

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL - PPGBV

GABRIELLA FROSI ALBUQUERQUE FIGUEIRÔA FARIA

**Avaliação da germinação e mecanismos de tolerância à seca
de duas oleaginosas perenes sob déficit hídrico**

RECIFE
2013

GABRIELLA FROSI ALBUQUERQUE FIGUEIRÔA FARIA

**Avaliação da germinação e mecanismos de tolerância à seca de
duas oleaginosas perenes sob déficit hídrico**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal.

Área de concentração: Ecofisiologia Vegetal e Anatomia Ecológica

Orientador: Prof. Dr. Mauro Guida dos Santos

RECIFE
2013

Catálogo na fonte

Elaine Barroso

CRB 1728

Faria, Gabriella Frosi Albuquerque Figuerôa

Avaliação da germinação e mecanismos de tolerância à seca de duas oleaginosas perenes sob déficit hídrico/ Gabriella Frosi Albuquerque Figuerôa Faria– Recife: O Autor, 2013.

90 folhas : il., fig., tab.

Orientador: Mauro Guida dos Santos

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Biológicas, Biologia Vegetal, 2013.

Inclui bibliografia e anexos

1. Plantas oleaginosas 2. Biodiesel 3. Plantas- efeito da seca I. Santos, Mauro Guida dos (orientador) II. Título

633.85

CDD (22.ed.)

UFPE/CCB- 2013- 057

TERMO DE APROVAÇÃO

GABRIELLA FROSI ALBUQUERQUE FIGUEIRÔA

Avaliação da germinação e mecanismos de tolerância à seca de duas oleaginosas perenes sob déficit hídrico

Dissertação apresentada ao Programa de pós Graduação em Biologia Vegetal do Departamento de Botânica, do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal pela comissão julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr^o Mauro Guida dos Santos
(Orientador- Departamento de Botânica – UFPE)

Profª. Dra Lilia Gomes Willadino
(Departamento de Biologia – UFRPE)

Prof. Dr^o André Luiz Alves de Lima
(Departamento de Biologia – UAST-UFRPE)

RECIFE
2013

*Dedico esta dissertação ao meu
lindo filho Marcos Vinícius, meu
anjo, meu espírito de luz que me
ilumina a cada dia, ao meu marido
Luiz Henrique, que me apoiou
nessa jornada, e a toda minha
família que sempre esteve presente.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecer a Deus por toda a luz e proteção.

Ao meu orientador, Professor Mauro Guida dos Santos, por todo o suporte, conselhos e muita paciência. Ele que mais do que um orientador, foi um amigo que pude contar para todas as horas.

Ao Laboratório de Ecofisiologia Vegetal, que eu tenho muito orgulho de fazer parte. E assim, agradecer aos meus colegas de trabalho sem exceção: Rebeca, Marciel, Karla, Hiram, Bruno, Silvia Caroline, Camila, Silvia Santos, João, Bety, Carol, Déborah, Lígia, Natália, Rodrigo, Jaislanny, Claudjane, Mari, Lumena.

Ao Centro de Estratégias Tecnológicas do Nordeste (CETENE) pela parceria e apoio na realização desse trabalho, em especial a todos da Usina Experimental de Biodiesel de Caetés, onde o experimento foi instalado.

Ao Wolfgang Harand, por todo o suporte intelectual, além do próprio trabalho braçal.

Ao Professor Marcello Francisco Pompelli, pelas dúvidas tiradas, artigos fornecidos e paciência.

À Professora Jarcilene Almeida-Cortez, pela grande força que sempre me deu, tanto intelectual como pessoal, e pelo nosso artigo aceito, fruto de um trabalho bem sucedido.

À Professora Emília Arruda, por todo o suporte técnico e intelectual.

Ao meu marido Luiz Henrique, que além do apoio em casa, foi também a campo, não podendo lhe faltar um agradecimento mais do que justo, pois ele trabalhou pesado, e agora sabe o que todos nós do LEV passamos. E assim, nos defende quando perguntam: mas o pessoal só faz isso? Também agradecer pela paciência, companheirismo e pela evolução que ele também apresentou ao longo dessa jornada.

Ao meu filho amado e querido, a minha vida, Marcos Vinícius, que ao meu ver cansada e muitas vezes abatida, chegou bem pertinho de mim, me abraçando e dizendo: “Mãe, eu sei que a senhora vai conseguir, eu confio em você”. Ele é minha energia, é minha luz, e nunca me cansarei de lutar por ele, em hipótese alguma. Está aqui meu filho, a prova que nós conseguimos, pois você lutou comigo nesses dois anos. Você merece meus muitos agradecimentos. Amo-te infinitamente.

Aos meus pais, Beatriz e Djalma, que sempre me apoiaram e confiaram em mim, e o mínimo que eu posso fazer é lhes agradecer por tudo que fazem por mim e Marquinhos.

Aos meus irmãos, em especial Luciane, que sempre foi minha amiga de todas as horas, e nos momentos de dificuldade, sempre me estendeu a mão.

Ao meu cunhado Adriano, por toda a força nesse período difícil.

Aos meus sobrinhos Bruno, Guilherme e Giovanna, que torceram muito por mim.

Aos meus sogros, Elysio e Fernanda, por serem meus pais postiços. Vocês estão em meu coração.

Como não agradecer a Fernanda Dias, minha amiga desde o início do curso, que sempre me apoiou, acreditou e foi fundamental na minha formação. Mesmo sendo de outra área, sempre esteve presente. Minha irmã de coração.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal.

A CAPES, pelo apoio financeiro durante esses 24 meses de curso.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Déficit de pressão de vapor e temperatura foliar de plantas de *Pachira aquