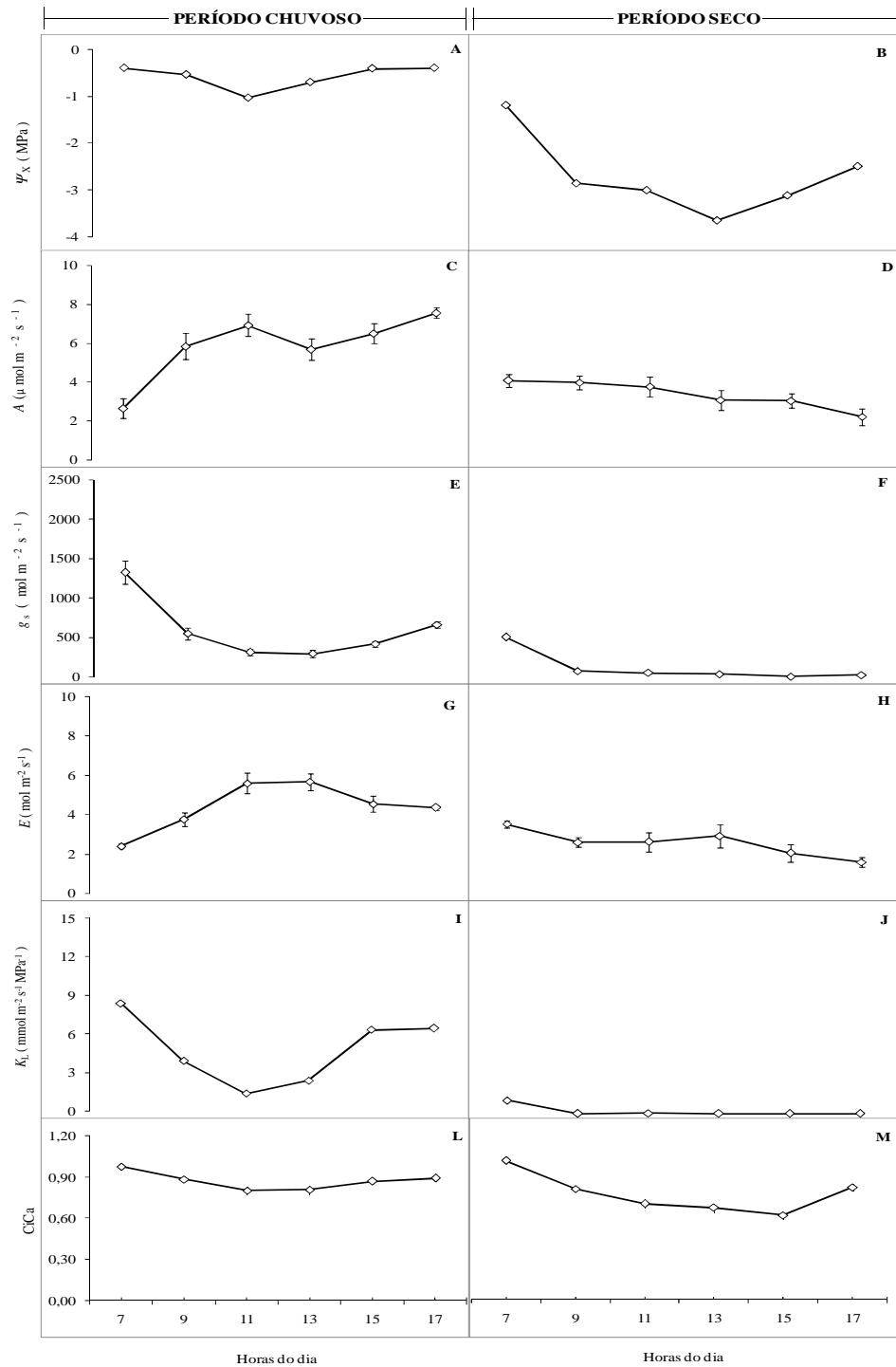
hídrico de até 70% em plantas de acariquara (*Minquartia guianensis* Aubl.) estressadas (sem irrigação) comparadas com plantas irrigadas diariamente.

As taxas de assimilação líquida de carbono (A) variaram ao longo do dia, no período chuvoso de 2,64  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a 6,92  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (mogno brasileiro), 3,43  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a 8,84  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (jatobá) e 4,82  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a 9,46  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (ipê-amarelo) (Figuras 6C, 7C e 8C), respectivamente, enquanto que no período seco, esta variação foi de 2,68  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a 4,76  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (mogno brasileiro), 3,24  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a 6,78  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (jatobá) e 2,75  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a 4,45  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  (ipê-amarelo) (Figuras 6 D, 7D e 8D), respectivamente.

A diminuição da fotossíntese (A) no horário das 13 horas, observada no período chuvoso para o mogno brasileiro (Figura 5C), pode ser atribuída à fotoinibição ou a redução da condutância estomática (DIAS e MARENCO, 2006). A primeira hipótese parece improvável porque o RFA observada durante a maior parte do dia (menos de 1000  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) foi menor do que a requerida para saturar a fotossíntese em espécies de crescimento de crescimento rápido aclimatadas ao sol, tais como *Swietenia macrophylla*, *Ochroma pyramidale* e *Cedrela odorata* (MARENCO et al., 2001; MARRUYAMA et al., 2005). Portanto, a queda da condutância estomática parece ser a causa mais provável da redução da fotossíntese no horário das 13 horas. Resultados equivalentes foram encontrados por Tatagiba et al (2007), que analisando os clones 15 e 39 de eucalipto observaram que na época seca a fotossíntese foi reduzida em relação à época chuvosa em todos os horários ao longo do dia para ambos os clones, devido à ocorrência do déficit hídrico no solo. Às 8 horas da manhã durante a época seca os clones apresentaram máxima assimilação de  $\text{CO}_2$ , com 17,12  $\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  para o clone 15 e 21,14  $\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  para o clone 39, reduzindo-se a partir deste horário até o entardecer. Na época chuvosa os clones 15 e 39, apresentaram maiores valores das taxas fotossintéticas também às 8 horas com 23,90 e 22,97  $\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , respectivamente, enquanto os menores valores foram encontrado às 12:00 horas para o clone 15 com 19,82  $\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  e às 16 horas para o clone 39 com 19,47  $\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ .



**Figura 5:** Curso diurno da umidade relativa do ar (A e B), temperatura do ar (C e D), temperatura foliar (E e F), radiação fotossinteticamente ativa (G e H) e déficit de pressão e vapor entre folha e atmosfera (I e J) em plantas jovens de *Swietenia macrophylla*, *Hymenaea courbaril* e *Tabebuia serratifolia* cultivadas em condições de campo nos períodos seco e chuvoso. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\pm$  erro padrão da média, tomadas em dois dias diferentes.



**Figura 6:** Curso diurno do potencial hídrico do xilema foliar (A e B), taxa de assimilação líquida de carbono (C e D), condutância estomática (E e F), transpiração (G e H), condutividade hidráulica (I e J) e razão entre a concentração interna e ambiente de  $\text{CO}_2$  (L e M) em plantas jovens de *Swietenia macrophylla* cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\pm$  erro padrão da média, tomadas em dois dias diferentes.

O decréscimo da condutância estomática das plantas de mogno brasileiro, jatobá e ipê-amarelo (Figura 6 E, 7E e 8E), respectivamente, ao longo do dia nos dois períodos (chuvoso e seco) pode ser devido ao aumento do  $DPV_{FA}$ , à diminuição do potencial hídrico foliar ou à combinação de ambos os fatores, sem excluir o efeito da irradiância. Com relação aos efeitos do  $\Psi_w$  e  $DPV_{FA}$ , ainda não é claro se a condutância estomática é mais responsiva ao  $\Psi_w$ , atuando como um mecanismo de retroalimentação ou *feedback*) ou se  $g_s$ , responde mais rapidamente à variação da umidade do ar (que determina o  $DPV_{FA}$ ) como um mecanismo de resposta antecipada (*feedward*, para evitar a perda excessiva de água (RASCHKE, 1979).

Com relação às oscilações diurnas obtidas em  $g_s$  estas variações estão de acordo com Passos et al. (2005) que em *Cocus nucifera* (L.) observaram que os valores de condutância estomática foram maiores nos horários da manhã, o que sugerem um efeito do  $\Psi_w$  na condutância estomática. Os resultados observados para o mogno, jatobá e ipê-amarelo (Figuras 6E, 7E e 8E), respectivamente, concordam com os relatos de Cascardo et. (1993) que também constataram em (*Hevea brasiliensis*, Muell.) que a condutância estomática é máxima quando o teor de água da folha é alto, o que ocorre nas primeiras horas da manhã, quando a folha não perdeu muita água por transpiração.

A variação diurna do potencial hídrico do xilema foliar ( $\Psi_w$ ) observando neste estudo está de acordo aos relatos por outros pesquisadores (PEREZ e MORAIS, 1991; NAVES-BARBIERO et al, 2000). Por exemplo, em *Erythroxylum suberosum* (St.) os valores do  $\Psi_w$  diminuem até atingir um mínimo próximo das 14:00 h, observando-se reidratação da folha ao final da tarde (PEREZ e MORAIS, 1991). Também em *Rapanea guianensis* (Lam.) e *Roupala Montana* (Aubl.), o potencial hídrico foliar é máximo pela manhã, mas diminui até atingir valores mínimos entre 13:00 e 15:00 h, aumentando a turgidez da folha ao final da tarde (NAVES-BARBIERO et al., 2000).

Com relação à transpiração ( $E$ ), plantas jovens de mogno brasileiro variaram no período chuvoso de ( $2,39 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a  $5,65 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ), jatobá ( $2,27 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a  $7,23 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) e ipê-amarelo ( $2,42 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a  $6,96 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) (Figuras 6G, 7G e 8G), respectivamente, enquanto que no período seco a  $E$  para o mogno variaram ( $1,65 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a  $3,44 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ), jatobá ( $2,01 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a  $5,23 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) e ipê-amarelo ( $2,04 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  a  $3,78 \text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) (Figuras 6H, 7H e 8H), respectivamente. De forma geral, as plantas do experimento nos períodos em estudo transpiram mais no horário de 7 horas, ou seja, no início da manhã. Prado et al (1994) verificaram reduções na taxa de transpiração em plantas de

*Copaifera langsdorfii*, espécie arbórea do cerrado, quando submetidas a déficit hídrico. Resultados semelhantes foram encontrados em *C. canephora*, Da Matta et al. (2003) observaram que o déficit hídrico resultou em decréscimos de aproximadamente 50% em  $g_s$ , em paralelo a reduções de mesma magnitude na taxa de transpiração ( $E$ ). Decréscimo em  $g_s$  foi também observada em árvores de eucalipto quando estas foram submetidas a déficit hídrico inferior a 30% da capacidade de campo (ALMEIDA E SOARES, 2003), ou após 25 e 57 dias sob condições de déficit moderado (PITA e PARDOS, 2001).

Em plantas jovens de eucalipto, Chaves et al. (2004) observaram que os clones 1250 e 1260 apresentaram menor  $g_s$  e menor  $E$ , quando submetidos a déficit hídrico. Nos clones 15 e 39 de Eucalipto, Tatagiba et al (2007) observaram que a transpiração foi maior durante a época chuvosa em relação a época seca ao longo dos horários das medições realizadas para os dois clones. As máximas transpirações nos clones ocorreram em diferentes horários durante a época seca. O clone 15 registrou maior perda de água na folha às 12 horas, com  $3,12 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , enquanto o clone 39 às 10 horas apresentava  $5,96 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . Na época chuvosa os horários de máximas transpirações inverteram-se entre os clones, apresentando o clone 15 às 10 horas valores de  $6,68 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , e o clone 39 registrando às 12 horas,  $8,36 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ . O comportamento diário da  $E$  das plantas jovens de mogno sob constante irrigação por um período de vinte dias tiveram valores de  $E$  variando de  $1,34 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  a  $9,46 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , sendo máximo às 13:00 h e mínimos ao início da manhã (7:00 h) e ao final da tarde (17:00 h), enquanto que plantas sob déficit hídrico cujos valores variaram entre  $0,34 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  a  $1,61 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (CORDEIRO et al, 2009).

Podemos inferir que razão entre a concentração interna e ambiente ( $C_i/C_a$ ) de plantas jovens de mogno, jatobá e ipê- amarelo, sofreram pequenas variações no decorrer do dia, apresentando valores máximos no início da manhã tanto no período chuvoso (Figuras 6L, 7L e 8L) e no período seco (Figuras 6M, 7M E 8M), respectivamente, fato que pode ser explicado pela condutância estomática, que absorveu  $\text{CO}_2$  do meio externo devido ao aumento da abertura estomática. Portanto, as plantas quando apresentaram reduções no potencial hídrico no curso diurno, também restringiram a entrada de  $\text{CO}_2$ , devido ao fechamento estomático e como consequência uma redução na  $C_i$ , demonstrando a interdependência entre assimilação de  $\text{CO}_2$  e consumo de água (LARCHER, 2006). Lima et al. (2003), analisando as trocas gasosas em cinco espécies de *Eucalyptus* (*E. grandis*, *E. urophylla*, *E. camaldulenses*, *E. torelliana* e *E. pharotrica*), submetidas ao aumento na concentração de  $\text{CO}_2$  e a interação

com o estresse hídrico, observaram que as taxas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração apresentaram comportamento diferenciado entre as espécies nas plantas submetidas ao déficit hídrico.

A correlação entre  $g_s$  e  $\Psi_w$  foi positiva e altamente significativa para todas as espécies em estudo, porém relativamente baixa no período chuvoso e relativamente alta, no período seco (Tabela 2). Uma relação similar, porém negativa, também foi observada entre a fotossíntese ( $A$ ) e condutância estomática ( $g_s$ ) no período chuvoso em *Swietenia macrophylla* e *Hymenaea courbaril*. Entretanto, no período seco, essa correlação foi positiva e altamente significativa, porém baixa, para *Swietenia macrophylla* e *Tabebuia serratifolia*. A baixa correlação entre  $g_s \times \Psi_w$  e  $A \times g_s$  no período chuvoso, confirma que tanto a fotossíntese como a condutância estomática são variáveis da planta que respondem simultaneamente a um conjunto de fatores que se integram de forma coordenada, mas altamente complexa. Desse modo, não é surpreendente encontrar uma baixa correlação entre  $A$  e  $g_s$  em condições naturais de luminosidade e umidade do ar.

Por outro lado, uma baixa correlação entre fotossíntese e condutância estomática pode indicar ausência de uniformidade na abertura estomática (manchas aromáticas), conforme mostrado por Marengo et al (2006), tornando complexa e não linear a relação entre  $A$  e  $g_s$  (POSPISILOVA e SANTRUCEK, 1994).

Para o mogno e o ipê amarelo, as altas taxas de transpiração foram compensadas, pelo menos em partes, pela alta condutividade hidráulica; variáveis estas que apresentaram um alto e significativo coeficiente de correlação entre si (Tabela 2). Esta afirmativa pode ser confirmada pelo baixo coeficiente de correlação entre  $g_s \times E$  para essas plantas (Tabela 2). Embora não seja uma resposta comum, a ausência de fechamento estomático sob alta demanda evaporativa pode ser observada para algumas espécies. Em oliveira (*Olea europaea* L.), por exemplo, nem sempre o aumento na demanda evaporativa implica em diminuição de  $g_s$  (FERNANDEZ et al., 1997; GIORIO et al., 1999). Isto acontece também em plantas de *Prunus dulcis* durante o período seco do ano (ROMERO e BOTÍA, 2006). Em ambos os casos, o fechamento estomático pareceu estar mais associado às alterações no potencial hídrico do solo e a fatores endógenos à planta (sinais químicos) que às variações no  $DPV_{FA}$  (GIORIO et al., 1999; MORIANA et al., 2002; TOGNETTI et al., 2004; ROMERO e BOTÍA, 2006). De fato, as variações em  $g_s$  apresentadas pelas plantas deste experimento correlacionaram-se fortemente a  $K_L$  e ao  $\Psi_w$  (Tabela 2). Corroborando, Oliveira et al (2002)

trabalhando com pupunheira, observaram reduções significativas em  $g_s$ , quando o potencial da água era de 1,5 Mpa, estando a umidade em torno de 27%.

As análises das taxas de assimilação líquida de carbono, condutância estomática, transpiração, condutividade hidráulica e razão entre a concentração interna e ambiente de  $CO_2$  apresentaram reduções médios de 32,36%, 74,34%, 41,78%, 94,62% e 19,90% (mogno), 30,64%, 60,17%, 13,01%, 91,50% e 11,52% (jatobá) e 41,50%, 71,33%, 30,94%, 94,39% e 12,87% (ipê-amarelo), do período seco em relação ao período chuvoso (Figuras 9A, 9B, 9C, 9D e 9E), respectivamente, apresentando diferenças estatísticas entre os períodos. Com exceção de plantas jovens de jatobá, que a razão entre a concentração interna e ambiente de  $CO_2$ , entre os períodos, não apresentaram diferenças estatísticas. Romero e Botia (2006) avaliaram os cursos diários e sazonais das relações hídricas e trocas gasosas em amendoeiras (*Prunus dulcis*) sob diferentes regimes de irrigação e mostraram que tanto as relações hídricas quanto o comportamento estomático foram significativamente alterados pelo regime hídrico, alterando, por conseguinte, todas as variáveis biofísicas.

Valores médios de  $A$  e  $E$  diferiram estatisticamente entre os períodos (chuvoso e seco) para todas as espécies em estudo (Tabela 3). No entanto, estas espécies não diferiram estatisticamente em relação à eficiência do uso da água (EUA), devido principalmente a fotossíntese líquida apresentar valores proporcionais próximos ao da transpiração nos dois períodos estudados.

**Tabela 2:** Coeficiente de correlação de Pearson entre taxa de assimilação líquida de carbono ( $A$ ), a condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ), condutividade hidráulica ( $K_L$ ) e potencial hídrico do xilema ( $\Psi_x$ ) em plantas jovens de *Swietenia macrophylla*, *Hymenaea courbaril* e *Tabebuia* cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco. Para as análises foram utilizadas 60 observações (n).

bVariáveis	Período chuvoso			Período seco		
	<i>S.</i>	<i>H.</i>	<i>T.</i>	<i>S.</i>	<i>H.</i>	<i>T.</i>
	<i>macrophylla</i>	<i>courbaril</i>	<i>serratifolia</i>	<i>macrophylla</i>	<i>courbaril</i>	<i>serratifolia</i>
$A \times g_s$	-0,438***	-0,408***	-0,141 <sup>NS</sup>	0,432***	-0,033 <sup>NS</sup>	0,306**
$A \times E$	0,477***	0,609***	0,562***	0,750***	0,430***	0,402***
$A \times K_L$	-0,143 <sup>NS</sup>	-0,170 <sup>NS</sup>	-0,106 <sup>NS</sup>	0,349**	-0,226*	0,257*
$A \times \Psi_w$	-0,111 <sup>NS</sup>	-0,139 <sup>NS</sup>	-0,227*	0,116 <sup>NS</sup>	-0,407***	0,020 <sup>NS</sup>
$g_s \times E$	-0,364**	-0,356**	-0,229*	0,445***	0,002 <sup>NS</sup>	0,347**
$g_s \times K_L$	0,657***	0,754***	0,818***	0,939***	0,869***	0,952***
$g_s \times \Psi_w$	0,457***	0,380**	0,396***	0,732***	0,554***	0,669***
$E \times K_L$	-0,069 <sup>NS</sup>	-0,321**	-0,227*	0,431***	0,043 <sup>NS</sup>	0,331**
$E \times \Psi_w$	-0,322**	-0,625***	-0,635***	0,107 <sup>NS</sup>	-0,395***	-0,066 <sup>NS</sup>

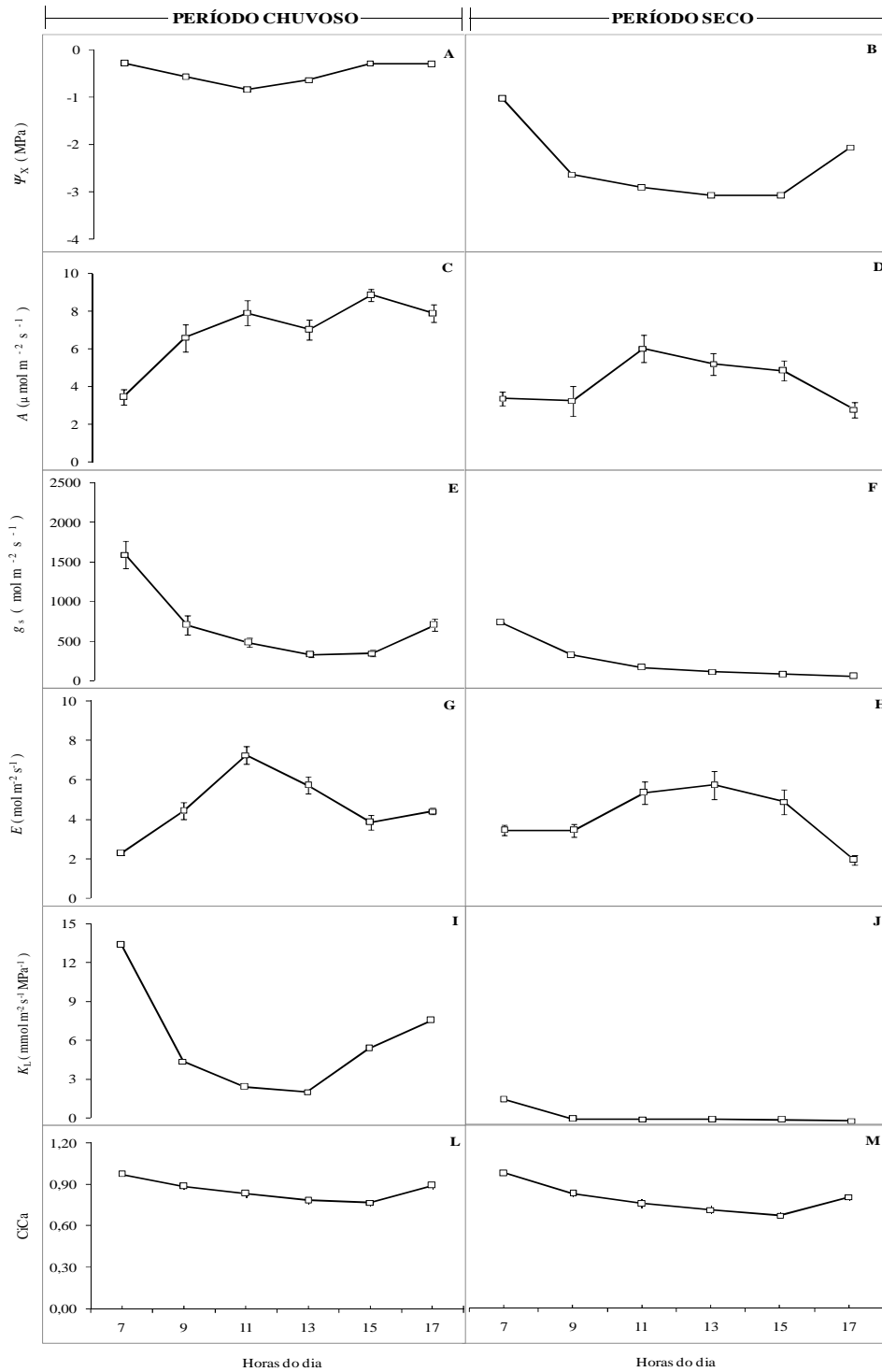
<sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F ( $P > 0,05$ ), \* Significativo pelo teste F ( $P < 0,05$ ), \*\* Significativo pelo teste F ( $P < 0,01$ )

\*\*\* Significativo pelo teste F ( $P < 0,001$ ).

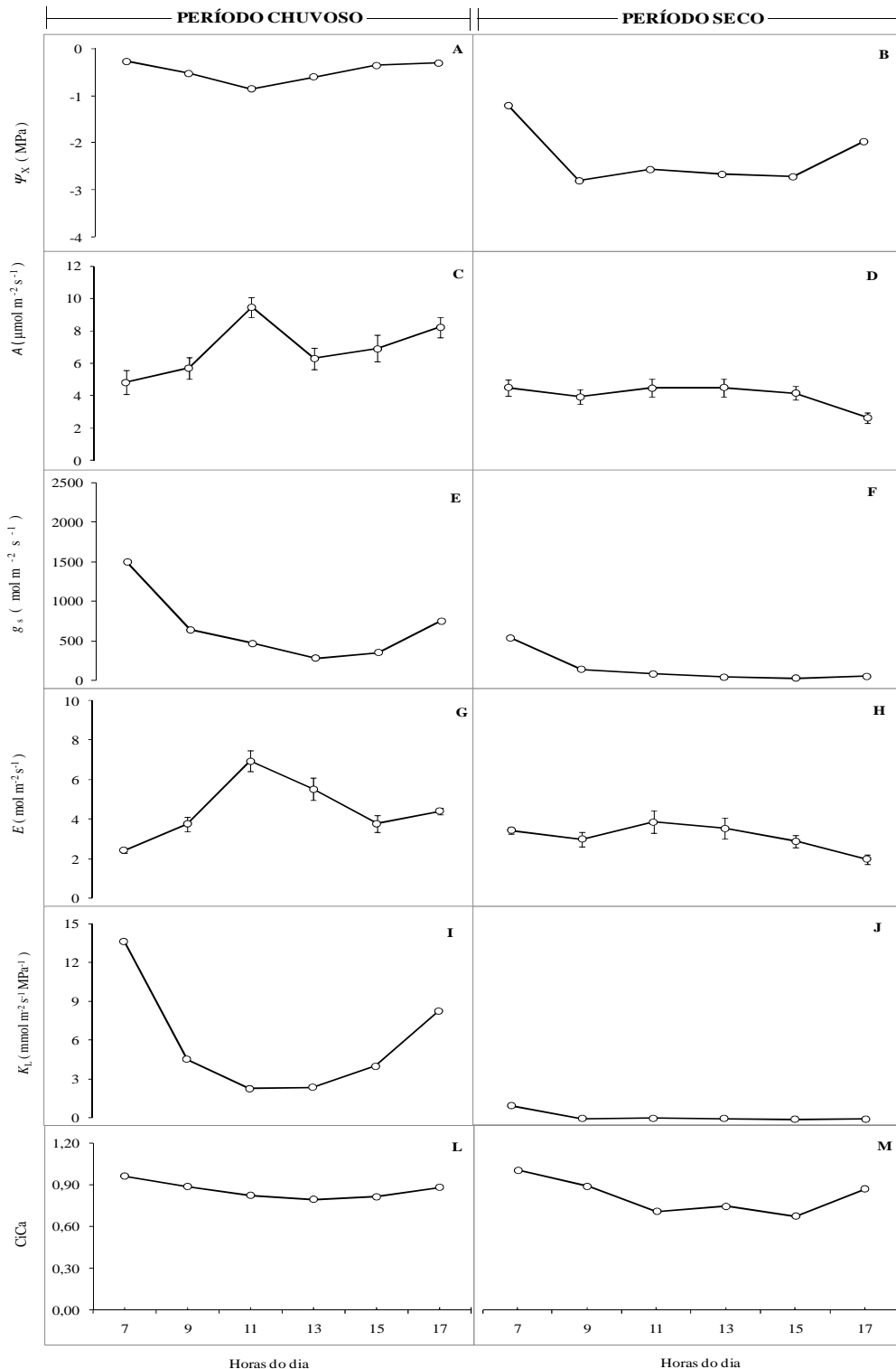
**Tabela 3:** Valores médios de assimilação líquida de carbono ( $A$ ), transpiração ( $E$ ) e eficiência no uso da água EUA ( $A/E$ ) em plantas jovens de *Swietenia macrophylla*, *Hymenaea courbaril* e *Tabebuia serratifolia* cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco.

Espécies	$A$ ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )		$E$ ( $\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )		$EUA$ ( $A/E$ ( $\mu$ ))	
	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	Seco
<i>S. macrophylla</i>	5,85A	3,96B	4,37A	2,54B	1,33A	1,55 <sup>a</sup>
<i>H. courbaril</i>	6,93A	4,81B	4,64A	4,04B	1,49A	1,19 <sup>a</sup>
<i>T. serratifolia</i>	6,90A	4,03B	4,48A	3,09B	1,54A	1,30 <sup>a</sup>

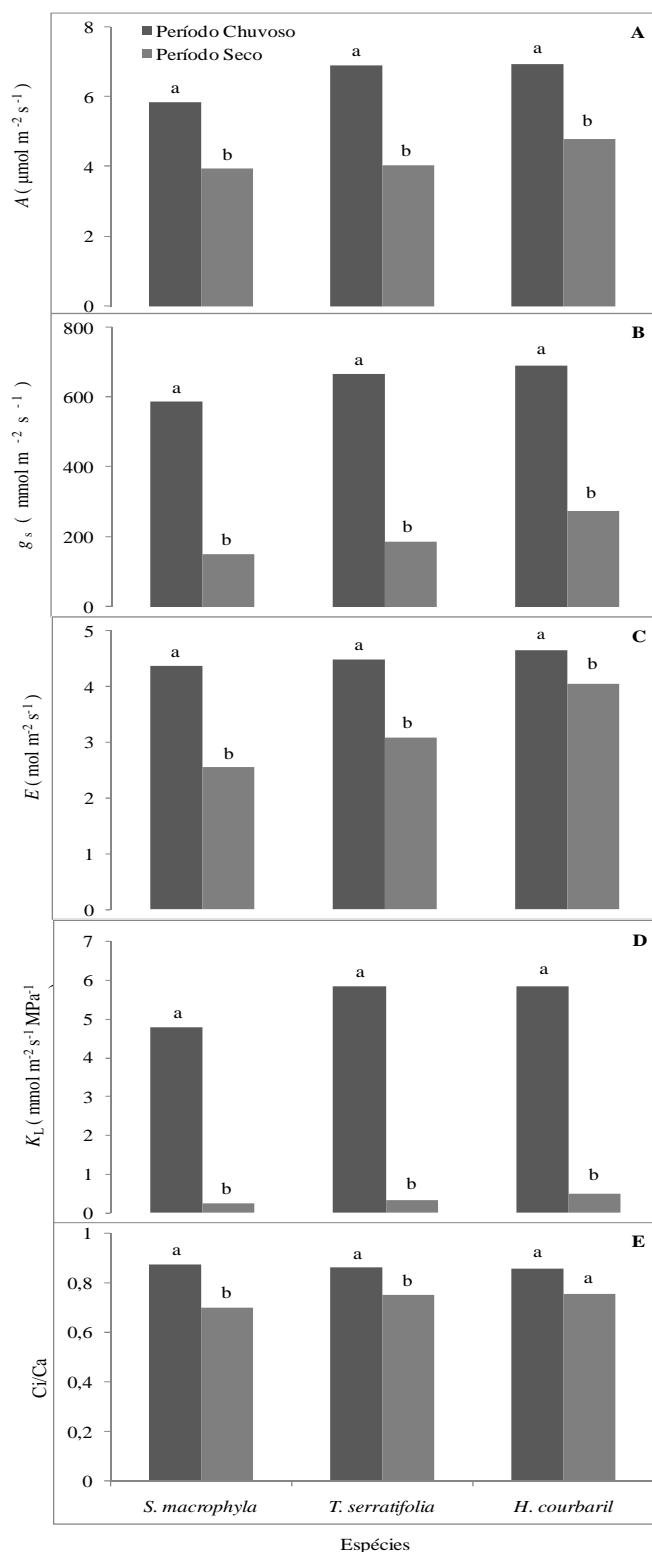
Valores médios seguidos da mesma letra maiúscula na linha não diferem estatisticamente, pelo teste de Newman-Keuls a 5% de probabilidade.



**Figura 7:** Curso diurno do potencial hídrico do xilema foliar (A e B), taxa de assimilação líquida de carbono (C e D), condutância estomática (E e F), transpiração (G e H), condutividade hidráulica (I e J) e razão entre a concentração interna e ambiente de  $\text{CO}_2$  (L e M) em plantas jovens de *Hymenea courbaril* cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\pm$  erro padrão da média, tomadas em dois dias diferentes.



**Figura 8:** Curso diurno do potencial hídrico do xilema foliar (A e B), taxa de assimilação líquida de carbono (C e D), condutância estomática (E e F), transpiração (G e H), condutividade hidráulica (I e J) e razão entre a concentração interna e ambiente de  $\text{CO}_2$  (L e M) em plantas jovens de *Tabebuia serratifolia* cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\pm$  erro padrão da média, tomadas em dois dias diferentes.



**Figura 9:** Taxa de assimilação líquida de carbono (A), condutância estomática (B), transpiração (C), condutividade hidráulica (D) e razão entre a concentração interna e ambiente de  $\text{CO}_2$  (E) em plantas jovens de *Swietenia macrophylla*, *Tabebuia serratifolia* e *Hymenaea courbaril* cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco, no município de Igarapé-Açu, Pará.

Plantas crescendo em condições de campo estão sujeitas a situações de estresse, como redução na disponibilidade de água ocasionando mudanças na concentração de muitos metabólitos, seguido por distúrbios nos hidratos de carbono e no metabolismo dos aminoácidos (OSBERT et al., 1995). O estresse hídrico provoca modificações na composição das células das plantas superiores, levando em muitos casos à produção e acúmulo de substâncias osmoticamente ativa. Este processo, conhecido como osmorregulação ou ajustamento osmótico, é um componente de grande importância no mecanismo de tolerância à seca em várias espécies (SUBARAO, et al., 2000).

Nas figuras 10, 11 e 12, estão apresentadas as substâncias relacionadas à manutenção do *status* hídrico via ajustamento osmótico nas três espécies florestais da Amazônia (mogno, jatobá e ipê-amarelo). A capacidade de acúmulo de solutos compatíveis é uma resposta comum em organismos sob condições adversas, e vem sendo investigada, nos últimos anos, em plantas (TESTER e DAVENPORT, 2003; CHINNUSAMY e ZHU, 2004). Estes solutos compatíveis são moléculas ou íons atóxicos que não interferem no metabolismo e se acumulam predominantemente no citoplasma, onde têm função de manter a turgescência celular, além de estabilizar proteínas e estruturas celulares nas condições subótimas dos fatores ambientais (BRAY et al., 2001).

Valores médios de glicina-betaína (GB) para o mogno variaram ao longo do dia no período chuvoso (7,46 mg/g MS a 7,82 mg/g MS), jatobá (7,52 mg/g MS a 7,82 mg/g MS) e ipê-amarelo (6,52 mg/g MS a 8,27 mg/g MS) (Figuras 10A, 11A e 12 A), respectivamente. Por outro lado, as curvas diárias de GB no período seco para todas as espécies do experimento variaram com valores médios mínimos no início da manhã e valores médios máximos no final da tarde. Plantas jovens de mogno variaram (8,26 mg/g MS a 15,79 mg/g MS), jatobá (9,12 mg/g MS a 15,95 mg/g MS) e ipê-amarelo (8,72 mg/g MS a 18,47 mg/g MS) (Figuras 10B, 11B e 12B), respectivamente.

Sendo assim, a glicina-betaína é requerida para proteger a planta, mantendo o contrapeso da água entre a célula vegetal e o ambiente, estabilizando as macromoléculas conforme Rontein et al (2002). As plantas sintetizam a glicina betaína por duas reações de oxidação da colina (Colina Betaína aldeído glicina betaína) (RHODES; HANSON, 1993). A primeira reação catalisada por uma colina monooxigenase ferredoxina - dependente (CMO) e a segunda reação por um betaína aldeído desidrogenase  $\text{NAD}^+$  - dependente (BADH) (CHEN e MURATA, 2002; ASHRAF e FOOLAD, 2005). O acúmulo de glicina betaína é associado a

uma regulação positiva da expressão do gene para CMO e para BADH concomitantemente, conduzindo assim a uma atividade enzimática elevada quando submetida a qualquer tipo de estresse.

Teores foliares de prolina (PRO) de plantas jovens de mogno variaram com valores médios ao longo do dia no período chuvoso (1,51  $\mu\text{mol/g MS}$  a 1,58  $\mu\text{mol/g MS}$ ), jatobá (1,78  $\mu\text{mol/g MS}$  a 1,96  $\mu\text{mol/g MS}$ ) e ipê-amarelo (1,44  $\mu\text{mol/g MS}$  a 1,53  $\mu\text{mol/g MS}$ ) (Figuras 10C, 11C e 12 C), respectivamente. Em comparação, no período seco, os valores médios de PRO encontrados em todas as plantas do experimento foram superiores em todos os horários em relação aos do período chuvoso. Os teores foliares de PRO das plantas jovens de mogno variaram no período seco (1,66  $\mu\text{mol/g MS}$  a 2,75  $\mu\text{mol/g MS}$ ), jatobá (1,96  $\mu\text{mol/g MS}$  a 2,76  $\mu\text{mol/g MS}$ ) e ipê-amarelo (1,48  $\mu\text{mol/g MS}$  a 2,96  $\mu\text{mol/g MS}$ ) (Figuras 10D, 11D e 12D). A prolina é um aminoácido caracterizado pela presença de um grupo imino, e por essa razão, chamado por alguns autores de iminoácido. Ao se acumular no citosol, atua diminuindo o potencial osmótico da folha e conseqüentemente seu potencial hídrico, favorecendo a absorção de água, mesmo sob baixa condutância estomática, pois aumenta a magnitude do gradiente de potencial hídrico ao longo da planta. Resultados semelhantes foram observados por Lobato et al. (2008) em plantas de feijão caupi submetida ao déficit hídrico, no qual o acúmulo nos teores de prolina aumentou com a diminuição de água no tecido foliar da planta, comprovando que este aminoácido tem a função de ajustador osmótico nesta cultura. Cordeiro et al (2009), trabalhando com plantas jovens de mogno em casa de vegetação por um período de suspensão de água de 20 dias observaram que o aumento mais expressivo para as plantas sob déficit hídrico foi relacionado à prolina, principalmente a partir de 11 horas, com incremento médio da ordem de 77% em relação às plantas controle. Nogueira et al. (2001) registrou um incremento na concentração de prolina foliar em plantas de *Malpighia emarginata* após 20 dias de déficit hídrico. Carvalho (2005) trabalhou com plantas jovens de *S. amazonicum* (paricá) e *S. parahyba* (guapuruvu) submetidas à deficiência hídrica por dois ciclos de deficiência hídrica diferentes: um primeiro de seis dias (com redução do  $\Psi_{\text{am}}$  para cerca de -1,4 a -2,0 MPa), seguindo-se de rehidratação por três dias, e um segundo ciclo de desidratação por nove dias, com reduções mais brandas do  $\Psi_{\text{am}}$ . Foi observado que no primeiro ciclo de desidratação, as plantas jovens de *S. amazonicum* apresentaram um acúmulo de prolina sensivelmente maior (irrigadas = 1,23  $\text{g.cm}^{-2}$  e não-irrigadas = 1,50  $\text{g.cm}^{-2}$ ) que as plantas de enquanto *S. parahyba* (irrigadas = 1,01  $\text{g.cm}^{-2}$  e

não-irrigadas =  $1,41 \text{ g.cm}^{-2}$ ). Acúmulos significativos foram também verificados nas duas espécies supracitadas no segundo ciclo de deficiência hídrica. Além da prolina, Carvalho (2005) evidenciou, no mesmo experimento, incrementos significativos nos teores foliares de  $\text{K}^+$ , aminoácidos solúveis totais e carboidratos solúveis totais. Outros autores encontraram um significativo acúmulo de prolina em resposta ao déficit hídrico, como, por exemplo, em *C. pyramidalis* (SILVA et al., 2004), *Lycopersicon esculentum* (HANDA et al., 1986) e *Zea mays* (ARRAZATE et al., 2005). A maior concentração de solutos encontradas em plantas sob deficiência hídrica indica uma capacidade de ajustamento osmótico, que é uma característica de interesse em plantas resistentes à seca.

Com relação aos teores foliares de carboidratos solúveis totais (CST), plantas jovens de mogno variaram com valores médios no período chuvoso (0,64 mmol de Glu/g MS a 0,77 mmol de Glu/g MS), jatobá (0,69 mmol de Glu/g MS a 0,77 mmol de Glu/g MS) e ipê-amarelo (0,60 mmol de Glu/g MS a 0,82 mmol de Glu/g MS) (Figura 9E, 11E e 12E), respectivamente, enquanto que no período seco os teores de CST para o mogno brasileiro variaram com valores médios (0,63 mmol de Glu/g MS a 2,30 mmol de Glu/g MS), jatobá (0,83 mmol de Glu/g MS a 2,27 mmol de Glu/g MS) e ipê-amarelo (0,73 mmol de Glu/g MS a 2,52 mmol de Glu/g MS) (Figuras 10F, 11F e 12 F), respectivamente. Todas as espécies do experimento apresentaram os valores médios mínimos de CST no início da manhã e máximos no final da tarde, com comportamento semelhante aos da PRO, também no período seco. Sabe-se que em plantas sob déficit hídrico, o acúmulo de carboidratos solúveis totais (CST) na folha, principalmente os de baixo peso molecular pode resultar da hidrólise das reservas de amido e subseqüentes reações de isomerização da glicose, bem como de distúrbios causados pela deficiência de água no floema, reduzindo a translocação destes para outros órgãos. Esses compostos provocam a manutenção da turgescência, mesmo com a diminuição do potencial hídrico foliar, garantindo a expansão celular e o crescimento (NILSEN e ORCUTT, 1996). É possível que, dentro de certos limites, os CST, a prolina e glicina-betaína possam contribuir com o ajustamento osmótico, principalmente ao final do dia. Um aumento no teor de CST foi também observado em folhas de *Medicago sativa* como resposta ao déficit hídrico. Os teores de CST foram de  $90 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$  para um potencial hídrico de  $-1,5 \text{ MPa}$  e de  $170 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$  para um potencial hídrico de  $-2,8 \text{ MPa}$  (IRIGOYEN et al, 1992).

Os teores foliares de amido em plantas jovens de mogno brasileiro variaram com valores médios no período chuvoso ( $0,31 \text{ } \mu\text{g glicose/g MS}$  a  $0,35 \text{ } \mu\text{g glicose/g MS}$ ), jatobá

(0,38  $\mu\text{g}$  glicose/g MS a 0,42  $\mu\text{g}$  glicose/g MS) e ipê-amarelo (0,22  $\mu\text{g}$  glicose/g MS a 0,27  $\mu\text{g}$  glicose/g MS) (Figuras 10G, 11G e 12 G), respectivamente, enquanto que no período seco os teores de amido para o mogno brasileiro variaram (0,17  $\mu\text{g}$  glicose/g MS a 0,29  $\mu\text{g}$  glicose/g MS), jatobá (0,18  $\mu\text{g}$  glicose/g MS a 0,32  $\mu\text{g}$  glicose/g MS) e ipê-amarelo (0,09  $\mu\text{g}$  glicose/g MS a 0,20  $\mu\text{g}$  glicose/g MS) (Figuras 10H, 11H e 12H), respectivamente. Reduções dos valores dos teores foliares de amido foram encontrados no decorrer do dia, esta diminuição pode estar ligada a degradação do amido através das enzimas  $\alpha$  e  $\beta$ -amilase, formando novos açúcares como a sacarose em plantas jovens de mogno brasileiro, jatobá e ipê-amarelo (Figura 9O, 11O e 12 O), respectivamente, com intuito de ajuste osmótico e a inativação da enzima chave na síntese de amido é a ADP-glicose pirofosforilase.

No que consiste na concentração de proteínas solúveis totais (PST), plantas jovens de mogno variaram com valores médios no período chuvoso (1,79 mg/g MS a 1,81 mg/g MS), jatobá (1,72 mg/g MS a 2,07 mg/g MS) e ipê-amarelo (1,54 mg/g MS a 1,65 mg/g MS) (Figuras 10I, 11I e 12I), respectivamente, enquanto que no período seco os teores de PST para o mogno variaram (1,23 mg/g MS a 1,73 mg/g MS), jatobá (1,17 mg/g MS a 1,93 mg/g MS) e ipê-amarelo (0,91 mg/g MS a 1,53 mg/g MS) (Figuras 10J, 11J e 12J), respectivamente. Foi observado que nas plantas do experimento houve pouca variação dos valores de PST no decorrer do curso diário do período chuvoso, enquanto que foram verificadas reduções dos valores de PST no decorrer do curso diário no período seco. Contudo, a diminuição das proteínas para o período seco, esta ligada a quebra dessas proteínas em aminoácidos (Figuras 10M, 11M e 12M), haja vista que nesta fase de maturação fisiológica, as folhas vão ter a função de exportadores (fonte) de compostos nitrogenados e fotoassimilados produzidos pela fotossíntese (CARCELLER et al., 1999). Tais resultados se devem ao aumento da atividade de enzimas proteolíticas, que quebram as proteínas de reserva das plantas e também da diminuição da síntese das mesmas. Este tipo de estresse afeta todo processo bioquímico da planta e como uma forma de defesa contra falta de água, a planta muda seu comportamento metabólico como, por exemplo, a degradação das proteínas em aminoácidos, dentre desses a prolina, que está diretamente ligada ao ajustamento osmótico do tecido foliar das células.

As concentrações foliares de sacarose em plantas jovens de mogno variaram com valores médios no período chuvoso (21,8 mg/g MS a 24,2 mg/g MS), jatobá (19,5 mg/g MS a 23,7 mg/g MS) e ipê-amarelo (21,3 mg/g MS a 23,4 mg/g MS) (Figuras 10 N, 11N e 12N), respectivamente, enquanto que no período seco os teores de sacarose para o mogno variaram

(24,6 mg/g MS a 39,1 mg/g MS), jatobá (21,7 mg/g MS a 36,9 mg/g MS) e ipê-amarelo (21,6 mg/g MS a 41,5 mg/g MS) (Figuras 10O, 11O e 12O), respectivamente. Assim, o aumento da sacarose no período seco no decorrer do curso diário se deve possivelmente a diminuição fotossintética e a quebra do amido através da enzima  $\alpha$  e  $\beta$ -amilase em açúcares, que podem ser quebrados e se transformar através de reações bioquímicas em sacarose (PIMENTEL, 2004). Para Hoekstra et al (2001), também confirmaram o acúmulo de sacarose nas folhas devido à perda de água e também envolvida com o mecanismo de fechamento dos estômatos, no qual a concentração é maior nas folhas mais velhas do que nas mais novas, pois estas exportam sacarose.

As análises das concentrações foliares de carboidratos solúveis totais, sacarose, aminoácidos solúveis totais, prolina e glicina-betaína apresentaram incrementos médios de 113,81%, 44,63%, 20,67%, 40,47% e 63,26% (mogno), 81%, 39,32%, 16,71%, 24,41% e 51,77% (jatobá) e 148,14%, 56,36%, 22,66%, 49,63% e 86,91% (ipê-amarelo), do período seco em relação ao período chuvoso (Figuras 13A, 13B, 13D, 13F e 13G), respectivamente, apresentando diferenças estatísticas entre os períodos.

As concentrações foliares de amido (AMD) e proteínas solúveis totais (PST), também apresentaram diferenças significativas entre os dois períodos, com reduções de 25,74% e 20,14% (mogno), 36,67% e 19,11% (jatobá) e 44,96% e 19,20% (ipê-amarelo), respectivamente, para o período seco em relação ao período chuvoso (Figuras 13C e 13E).

O aumento nas concentrações de glicina-betaína, prolina, carboidratos solúveis totais, aminoácidos solúveis totais e sacarose observados no período seco mostraram que as plantas das espécies estudadas se ajustaram osmoticamente, pois todas essas substâncias diminuem o potencial osmótico e, como consequência, o potencial hídrico celular, garantido o fluxo de água no interior da planta, provocando a manutenção da turgescência, garantindo a expansão celular e o crescimento (NILSEN e ORCUTT, 1996).

O aumento nas concentrações de prolina livre no período seco em relação ao período chuvoso ocorreu, provavelmente, através do aumento da atividade ou concentração da enzima P-5CR e/ou diminuição da degradação mitocondrial desse aminoácido (MAIA et al., 2007)

O aumento nas concentrações de carboidratos e aminoácidos solúveis totais no período seco em relação ao período chuvoso pode ser decorrente, respectivamente, da hidrólise das reservas de amido e subseqüentes reações de isomerização da glicose, bem como de distúrbios causados pela deficiência de água nos tecidos do floema, reduzindo sua translocação para

outros órgãos (SUBBARAO et. al., 2000) e restrição à síntese de proteínas ou quebras das moléculas pelo aumento da ação das enzimas proteolíticas. Esses compostos, além de proporcionarem vantagens, do ponto de vista do abaixamento do potencial osmótico e da manutenção da turgescência, servem de reservas de carbono e nitrogênio para a imediata retomada do crescimento, tão longo as tensões ambientais sejam aliviadas (NILSEN e ORCUTT, 1996).

O aumento das concentrações de sacarose no período foi devido, provavelmente, a diminuição da fotossíntese e a quebra das moléculas de amido através das enzimas  $\alpha$  e  $\beta$  – amilase em açúcares, que podem ser quebrados e se transformar, através de reações bioquímicas, em sacarose (PIMENTEL, 2004).

Variações na fotossíntese observadas no período chuvoso tiveram correlações significativas ( $P < 0,05$ ) com AMD, em plantas de mogno, com AST, em plantas de jatobá e com AMD e PST, em plantas de ipê-amarelo e correlações altamente significativas ( $P < 0,01$ ) com PST e SAC, em plantas de jatobá. No período seco, as variações da fotossíntese tiveram correlações significativas ( $P < 0,05$ ) com AMD, PST e SAC, em plantas de mogno e com AMD e AST, em plantas de jatobá (Tabela 4).

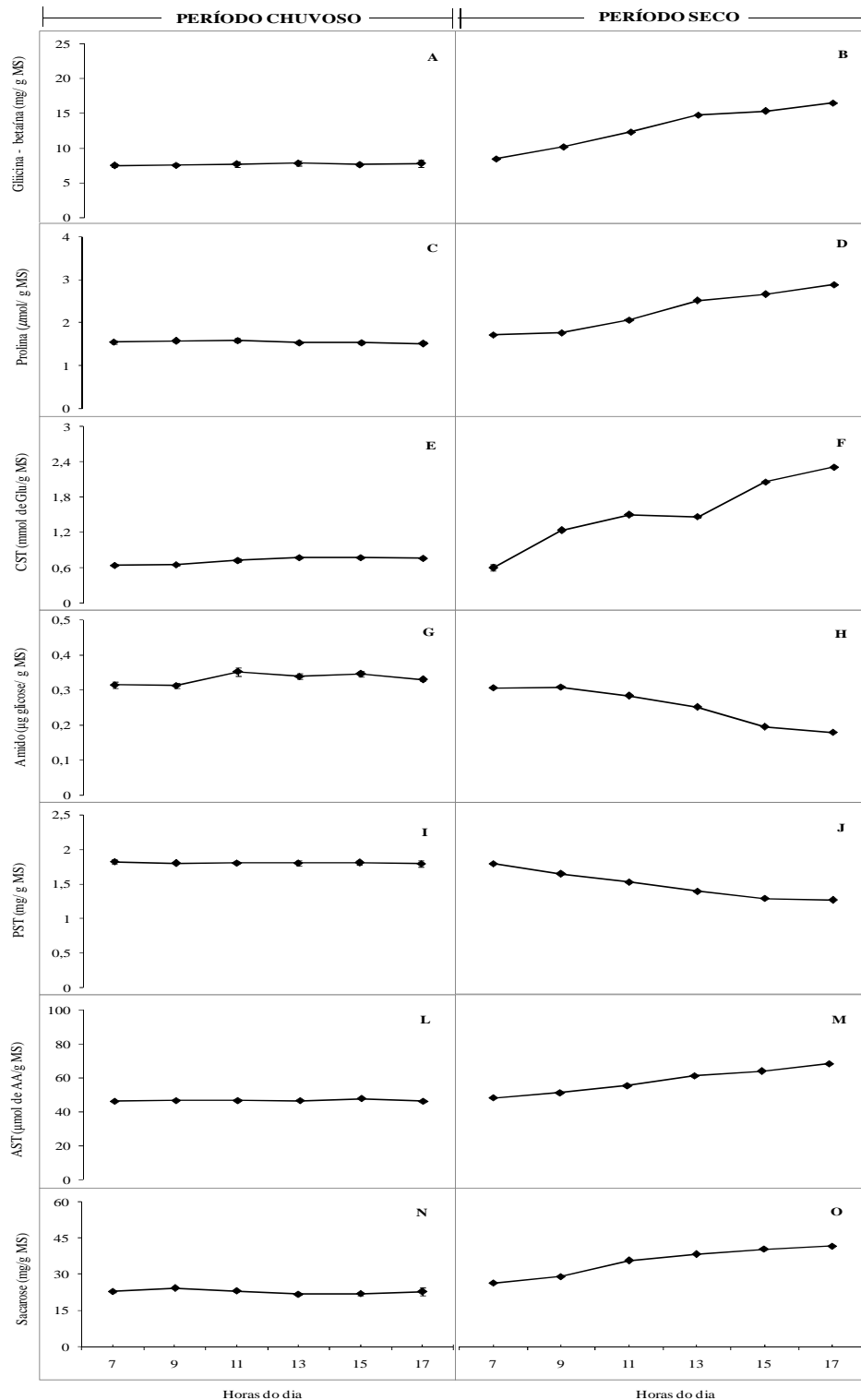
Variações na condutância estomática observadas no período chuvoso tiveram correlações significativas ( $P < 0,05$ ) com AMD, em plantas de mogno e com AST, em plantas de ope-amarelo e correlações altamente significativas ( $P < 0,01$ ) com PST e SAC, em plantas de ipê-amarelo e correlações altamente significativas ( $P < 0,01$ ) com PST e SAC, em plantas de jatobá. No período seco, as variações de condutância estomática tiveram correlações altamente significativas ( $P < 0,01$ ) com AMIDO, em plantas de mogno e correlações fortemente significativas ( $P < 0,001$ ) com PST, AST e SAC, em plantas de mogno e com AMD, PST, AST e SAC em plantas de jatobá e ipê-amarelo (Tabela 4).

**Tabela 4:** Coeficiente de correlação de Pearson entre taxa de assimilação líquida de carbono ( $A$ ), a condutância estomática ( $g_s$ ) e teores foliares de amido (AMD), proteínas solúveis totais (PST), aminoácidos solúveis totais (AST) e sacarose (SAC) em plantas jovens de *Swietenia macrophylla*, *Hymenaea courbaril* e *Tabebuia serratifolia* cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco. Para as análises foram utilizadas 30 observações (n).

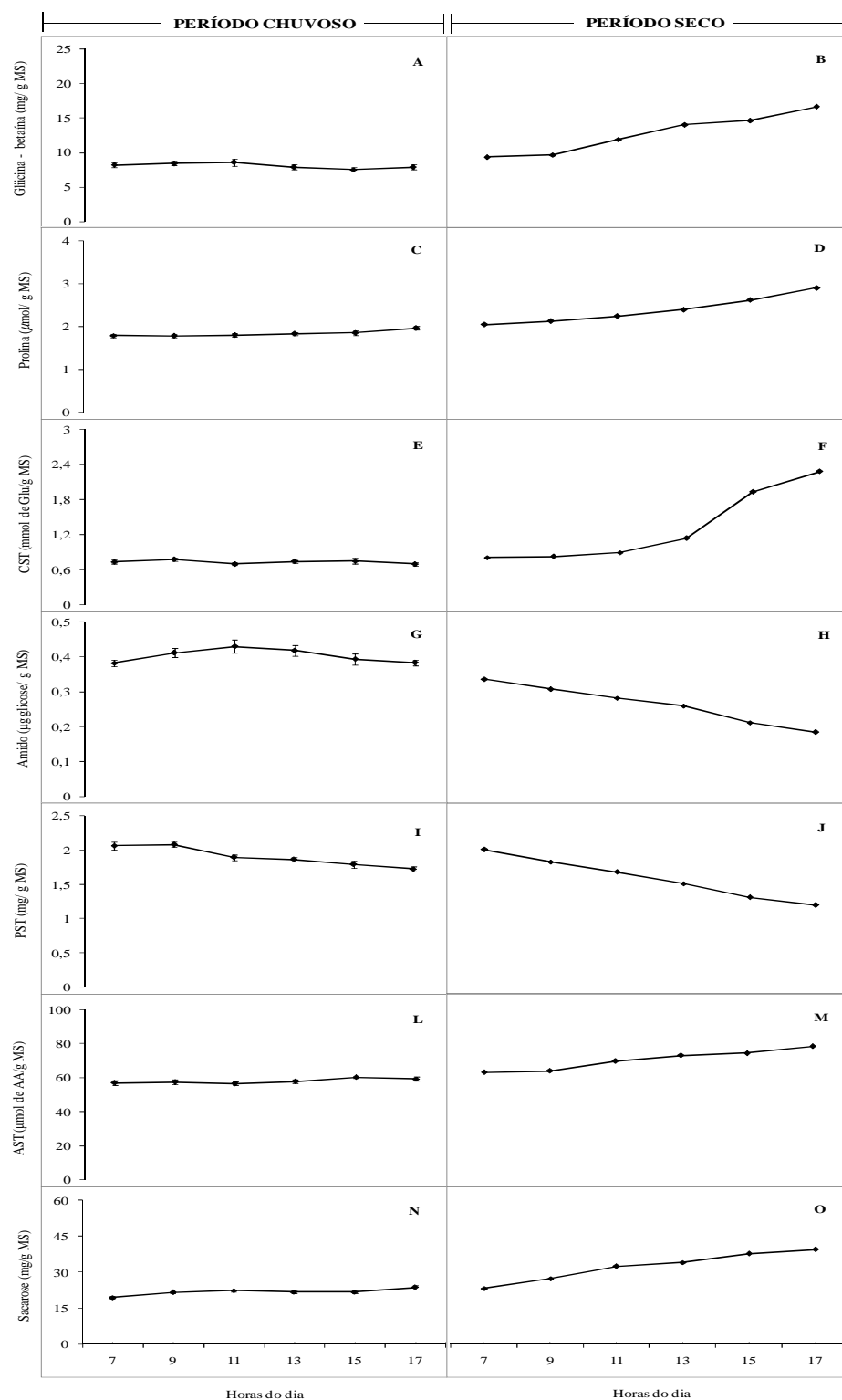
Variáveis	Período chuvoso			Período seco		
	<i>S. macrophylla</i>	<i>H. courbaril</i>	<i>T. serratifolia</i>	<i>S. macrophylla</i>	<i>H. courbaril</i>	<i>T. serratifolia</i>
$A \times \text{AMD}$	0,403*	0,103 <sup>NS</sup>	-0,318*	0,386*	0,319*	0,305 <sup>NS</sup>
$A \times \text{PST}$	-0,097 <sup>NS</sup>	-0,474**	-0,349*	0,369*	0,293 <sup>NS</sup>	0,459**
$A \times \text{AST}$	-0,025 <sup>NS</sup>	0,318*	0,260 <sup>NS</sup>	-0,507**	-0,319*	-0,289 <sup>NS</sup>
$A \times \text{SAC}$	-0,043 <sup>NS</sup>	0,524**	-0,065 <sup>NS</sup>	-0,372*	-0,230 <sup>NS</sup>	-0,298 <sup>NS</sup>
$g_s \times \text{AMD}$	-0,318*	-0,274 <sup>NS</sup>	-0,246 <sup>NS</sup>	0,496**	0,674***	0,692***
$g_s \times \text{PST}$	0,221 <sup>NS</sup>	0,510**	0,239 <sup>NS</sup>	0,688***	0,714***	0,546***
$g_s \times \text{AST}$	-0,002 <sup>NS</sup>	-0,212 <sup>NS</sup>	0,369*	-0,605***	-0,647***	-0,598***
$g_s \times \text{SAC}$	0,005 <sup>NS</sup>	-0,488**	0,107 <sup>NS</sup>	-0,710***	-0,740***	-0,793***

<sup>NS</sup> Não significativo pelo teste F ( $P > 0,05$ ), \* Significativo pelo teste F ( $P < 0,05$ ), \*\* Significativo pelo teste F ( $P < 0,01$ )

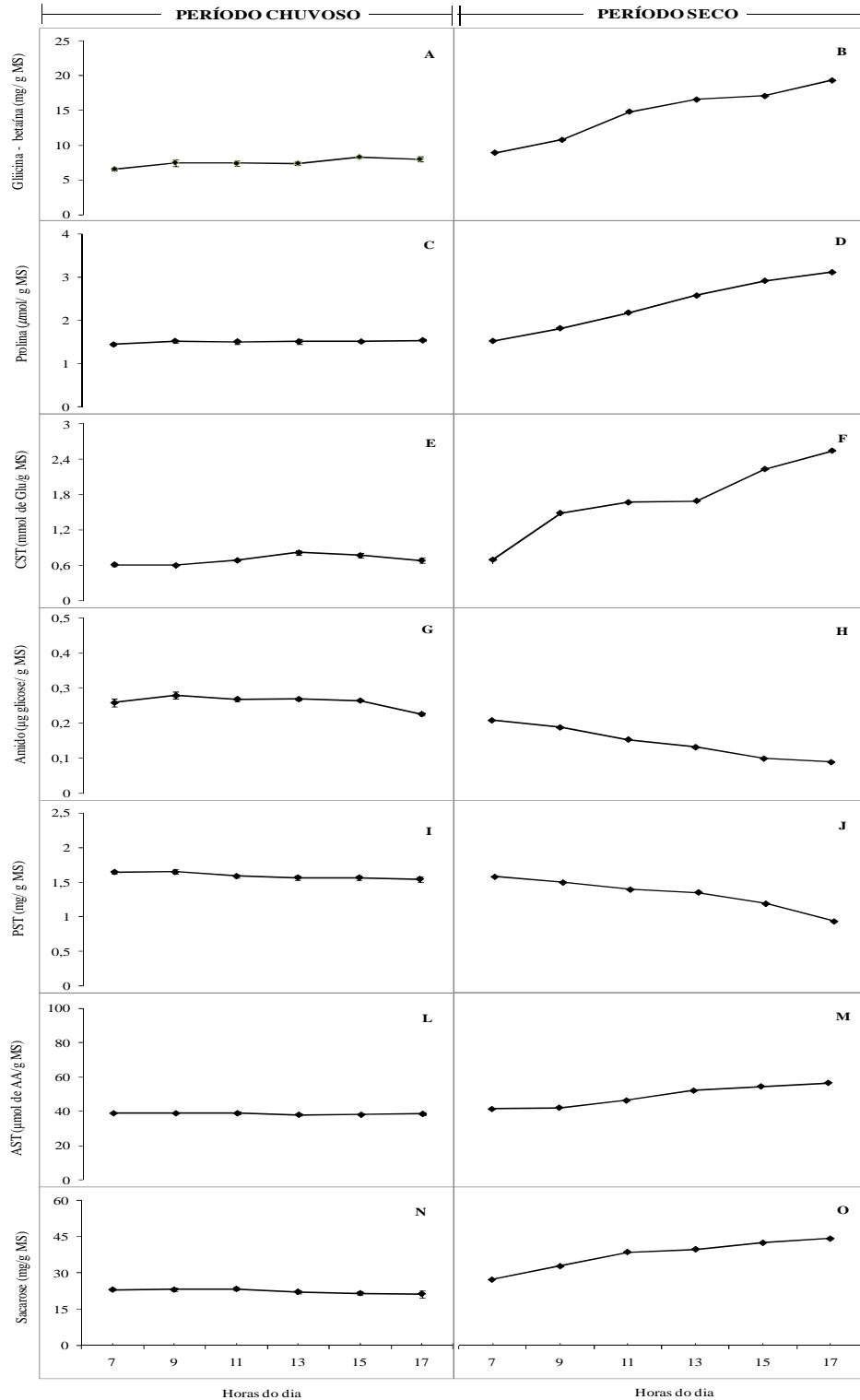
\*\*\* Significativo pelo teste F ( $P < 0,001$ ).



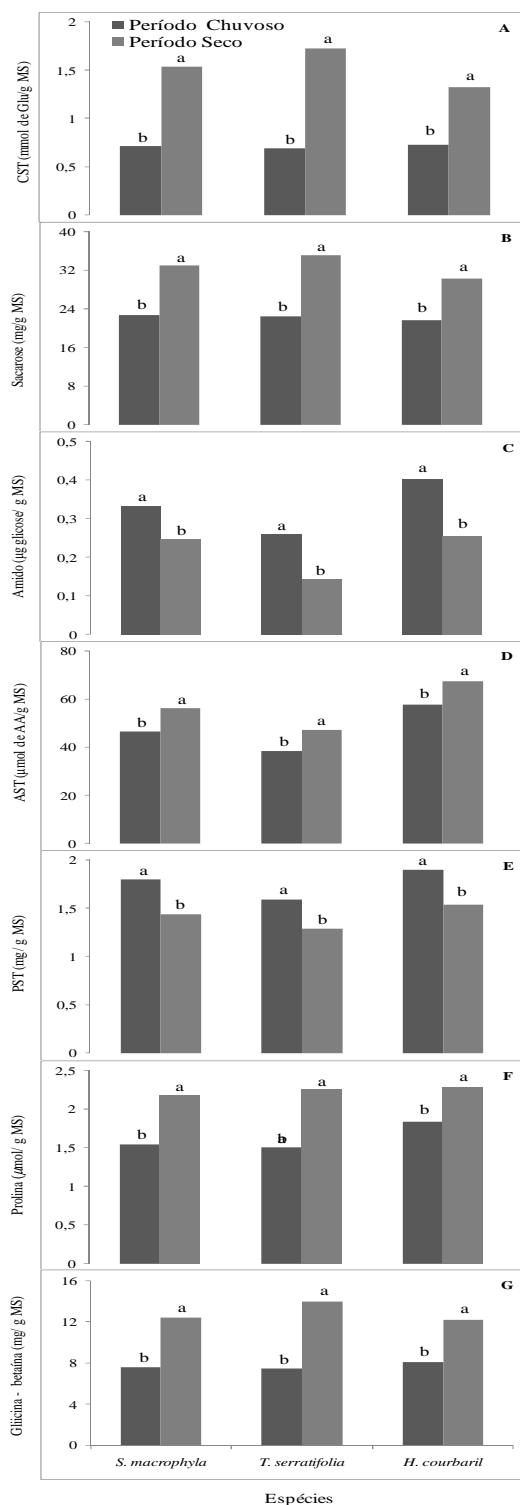
**Figura 10:** Curso diurno de teores foliares de glicina-betaína (A e B), prolina (C e D), carboidratos solúveis totais (E e F), amido (G e H), proteínas solúveis totais (I e J), aminoácidos solúveis totais (L e M) e sacarose (N e O) em plantas jovens de *Swietenia macrophylla* cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\pm$  erro padrão da média, tomadas em dois dias diferentes.



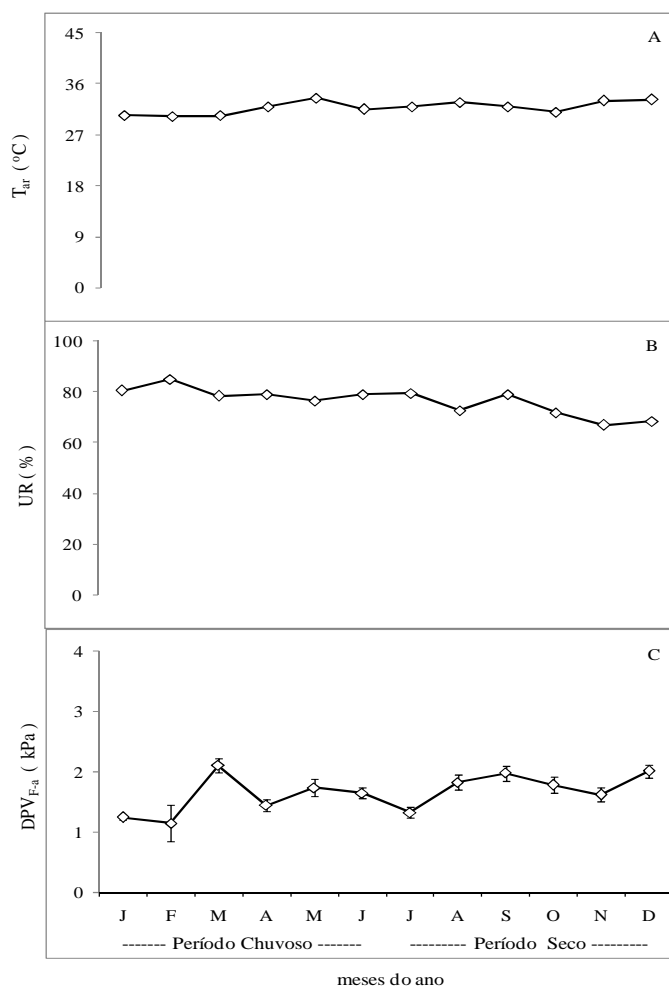
**Figura 11:** Curso diurno de teores foliares de glicina-betaína (A e B), prolina (C e D), carboidratos solúveis totais (E e F), amido (G e H), proteínas solúveis totais (I e J), aminoácidos solúveis totais (L e M) e sacarose (N e O) em plantas jovens de *Hymenea courbaril* cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\pm$  erro padrão da média, tomadas em dois dias diferentes.



**Figura 12:** Curso diurno de teores foliares de glicina-betaína (A e B), prolina (C e D), carboidratos solúveis totais (E e F), amido (G e H), proteínas solúveis totais (I e J), aminoácidos solúveis totais (L e M) e sacarose (N e O) em plantas jovens de *Tabebuia serratifolia* cultivadas em condições de campo nos períodos chuvoso e seco. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\pm$  erro padrão da média, tomadas em dois dias diferentes.



**Figura 13:** Teores foliares de carboidratos solúveis totais (A), sacarose (B), amido (C), aminoácidos solúveis totais (D), proteínas solúveis totais (E), prolina (F) e glicina-betaína (G) em plantas jovens de *Swietenia macrophylla*, *Tabebuia serratifolia* e *Hymenaea courbaril* cultivadas em condições de campo no período “chuvoso” e “seco” no município de Igarapé-Açu, Pará.



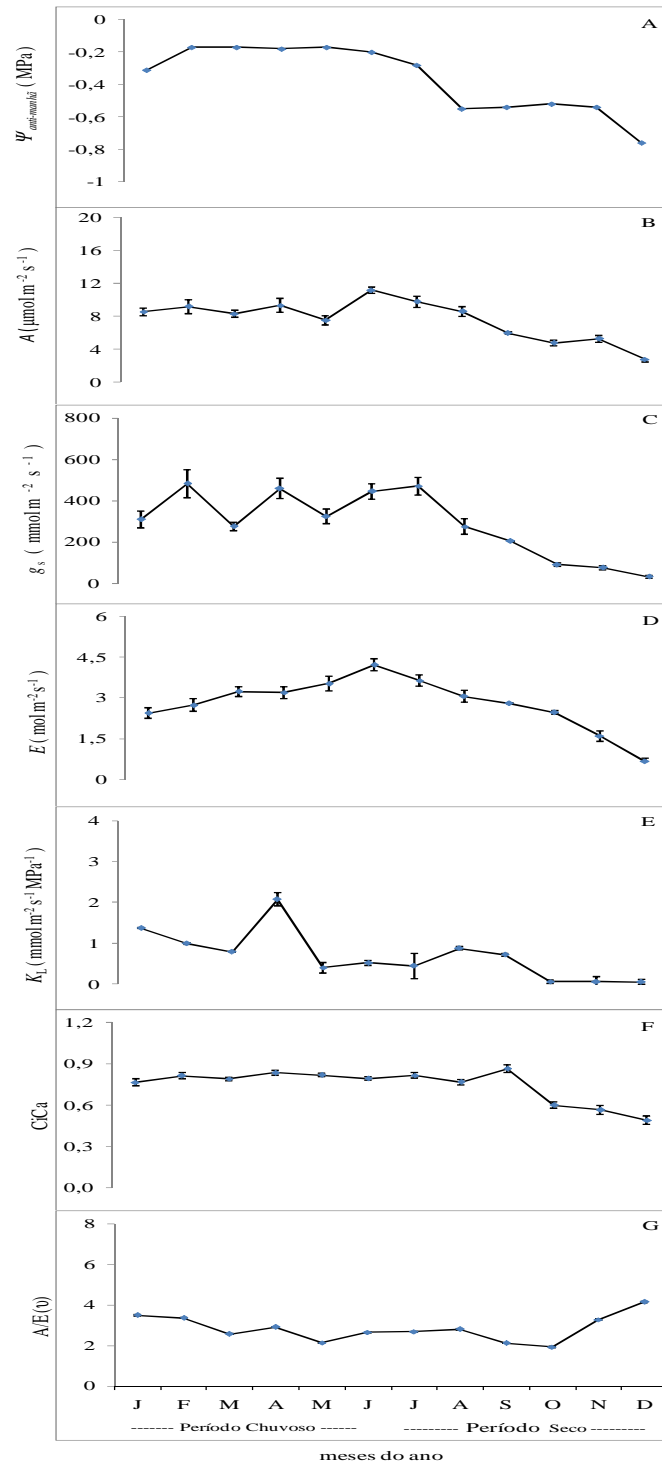
**Figura 14:** Temperatura do ar (A), umidade relativa do ar (B) e déficit de pressão de vapor entre a folha e a atmosfera (C) em plantas jovens de *Swietenia macrophylla*, *Hymenaea courbaril* e *Tabebuia serratifolia* cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\pm$  erro padrão da média, tomadas em dois dias diferentes.

Foi observado que no período chuvoso (PCH) (janeiro a junho de 2010) em plantas jovens de mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*), jatobá (*Hymenaea courbaril*) e ipê amarelo (*Tabebuia serratifolia*) cultivadas em condições de campo foram submetidas a uma temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) com valores médios de 31,33°C, enquanto que no período seco (PS) (julho a dezembro de 2010), a  $T_{ar}$  apresentou valores médios de 32,33°C (Figura 14A). A umidade relativa do ar (UR) apresentou valores médios no PCH de 79,72%, enquanto que no período seco (73,01%) (Figura 14B). O déficit de pressão de vapor entre a folha e a atmosfera (DPV) apresentou valores médios no PCH de 1,54 KPa, enquanto no período seco apresentou valores de (1,75KPa) (Figura 14C). Alguns pesquisadores têm demonstrado a influência dos fatores climáticos sobre o comportamento estomático de plantas. Gucci et al (1996) demonstraram a dependência do comportamento

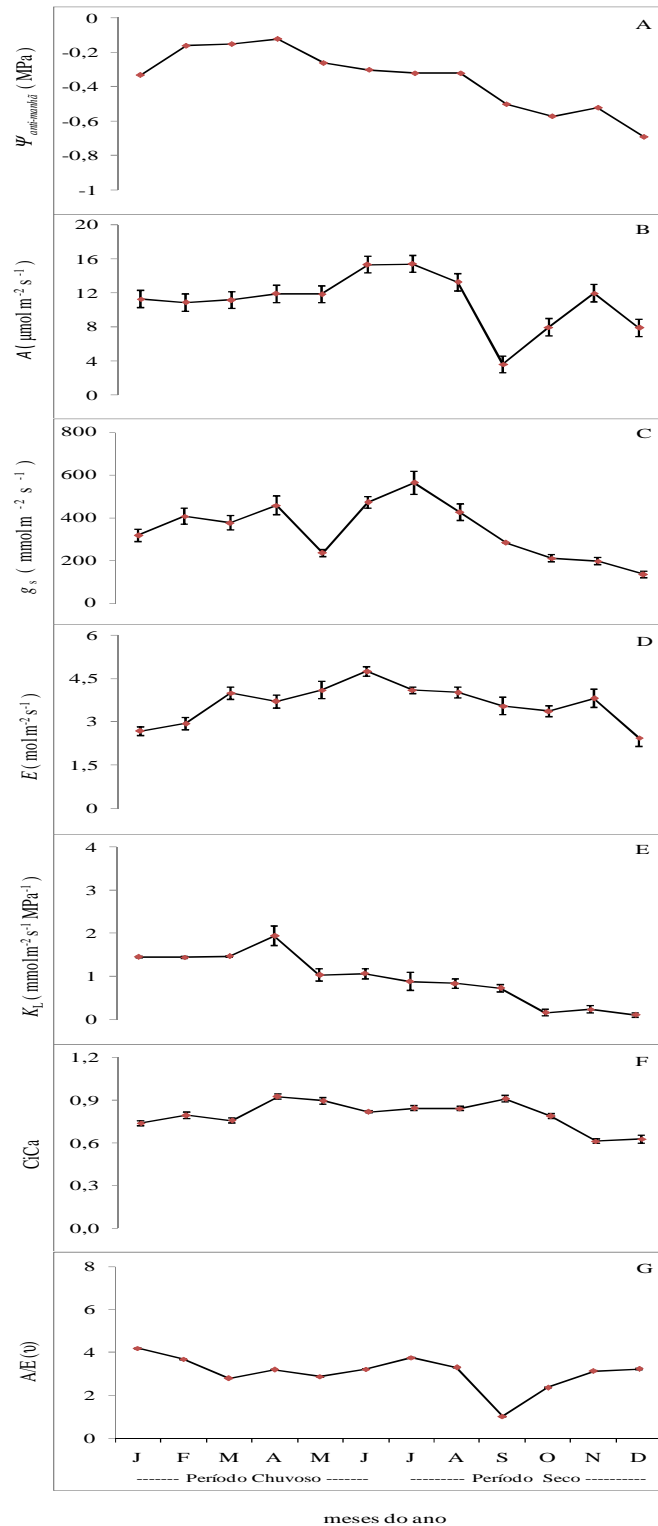
estomático de plantas de kiwi sobre o status hídrico do solo e do DPV. Nogueira et al. (1998) verificaram que não houve correlação entre  $E$  e UR em aceroleiras cultivadas na zona semi-árida de Pernambuco.

Foi observado que as análises de potencial hídrico de antimanhã, taxa de assimilação líquida de carbono, condutância estomática, transpiração, condutividade hidráulica, razão entre a concentração interna e ambiente de  $\text{CO}_2$  e eficiência no uso da água apresentaram valores médios no período chuvoso em plantas de mogno brasileiro ( $-0,2\text{MPa}$ ;  $9,03\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $382,08\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $3,23\text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $1,03\text{KPa}$  e  $2,85\mu$ ), enquanto que no período seco ( $-0,53\text{MPa}$ ;  $6,21\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $190,75\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $2,38\text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $0,37\text{KPa}$  e  $1,75\mu$ ), respectivamente (Figuras 15). Para o jatobá, os valores médios no período chuvoso ( $-0,2\text{MPa}$ ;  $12,09\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $377,16\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $3,70\text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $1,40\text{KPa}$  e  $3,30\mu$ ), enquanto que os valores médios no período seco ( $-0,48\text{MPa}$ ;  $10,04\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $301,5\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $3,55\text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $0,50\text{KPa}$  e  $2,80\mu$ ), respectivamente (Figura 16). As plantas jovens de ipê-amarelo apresentaram valores médios no período chuvoso ( $-0,19\text{MPa}$ ;  $12,72\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $397,5\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $3,53\text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $2,03\text{KPa}$  e  $4,14\mu$ ), respectivamente, enquanto que no período seco os valores médios ( $-0,42\text{MPa}$ ;  $8,96\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $260\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $3,45\text{ mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ;  $0,86\text{KPa}$  e  $2,65\mu$ ), respectivamente (Figura 17).

Podemos afirmar que a taxa de assimilação líquida de carbono, condutância estomática e transpiração apresentaram reduções médios de no período seco de 31%, 50,08% e 26,30% (mogno), 16,93%, 20,04% e 4,05% (jatobá) e 29,52%, 34,59% e 2,36% (ipê-amarelo). Corroborando com o experimento em estudo, Costa e Marengo (2007), observaram que a diminuição nas respostas fotossintéticas de *C. guianensis*, com a supressão da irrigação, pode estar diretamente associada à modificação do comportamento estomático. Resultados encontrados neste trabalho com *C. guianensis* e também observados em plantas *M. guianensis*, sob condições experimentais semelhantes, evidenciam a variabilidade de respostas apresentada pelas diferentes espécies arbóreas, quando submetidas à supressão da irrigação. No caso da *M. guianensis*, 25 dias foram suficientes para se observar redução significativa de 25, 50 e 50% nas respostas de  $A$ ,  $E$  e  $g_s$ , respectivamente, comparado ao tratamento com irrigação (LIBERATO et al., 2006). Em estudo com *Bactris gasipaes* Kunth, observou-se redução de 40% na taxa de  $A$  no sexto dia de supressão da irrigação, quando o  $\Psi_w$  foi igual a  $-1,6\text{ MPa}$ , além de reduções de 31 e 54% nas taxas de  $E$  e  $g_s$ , no quinto dia de experimento (OLIVEIRA et al., 2002). Em *Vitis labrusca* L., sete dias foram suficientes para se verificar



**Figura 15:** Potencial hídrico de antimanhã (A), taxa de assimilação líquida de carbono (B), condutância estomática (C), transpiração (D), condutividade hidráulica (E), razão entre a concentração interna e ambiente de  $\text{CO}_2$  (F) e eficiência no uso da água (G) em plantas jovens de *Swietenia macrophylla*, cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\square$  erro padrão da média, tomadas em dois dias diferentes.



**Figura 16:** Potencial hídrico de antimanhã (A), taxa de assimilação líquida de carbono (B), condutância estomática (C), transpiração (D), condutividade hidráulica (E), razão entre a concentração interna e ambiente de  $\text{CO}_2$  (F) e eficiência no uso da água (G) em plantas jovens de *H. courbaril*, cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\pm$  erro padrão da média, tomadas em dois dias diferentes.

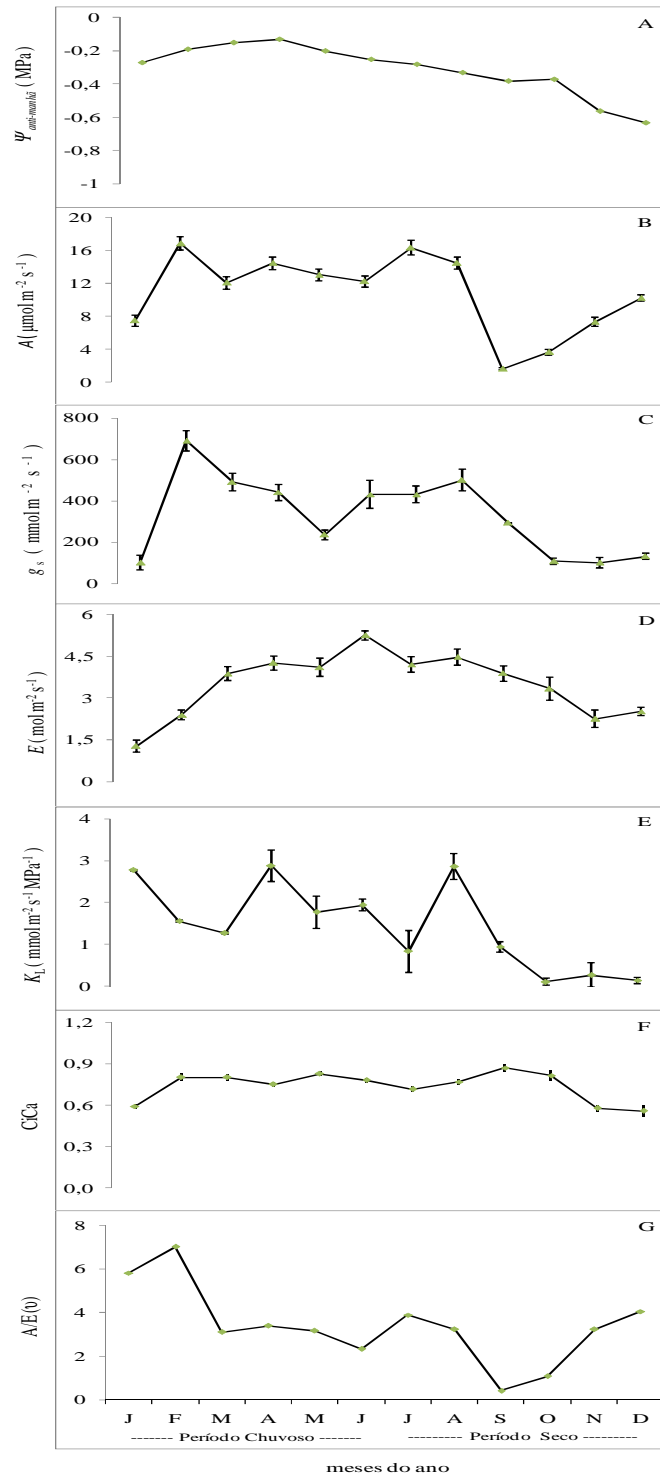
diferenças significativas nas trocas gasosas ( $A$ ,  $E$  e  $g_s$ ) entre os tratamentos de plantas irrigadas e não irrigadas (SOUZA et al., 2001). A diminuição da taxa fotossintética e condutância estomática, assim como o aumento da concentração intercelular de  $CO_2$  em plantas sob déficit hídrico, também se assemelham ao comportamento de plantas sob condições de estresse salino, pois, ambas as condições comprometem o balanço hídrico da planta (LÓPEZ-CLIMENT et al., 2008).

As diminuições da taxa fotossintética e da condutância estomática, em geral, estão relacionadas, pois o controle do fluxo de  $CO_2$  na folha é mediado pela abertura estomática, assim como os processos fotossintetizantes são mediados pela disponibilidade hídrica regular (TAIZ e ZEIGER, 2009). Isso explica a diminuição significativa na taxa de transpiração de todas as espécies observadas no presente trabalho ao longo dos meses com deficiência hídrica, além do aumento da temperatura foliar das plantas sob o déficit hídrico, provavelmente devido à baixa condutância estomática. A condutância estomática e a taxa fotossintética também declinaram rapidamente em plantas de *Phaseolus vulgaris* após dois dias sem irrigação (MIYASHITA et al., 2005). Assim, o fechamento estomático parece ser comum em muitas espécies de plantas durante o déficit hídrico e esse efeito também ocasiona uma menor taxa de transpiração foliar do mesmo modo que um aumento na temperatura foliar (AZEVEDO NETO et al., 2004; LIBERATO et al., 2006).

As análises das concentrações foliares de glicina-betaína, prolina, carboidratos solúveis totais, aminoácidos solúveis totais e sacarose apresentaram incrementos médios de 49,4%, 18,01%, 58,49%, 16,95% e 26,12% (mogno), 45,75%, 21,93%, 49,15%, 13,28% e 15,38% (jatobá) e 53,62%, 27,24%, 76,65%, 13,27% e 31,65% (ipê-amarelo) (Figuras 18, 19 e 20), respectivamente, do período seco (julho a dezembro de 2010) em relação ao período chuvoso (janeiro a junho de 2010).

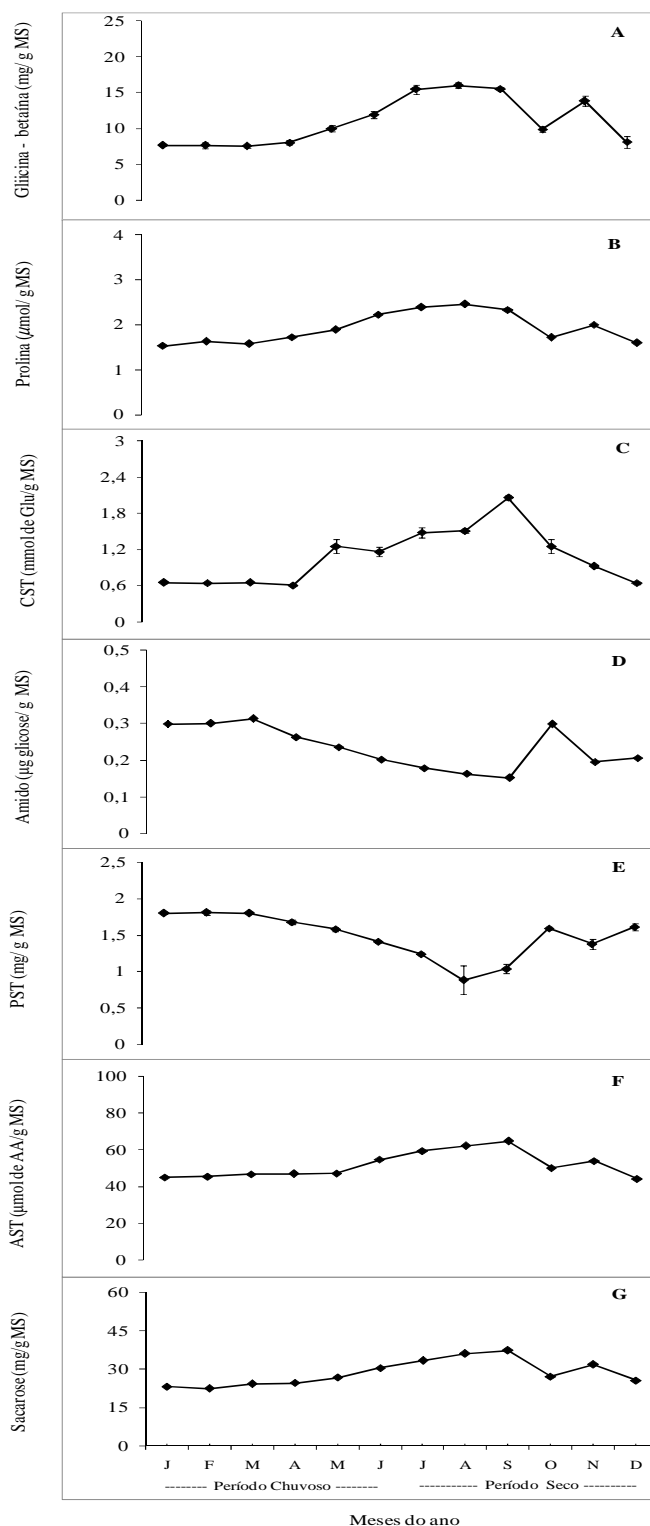
As concentrações foliares de amido (AMD) e proteínas solúveis totais (PST), apresentaram reduções de 25,97% e 23,07% (mogno), 35,65% e 14,25% (jatobá) e 28,95% e 56,40% (ipê-amarelo) (Figuras 18, 19 e 20), respectivamente, do período seco (julho a dezembro de 2010) em relação ao período chuvoso (janeiro a junho de 2010).

Muitos trabalhos postulam que o aumento na concentração de solutos orgânicos em tecidos de plantas expostas ao déficit hídrico produz um ajustamento osmótico e reduz a desidratação celular, com preservação de estruturas celulares (VALLIYODAN e NGUYEN, 2006; SILVA et al., 2009). De acordo com Ashraf e Ahmad (2000) e Valliyodan e Nguyen (2006), o acúmulo de solutos compatíveis, como prolina, glicina-betaína, carboidratos solúveis totais, entre outros compostos, tem importante papel de osmoproteção. O acúmulo de sacarose em função do déficit hídrico foi

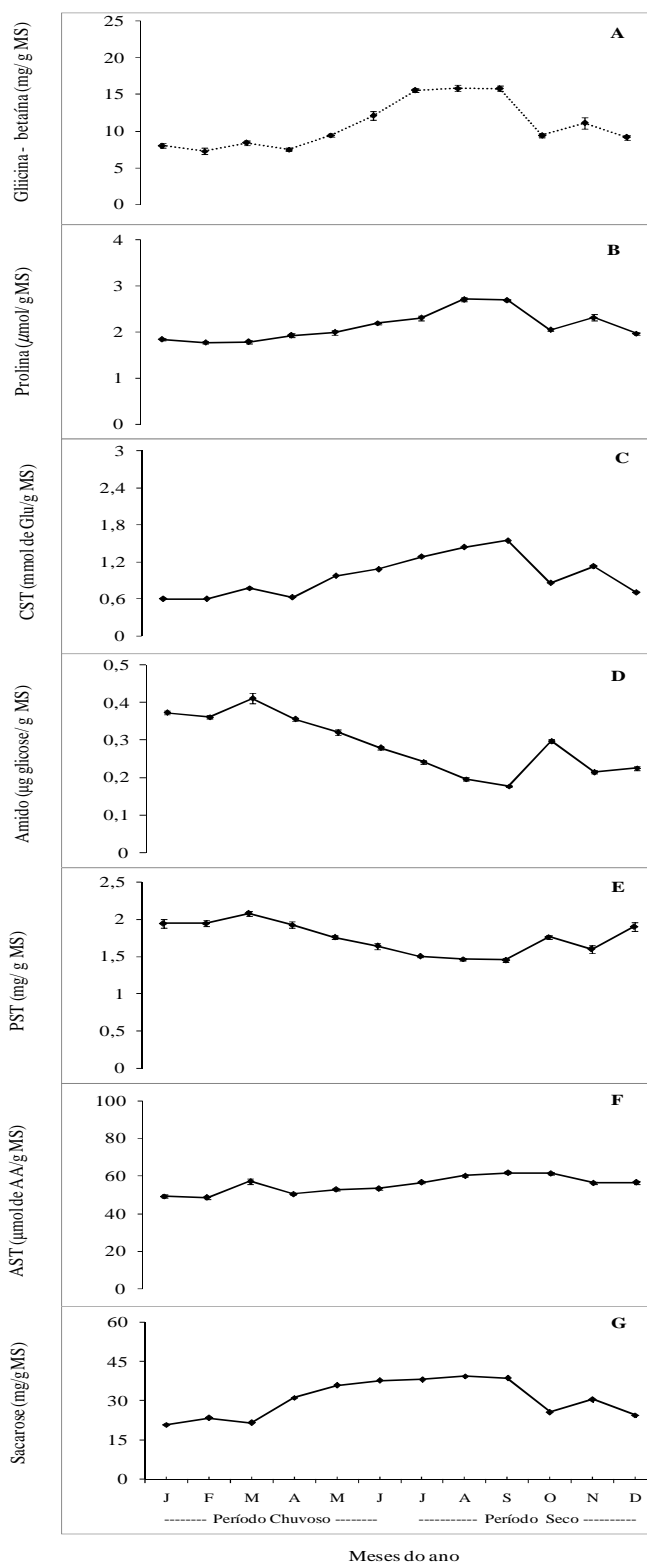


**Figura 17:** Potencial hídrico de antimanhã (A), taxa de assimilação líquida de carbono (B), condutância estomática (C), transpiração (D), condutividade hidráulica (E), razão entre a concentração interna e ambiente de  $\text{CO}_2$  (F) e eficiência no uso da água (G) em plantas jovens de *Tabebuia serratifolia*, cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\pm$  erro padrão da média, tomadas em dois dias diferentes.

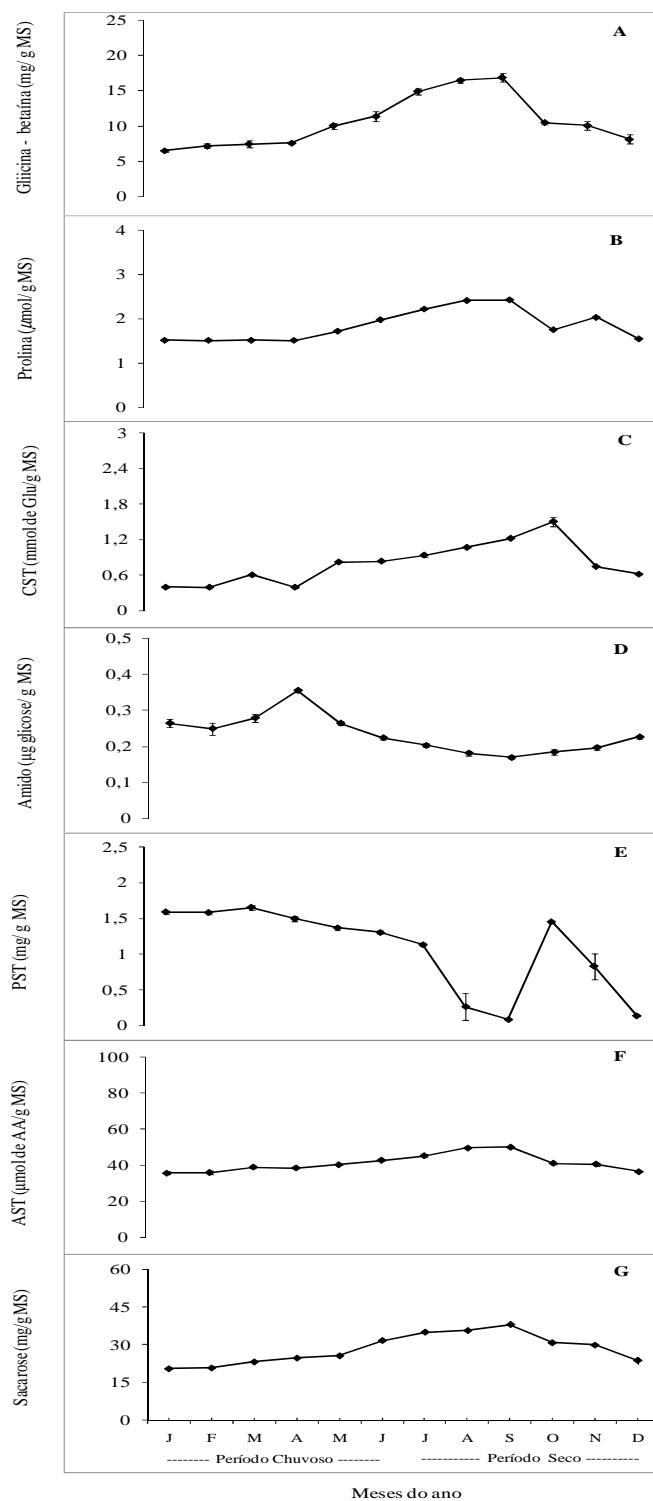
também observado para *Glycine max* (MEYER; BOYER, 1981) e para *Gossypium hirsutum* (TIMPA et al., 1986). O acúmulo de aminoácidos sob deficit hídrico pode ser resultante da redução na síntese de proteínas e da associação de mRNA com polissomas ou do aumento da degradação de proteínas (CATALA et al., 2007). Em todo o caso, o acúmulo de aminoácidos, particularmente prolina, pode contribuir para o ajuste osmótico, de forma a minimizar os impactos prejudiciais da seca sobre as plantas (TAIZ e ZEIGER, 2009).



**Figura 18:** Teores foliares de glicina-betaína (A), prolina (B), carboidratos solúveis totais (C), amido (D), proteínas solúveis totais (E), aminoácidos solúveis totais (F) e sacarose (G) em plantas jovens de *Swietenia macrophylla* cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\pm$  erro padrão da média, tomadas em dois dias diferentes.



**Figura 19:** Teores foliares de glicina-betaína (A), prolina (B), carboidratos solúveis totais (C), amido (D), proteínas solúveis totais (E), aminoácidos solúveis totais (F) e sacarose (G) em plantas jovens de *H. courbaril* cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\pm$  erro padrão da média, tomadas em dois dias diferentes.



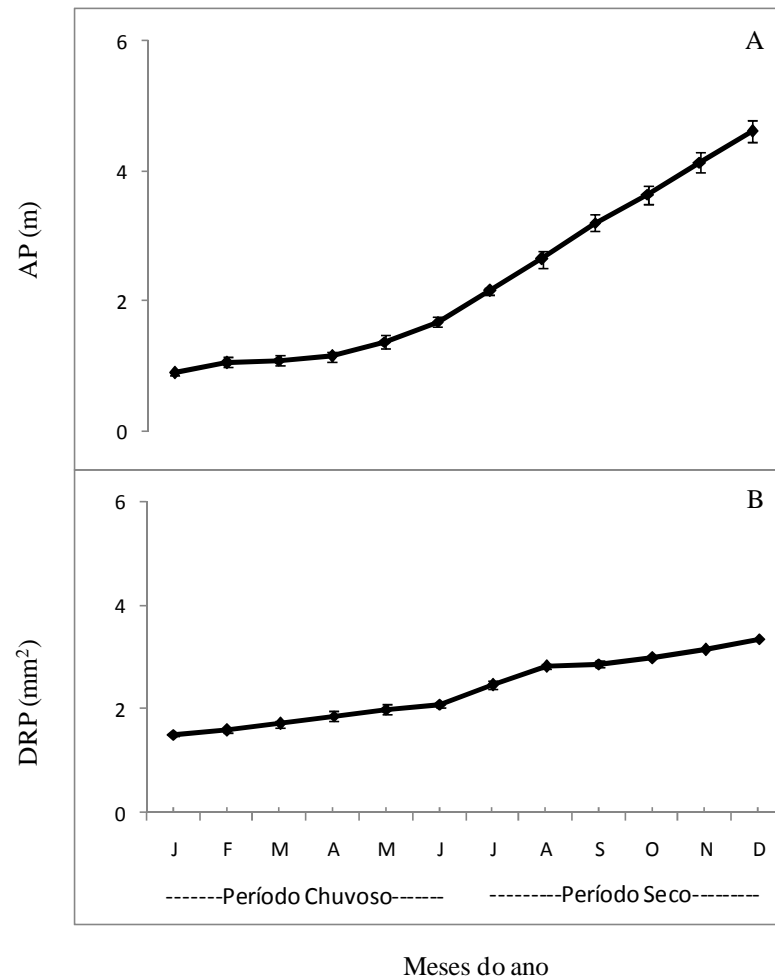
**Figura 20:** Teores foliares de glicina-betaína (A), prolina (B), carboidratos solúveis totais (C), amido (D), proteínas solúveis totais (E), aminoácidos solúveis totais (F) e sacarose (G) em plantas jovens de *Tabebuia serratifolia*, cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010. Os dados referem-se às médias de dez repetições erro padrão da média, tomadas em dois dias diferentes.

As plantas deste experimento no período de um ano (janeiro a dezembro de 2010) apresentaram valores de altura médios no período chuvoso (janeiro a junho), de 1,25 m (mogno), 1,51 m (jatobá) e 2,51 m (ipê amarelo), enquanto que no período seco (julho a dezembro), 3,40 m (mogno), 2,39m (jatobá) e 4,05(ipê amarelo) (Figuras 21A, 22A e 23A), respectivamente. Em relação ao diâmetro do ramo principal foram verificados valores médios no período chuvoso (janeiro a junho), de 1,79 mm<sup>2</sup> (mogno), 1,32 mm<sup>2</sup> (jatobá) e 2,26 mm<sup>2</sup> (ipê amarelo), enquanto que no período seco (julho a dezembro), 2,94 mm<sup>2</sup> (mogno), 2,45 mm<sup>2</sup> (jatobá) e 4,29 mm<sup>2</sup> (ipê amarelo) (Figuras 21B, 22B e 23B), respectivamente. Além disso, foi observado que a altura e o diâmetro do ramo principal de plantas jovens de ipê – amarelo apresentaram nos dois períodos estudados (chuvoso e seco), incrementos significativamente superiores em relação às plantas de mogno e jatobá (Figuras 24 e 25). Corroborando, Chaves (2001) não encontrou redução de diâmetro e altura causada pelo déficit hídrico em clones de eucalipto, sendo considerada não eficiente na identificação do material genético para reflorestamento em áreas com diferenças na disponibilidade hídrica. Possivelmente, esse efeito não foi detectado em razão da curta duração do experimento. Por outro lado, resultados encontrados por Osório et al. (1998), mostraram diferenças entre a altura de três clones de *E. globulus*, submetidas ao déficit hídrico. Entretanto, o período de experimentação foi maior do que o adotado por Chaves (2001), aliado ao fato desta espécie ser bastante sensível à deficiência hídrica.

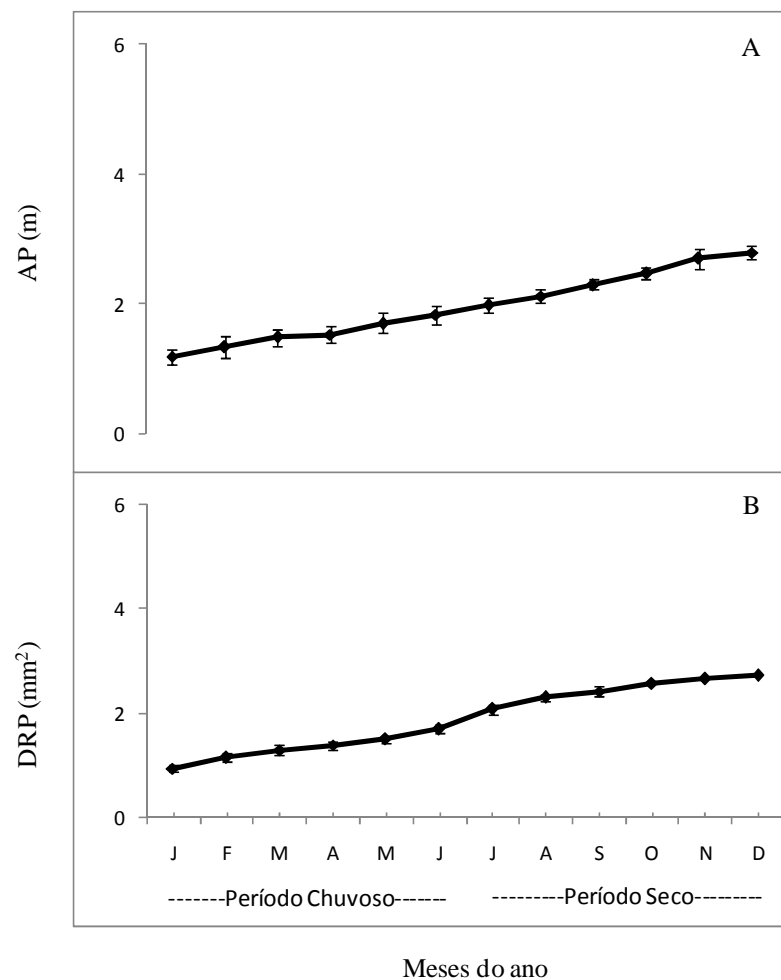
Contrastando ao experimento em estudo, Correia e Nogueira (2004) observaram que a altura e o número de folhas foram afetados pelo déficit hídrico a partir de 21 dias da suspensão da irrigação, chegando a um máximo de redução aos 35 dias da diferenciação dos tratamentos. Naquele momento, as plantas mantidas sob constante irrigação apresentaram altura e número de folhas médio de 45 cm 20 unidades, respectivamente; enquanto para as plantas sob seca esses valores foram reduzidos para 27 cm e 8 unidades, respectivamente. O déficit hídrico (de aproximadamente -1,5 MPa) também ocasionou consideráveis reduções na altura da planta (65 a 80%) e no número de folhas (75 a 85%) em plantas de *Gossypium hirsutum* (TIMPA 1986).

O crescimento das plantas pode refletir a habilidade de adaptação das espécies às condições de radiação do ambiente em que estão se desenvolvendo. Geralmente as características de crescimento são utilizadas para inferir o grau de tolerância ou de intolerância das espécies à baixa disponibilidade de luz (SCALON et al., 2002). O sucesso na adaptação de uma espécie a ambientes com baixa ou alta radiação está associado à eficiência na partição dos fotoassimilados para diferentes partes da planta e na rapidez em ajustar

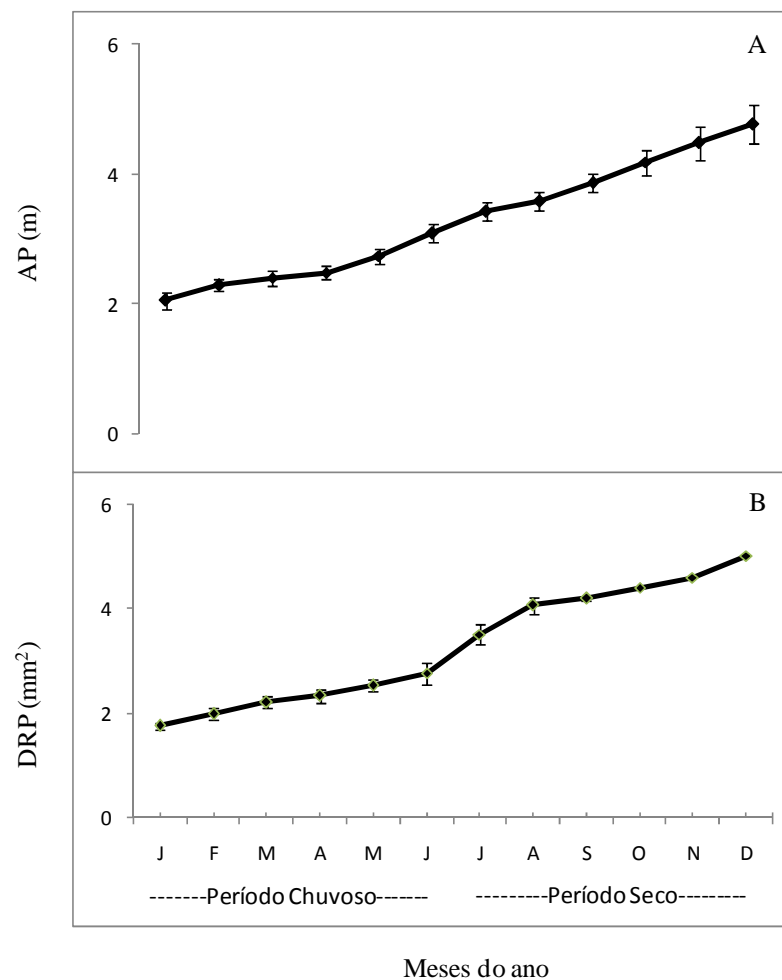
variáveis morfo-fisiológicas no sentido de maximizar a aquisição dos recursos primários (DIAS-FILHO, 1997). Assim, postula-se que as espécies características de estádios finais de sucessão apresentam um crescimento mais lento (jatobá) em relação às dos estádios iniciais (mogno) e intermediários (ipê-amarelo) (BAZZAZ, 1979).



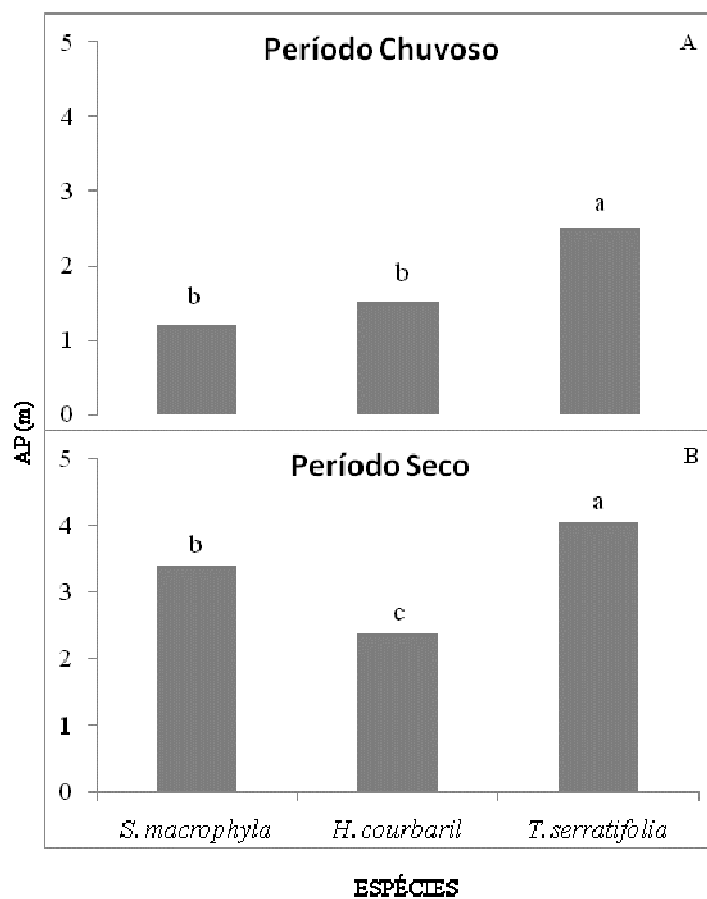
**Figura 21:** Altura da planta (AP, m) (A) e diâmetro do ramo principal (DRP, mm<sup>2</sup>) (B) em plantas jovens de *Swietenia macrophylla* cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\square$  erro padrão da média.



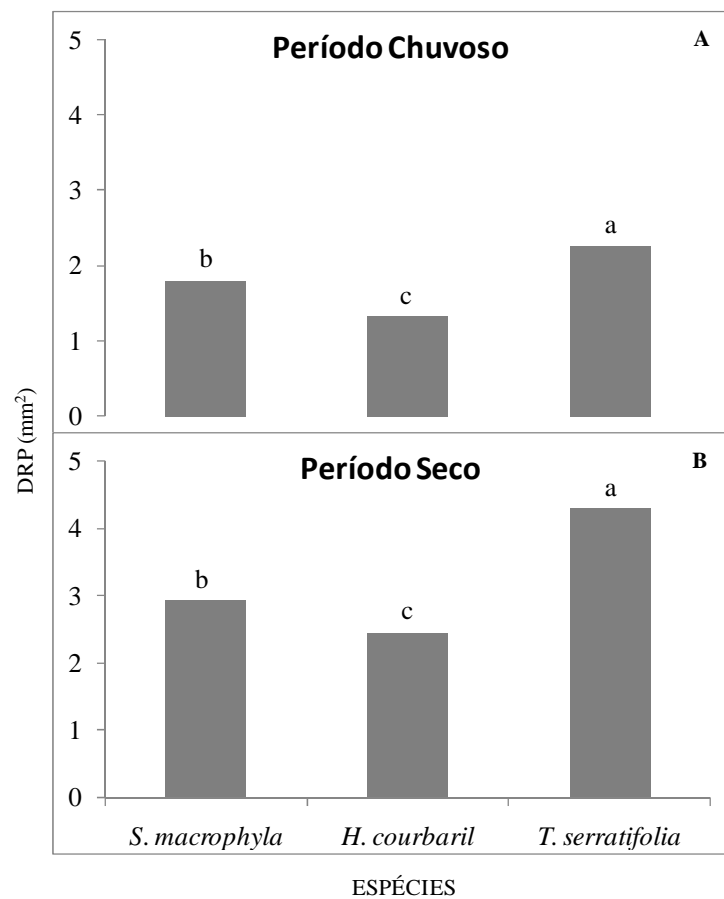
**Figura 22:** Altura da planta (AP, m) (A) e diâmetro do ramo principal (DRP, mm<sup>2</sup>) (B) em plantas jovens de *Hymenea courbaril* cultivadas em condições de campo no período de janeiro de dezembro de 2010. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\pm$  erro padrão da média.



**Figura 23:** Altura da planta (AP, m) (A) e diâmetro do ramo principal (DRP, mm<sup>2</sup>) (B) em plantas jovens de *Tabebuia serratifolia* cultivadas em condições de campo no período de janeiro a dezembro de 2010. Os dados referem-se às médias de dez repetições  $\pm$  erro padrão da média.



**Figura 24:** Altura das plantas (AP, m) em plantas jovens de *Swietenia macrophylla*, *Hymeneae courbaril* e *Tabebuia serratifolia* cultivadas em condições de campo no período chuvoso (A) e seco (B) no município de Igarapé-Açú, Pará.



**Figura 25:** Diâmetro do ramo principal (DRP, mm<sup>2</sup>) em plantas jovens de *Swietenia macrophylla*, *Hymenea courbaril* e *Tabebuia serratifolia* cultivadas em condições de campo no período chuvoso (A) e seco (B) no município de Igarapé-Açu, Pará.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Plantas jovens de mogno brasileiro e ipê-amarelo mostraram obter mecanismos mais eficientes no controle de perda de água, já que apresentaram as menores taxas transpiratórias e menores valores de condutância estomática e fotossíntese no período seco;
- As variáveis ambientais, assim como a quantidade de água disponível no solo, mostraram-se diretamente relacionadas ao comportamento ecofisiológico das espécies estudadas.
- Uma das mais bem estudadas respostas fisiológicas ao déficit hídrico em plantas é a capacidade de algumas espécies de ajustar osmoticamente suas células. Durante a seca, plantas lenhosas ativamente acumulam açúcares, ácidos orgânicos e íons no citosol para diminuir o potencial osmótico e, conseqüentemente, manter o potencial hídrico e o turgor de suas células próximo do nível ótimo. Neste experimento, as plantas cultivadas no período seco apresentaram menores valores de potencial hídrico do xilema foliar, que culminou no aumento dos valores de carboidratos solúveis totais, sacarose, prolina, aminoácidos solúveis totais e diminuição dos teores foliares de amido e proteínas solúveis totais em comparação ao período chuvoso, ou seja, as plantas deste experimento desenvolveram estratégias de defesa ao déficit hídrico para sobrevivência a baixa disponibilidade hídrica do solo.
- Os teores foliares de carboidratos solúveis totais deste experimento tiveram uma concentração mais elevada no período seco, que é o oposto do encontrado para a concentração de amido. A sacarose foi translocada para auxiliar no crescimento e o amido foi armazenado como uma reserva a ser usada quando a fotossíntese não esteja acontecendo.
- Concentrações foliares de sacarose foram mais abundantes no período seco comparada ao período chuvoso. A sacarose pode estar relacionada a uma osmoproteção de maneira que a manutenção da água dentro das células seria mais elevada, quanto mais elevada forem as concentrações de solutos do protoplasma. Uma das estratégias empregadas por plantas para sobreviver ao estresse da seca

inclui a síntese dos compostos protetores, que podem agir estabilizando as membranas e as proteínas ou mediando o ajuste osmótico.

- Através do estudo da ecofisiologia de espécies arbóreas, principalmente no que diz respeito às variáveis bioquímicas e biofísicas, como verificado neste trabalho, podemos verificar que é possível através da difusão de novas técnicas moleculares e biotecnológicas, a identificação de rotas metabólicas ativadas ou desativadas, assim como, à visualização de inúmeras interações que ocorrem em âmbito transcripcional e proteômico, em resposta a eventos de estresse, que contribuem para o aumento da tolerância a condições ambientais adversas.
- Para efeito de recuperação de áreas degradadas na Amazônia Oriental, recomenda-se as três espécies em estudo, baseado nos resultados deste trabalho, principalmente relacionados à capacidade destas espécies de se adaptarem às condições adversas do ambiente.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 27, p. 159-170, 2003.

ARRAZATE, C. H. A.; LÓPEZ, C. T.; CASTAÑEDA, C. L.; GALÁN, M.; VARELA, A. S.; GONZÁLES, F. C. Comparación de la tolerancia a la séquia de cuatro variedades de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con la acumulación de prolina. **Interciência**, v. 30, p. 560-564, 2005.

ASHRAF, M.; AHMAD, S. Influence of sodium chloride on ion accumulation, yield components and fibre characteristics in salttolerant and salt-sensitive lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Field Crops Research**, v. 66, p.115-127, 2000.

ASHRAF, M.; FOOLAD, M. R. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, p. 206-216, 2005.

AZEVEDO NETO, A. D.; PRISCO, J. T.; ENÉAS-FILHO, J.; LACERDA, C. F.; SILVA, J. V.; COSTA, P. H. A.; GOMES-FILHO, E. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 1, p. 31-38, 2004.

BARROS, P. L. C. **Reservas naturais e artificiais de Swietenia macrophylla King na Amazônia Brasileira: numa perspectiva de conservação**. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1992.

BATES, L. S; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.

BAZZAZ, F. A. The physiological ecology of plant succession. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 10, p. 351-371, 1979.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Anal. Biochem**, v. 72, p. 248-254, 1976.

BRAY, E. A.; BAILEY-SERRES, J.; WERETILNYK, E. Responses to abiotic stress. In: BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. (Ed.). **Biochemistry e molecular biology of plants**. 3. ed. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2001. p. 1158-1203.

BRUNINI, O.; CARDOSO, M. Efeito do déficit hídrico do solo sobre o comportamento estomático e potencial da água em mudas de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1053-1060, 1998.

CARCELLER, M.; PRYSTUPA, P.; LEMCOFF, J. H. Remobilization of proline and other nitrogen compounds from senescing leaves of maize under water stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Berlin, v. 183, p. 61-66, 1999.

CARLESSO, R.; SANTOS, R. F. Disponibilidade de água às plantas de milho em solos de diferentes texturas. **R. Bras. Ciência do. Solo**, v. 23, p. 27-33, 1999.

CARVALHO, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [*S. parahyba* var. *amazonicum*] e *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, v. 29, p. 907-914, 2005.

CARVALHO, P. E. R. Produção de mudas de espécies nativas por sementes e a implantação de povoamentos. In: GALVÃO, A. P. M. (Org.). **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília: EMBRAPA, 2000. p. 151-174.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. v. 1

CASCARDO, J. C. M.; OLIVEIRA, L. E. M.; SOARES, A. M. Disponibilidade de água e doses de gesso agrícola nas relações hídricas da seringueira. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 5, n. 1, p. 31-34, 1993.

CATALA, R.; OUYANG, J.; ABREU, I. A.; H. U. Y.; SEO, H.; ZHANG, X.; CHUA, N. H. The Arabidopsis E3 SUMO ligase SIZ1 regulates plant growth and drought responses. **Plant Cell**, v. 19, p. 2952-2966, 2007.

CHAVES, J. H. **Crescimento, fotossíntese e relações hídricas de clones de eucalipto sob diferentes regimes hídricos**. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

CHAVES, J. H. et al. Seleção precoce de clones de eucalipto para ambientes com disponibilidade diferenciada de água no solo: relações hídricas de plantas em tubetes. **Revista Árvore**, v. 28, n.3, p. 333-341, 2004.

CHEN, T. H. H.; MURATA, N. Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 5, p. 250-257, 2002.

CHINNUSAMY, V.; ZHU, J. K. Plant salt tolerance. In: Hirt, H.; Shinozaki, K. (Ed.). Plant response to abiotic stress. **Topics in Current Genetics**, v. 4, p. 241-261, p. 300, 2004.

CHUDNOFF, M. **Tropical timbers of the world**. Madison, Wisconsin: USDA Forest Service, 1979. 831 p.

CORDEIRO, Y. E. M.; PINHEIRO, H. A. ; Filho, B. G. S. ; CORREA, S. S. ; SILVA, J. R. R. E.; FILHO, M. B. D. . Physiological and morphological responses of young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) plants to drought. **Forest ecology and management**, v. 258, p. 1449-1455, 2009.

CORREIA, K. G; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaeae* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, p. 1-7, 2004.

COSTA, M. S. S. **Controle de *Hypsipyla grandella* Zeller (Broca do Mogno)**: utilizando a planta resistente *Toona ciliata* Roem (Cedro australiano) e os métodos mecânico e cultural no plantio de *Swietenia macrophylla* King (Mogno). 2000. 52 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Faculdade de Ciências Agrárias do Para, Belém, 2000.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v. 37, p. 229-234, 2007.

CRONQUIST, A. **The evolution and classification of flowering plants**. EUA: New York Botanical Garden Pr Dept, 1988. 555 p.

DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; PINHEIRO, H. A.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M. E. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science**, v. 164, p. 111-117, 2003.

DAMATTA, F. M.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S.; REGAZZI, A. J. Water relations of coffee leaves (*Coffea arabica* and *C. canephora*) in response to drought. **Journal of Horticultural Science**, v. 68, p. 741-746, 1993.

DIAS FILHO, M. B. Physiological response of *Solanum crinitum* Lam. to contrasting light environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p. 789-796, 1997.

DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. Photoinhibition of photosynthesis in *Minuartia guianensis* and *Swietenia macrophylla* inferred by monitoring the initial fluorescence. **Photosynthetica**, v. 44, n. 2, p. 235-240, 2006.

DONOVAN, L. A.; WEST, J. B.; MCLEOD, K. W. Quercus species differ in water and nutrient characteristics in a resource-limited fall-line sandhill habitat. **Tree physiology**, v. 20, p. 929-936, 2000.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analitical Chemistry**, v. 28, p. 305-356, 1956.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1999. 412 p.

FERNÁNDEZ J. E.; MORENO F.; GIRÓN I. F.; BLÁZQUEZ O. M. Stomatal control of water use in olives trees leaves. **Plant Soil**, v. 190, p. 179–192, 1997.

FERREIRA, C. A. C.; SAMPAIO, P. T. B. Jatobá (*Hymenaea courbaril*). In: Clay, J. W. et al. **Biodiversidade amazônica: exemplos e estratégias de utilização**. Manaus: PDET, 2000. p. 216-225.

FERREIRA, L.; CHALUB, D.; MUXFELDT, R. Ipê-amarelo: *Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nichols. **Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia**, Manaus, v. 5, 2004.

FILHO, J. L. C.; BLANK, M. F. A.; BLANK, A. F.; RANGEL, M. S. A. Produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes ambientes, recipientes e composições de substratos. **Cerne**, v.9, p.109-118, 2003.

FILHO, J. T. C.; SERAPHIN, E. S. 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**, v. 24, p. 199-204, 2001.

FORD C. W.; WILSON J. R. Changes in levels of solutes during osmotic adjustment to water stress in leaves of four tropical pasture species. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 8, p. 77-91, 1981.

GAUDILLERE, J. P. La photorespiration et son coût énergétique. In: La photosynthèse. **Comptes Rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France**, v.11, p. 872-882, 1982.

GIORIO, P.; SORRENTINO, G.; DIANDRIA, R. Stomatal behaviour, leaf water status and photosynthetic response in field-grown olive trees under water deficit. **Environmental and Experimental Botany** v. 42, p. 95–104, 1999.

GRIEVE C. M.; GRATAN S. R. Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. **Plant and Soil**, v. 70, p. 303-307, 1983.

GROGAN, J. E. **Bigleaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in southeast Para, Brazil: a life history study with management guidelines for sustained production from natural forests**. Yale University School of Forestry e Environmental Studies, New Haven, CT, USA. Tese de Ph. D. 422 p, 2001.

GUCCI, R.; MASSAI, R.; XILOYANNIS, C.; FLORE, J. A. The effect of drought and vapour pressure deficit on gas exchange of young kiwifruit (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa*) vines. **Annals of Botany**, v. 77, p. 605–613, 1996.

HANDA, S.; HANDA, A. K.; HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A. Proline accumulation and the adaptation of cultured plant cells to water stress. **Plant Physiology**, v. 80, p. 938–945, 1986.

HOEKSTRA, F. A., GOLOVINA, E. A., BUITINK, J. Mechanisms of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 6, n. 9, p. 431-8, 2001.

HUBBARD, R. M.; BOND, B. J.; RYAN, M. G. Evidence that hydraulic conductance limits photosynthesis in old *Pinus ponderosa* trees. **Tree Physiology**, v. 19, p. 165–172, 1999.

IRIGOYEN, J. J., EMERICH, D. W., SANCHEZ-DIAZ, M. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. **Physiol. Plant.**, v. 84, p. 55–60, 1992.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. 452 p.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic Press. 1995. 495 p.

LAMB, F. B. **Mahogany of Tropical America**: its ecology and management. Ann Arbor: University of Michigan. 1966. 220 p.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos**: possibilidade e métodos de aproveitamento sustentado. Hamburgo: GTZ, 343p, 1990.

LANDSBERG J. J. **Physiological ecology of forest production**. London: Academic Press, 1986. 198 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2004. 531 p.

LAURENCE, W. F.; ALBERNAZ, A. K. M.; SCHROTH, G.; FEARNSIDE, P. M.; BERGEN, S.; VENTICINQUE, E. M.; COSTA, C. Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon. **Journal of Biogeography**, v. 29, p. 737-748, 2002.

LIBERATO, M. A. R.; GONÇALVES, J. F. C.; CHEVREUIL, L. R.; NINA JÚNIOR, A. R.; FERNANDES, A. V.; SANTOS JÚNIOR, U. M. Leaf water potential, gas exchange and chlorophyll *a* fluorescence in acariquara seedlings (*Minquartia guianensis* Aubl.) under water stress and recovery. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 2, p. 315-323, 2006.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2.ed. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1993. 301 p.

LIMA, W. P.; JARVIS, P.; RHIZPOULOU, S. Stomatal responses of eucalyptus species to elevated CO<sub>2</sub> concentration drought stress. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 231-238, 2003.

LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; COSTA, R. C. L.; SANTOS FILHO, B. G., CRUZ, F. J. R.; LAUGHINGHOUSE IV, H. D. Biochemical and physiological behavior of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. under stress during the vegetative phase. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.7, p. 44-49, 2008.

LÓPEZ-CLIMENT, M. F.; ARBONA, V.; PÉREZ-CLEMENTE, R. M.; GÓMEZCADENAS, Relationship between salt tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 62, n. 2, p.176-184, 2008.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1998. v. 2.

\_\_\_\_\_. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. 2 ed. São Paulo: Nova Odessa, 2002. 384 p. v. 2.

\_\_\_\_\_. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. São Paulo: Plantarum, 1992. p. 1-15. v. 1

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F.; ALENCAR, J. C. **Essências madeiras da Amazônia**. Manaus: CNPq/INPA/SUFRAMA, 1979. (Boletim de Pesquisa, 1). p. 245,

MAIA, P. S. P. et al. Conteúdo relativo de água, teor de prolina e carboidratos solúveis totais em folhas de duas cultivares de milho submetidas a estresse hídrico. **Rev. Bras. de Biociências**. Porto Alegre, v. 5, p. 918-920, jul. 2007, supl. 2.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas, nutrição mineral. 3 ed. Minas Gerais: UFV, 2005. 486 p.

MARENCO, R. A.; GONÇALVES, J. D.; VIEIRA, G. Photosynthesis and leaf nutrient contents in *Ochroma pyramidale* (Bombacaceae). **Photosynthetica**, v.39, n. 4, p. 539-543, 2001.

MARENCO, R.A.; SIEBKE, K.; FARQUHAR, G.D., BALL, M.C. Hydraulically based stomatal oscillations and stomatal patchiness in *Gossypium hirsutum*. **Functional Plant Biology**, v. 33, n. 12, p. 1103-1113, 2006.

MARUYAMA, Y.; NAKAMURA, S.; MARENCO, R.A.; VIEIRA, G.; SATO, A. Photosynthetic traits of seedlings of several tree species in an Amazonian forest. **Tropics**, v. 14, n.3, p. 211-219, 2005.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; PINTO, J. M. Fotossíntese de laranjeira 'Valência' enxertada sobre quatro porta-enxertos e submetida à deficiência hídrica. **Bragantia**, v. 57, p. 1-14, 1998.

MELO, J. E.; CARVALHO, G. M.; MARTINS, V. A. **Espécies de madeiras substitutas do mogno**. Manaus: IBAMA, 1989. 16 p. (Série Técnica, 6).

MEYER, R.F.; BOYER, J.S. Osmoregulation, solute distribution, and growth in soybean seedlings having low water potentials. **Planta**, v. 151, p. 482-489, 1981.

MITRA, J. Genetics and genetic improvement of drought resistance of crop plants. **Current Science**, v. 80, p. 758-763, 2001.

MIYASHITA, K.; TANAKAMARU, S.; MAITANI, T.; KIMURA, K. Recovery responses of photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance in kidney bean following drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 53, p. 205-214, 2005.

MORAES, J. A. P. V.; PRADO, C. H. B. A. Photosynthesis and water relations in Cerrado vegetation. In: SCARANO, F. R.; FRANCO, A. C. (Ed.) **Ecophysiological strategies of xerophytic and amphibious plants in the Neotropics**. Rio de Janeiro: Instituto de Biologia; Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1998. p 45-63. (Oecologia brasiliensis, 4).

NAVES-BARBIERO, C. C.; FRANCO, A. C.; BUCCI, S. J.; GOLDSTEIN, G. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. 2, p. 119-134, 2000.

NILSEN, E. T.; ORCUTT, D. M. **Physiology of plants under stress: abiotic factors**. New York: John Wiley e Sons, 1996. 689 p.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Aspectos ecofisiológicos da tolerância à seca em plantas da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005. 500 p.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; BURITY, H. A.; MORAES, J. A. P. V. Transpiração e potencial hídrico foliar em aceroleiras (*Malpighia emarginata* DC) cultivadas na zona semi-árida de Pernambuco. **Revista Científica Rural**, v. 3, n. 2, p. 75-81, 1998.

OLIVEIRA, M. A. J.; BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A.; HABERMANN, G.; RODRIGUES, J. D. Fotossíntese, Condutância estomática e Transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agrícola**, v. 59, p. 59-63, 2002.

OSBERT, J. S., GEOFFREY, B., WHITEHEAD, D. S., BUCHAN, D. Physiological response to water stress and water logging in Nothofagus species. **Tree Physiology**, v.15, p. 629–638, 1995.

OSÓRIO, J.; OSÓRIO, M. L.; CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S. Water deficits are more important in delaying growth than in changing patterns of carbon allocation in *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiology**, v. 18, p. 363-373, 1998.

PASSOS, C. D.; PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. A. Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão. **Revista Brasileira de**

**Fruticultura**, v. 27, n. 2, p. 248-254, 2005.

PENNINGTON, T. D.; STYLES, B. T.; TAYLER, D. A. H. Meliaceae. **Flora Neotropica Monograph**, v. 28, p. 1-472, 1981.

PEOPLES, M. B., FAIZAH, A.W., REAKASEM, B.; HENRIDGE, D. F. **Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field**. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1989. 76 p.

PEREZ, S. C. J. G. A.; MORAES, J. A. P. V. Determinações de potencial hídrico, condutância estomática e potencial osmótico em espécies dos estratos arbóreo, arbustivo e herbáceo de um cerradão. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 3, p. 27-37, 1991.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: Edur, 191p. 2004.

PIMENTEL, C. **Respostas fisiológicas à falta d'água**: limitação difusiva ou metabólica? In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. DE L.; WILLADINO, L.G.; CAVALCANTE, U. M. T.; (Ed.). **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. p.13-21.

PINHEIRO, A. L. Resistência do mogno (*Swietenia macrophylla* King) à *Hypsipylla* Zeller. **Informativo Técnico**, Viçosa, Departamento de engenharia florestal da Universidade Federal de Viçosa, 2000. (Folha Florestal, 97)

PITA, P.; PARDOS, J.A. Growth, leaf morphology, water use and tissue water relations of *Eucalyptus globulus* clones in response to water deficit. **Tree Physiology**, v. 21, p. 599-607, 2001.

POSPISILOVÁ, J.; SANTRUCEK, J. Stomatal patchiness. **Biologia Plantarum**, v. 36, n. 4, p. 481-510, 1994.

PRADO, C. H. B. A.; MORAES, J. A. P. V.; MATTOS, E. A. Gas exchange and leaf water status in potted plants of *Copaifera langsdorffii*: responses to water stress. **Photosynthetica**, v. 30, p. 207-213, 1994.

RASCHKE, K. Movements using turgor mechanisms. In: HAUPT, W.; FEINLEIB, M. E. (Ed.) **Physiology of movements**, Berlin, v. 7, p. 383-441, 1979.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MAESTRI, M. Crescimento e relações hídricas de mudas de

*Eucalyptus grandis* e *E. camaldulensis* em tubetes sob três regimes de irrigação. **Revista Árvore**, v. 12, n. 2, p. 183-195, 1988.

RHODES D., HANSON A. D. Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. **Annual Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.**, n. 44, p. 357–384, 1993.

ROMERO P.; PABLO BOTÍA P. Daily and seasonal patterns of leaf water relations and gas exchange of regulated deficit-irrigated almond trees under semiarid conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, p. 158–173, 2006.

RONTEIN D, BASSET G., HANSON A. D. Metabolic engineering of osmoprotectants accumulation in plants. **Metab. Engineer.**, n. 4, p. 49-56, 2002.

SAEG-SISTEMA PARA ANÁLISES ESTATÍSTICAS: Versão 9.1. Viçosa, MG: Fundação Arthur Bernardes; UFV, 2007.

SCALON, S. D. E. P. Q.; MUSSURY, R. M.; RIGONI, M. R.; VERALDO, F. Crescimento inicial de mudas de espécies florestais nativas sob diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n.1, p.1-5, 2002.

SILVA E. C., NOGUEIRA R. J. M. C.; AZEVEDO NETO A. D.; BRITO J. Z.; CABRAL E. L. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. **Iheringia**, v. 59, p. 201-205, 2004.

SILVA, B. G; LEMOS FILHO, J. P. L. Water relations of woody species in the campus Pampulha/UFMG. **Revista Brasileira de Botânica**, Belo Horizonte, MG, v. 24, p. 519-525, 2001.

SILVA, E. N.; SILVEIRA, J. A. G.; RODRIGUES, C. R. F.; LIMA, C. S.; VIÉGAS, R. A. Contribuição de solutos orgânicos e inorgânicos no ajustamento osmótico de pinhão-mansão submetido à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 5, p. 437-445, 2009.

SILVA, M. R. **Caracterização morfológica, fisiológica e nutricional de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico durante a fase de rustificação.** 1998. 105 f. Dissertação (Mestrado em Silvicultura) - Universidade do Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

SIMMONDS, M. S. J. Molecular- and chemo-systematics: do they have a role in agrochemical discovery. **Crop Protection**, Oxford, v.19, p. 591-596, 2000.

SMIRNOFF N. Antioxidant systems and plant response to the environment. In: SMIRNOFF N. (Ed.). **Environment and plant metabolism: flexibility and acclimation**. Oxford: BIOS Scientific Publishers, 1995. p. 217–243.

SOBRAL, L.; VERÍSSIMO, A.; LIMA, E.; AZEVEDO, T.; SMERALDI, R. **Acertando o alvo 2: Consumo de madeira amazônica e certificação florestal no Estado de São Paulo**. Belém: Imazon, 2002. 72 p.

SOUZA, R. C.; SOARES, M. A; REGINA, A. M. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 10, p. 1221-1230, 2001.

SUBBARAO, G. V.; CHAUHAN, Y. S.; JOHANSEN, C. Patterns of osmotic adjustment in pigeonpea: its importance as a mechanism of drought resistance. **European Journal of Agronomy**, v. 12, p. 239–249, 2000.

TAIZ L.; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TATAGIBA, S. D, PEZZOPANE, J. E. M; REIS, E. F; DARDENGO, M. C. A; TEÓPHILO, J. D; EFFGEN, A. M. Comportamento ecofisiológico de clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 149-159, 2007.

TEREZO, E. F. MOURA. **Status do mogno (*Swietenia macrophylla* King) na Amazonia brasileira**/Evaristo F. Moura Terezo: Programa na Amazonia Nacional de Florestais. Brasília: Ministerio do Meio Ambiente, 1999.

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na<sup>+</sup> tolerance and Na<sup>+</sup> transport in higher plants. **Annals of Botany**, v. 91, p. 503-527, 2003.

TIMPA, J. D.; BURKE, J. J.; QUISENBERRY, J. E.; WENDT, C.W. Effects of water stress on the organic acid and carbohydrate compositions of cotton plants. **Plant Physiology**, v. 82, p. 724-728, 1986.

VALLIYODAN, B.; NGUYEN, H. T. Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 9, p. 189-195, 2006.

VAN HANDEL, E. Direct microdetermination of sucrose. **Anal Biochem**, v. 22, p. 280-283, 1968.

WHITMORE, J. L. *Swietenia macrophylla* and *S. humilis* (caoba, mahogany). In: JANZEN, D. H. (Ed.). **Costa Rica Natural History**. Chicago: University of Chicago York Botanical Garden, 1988. p. 331-333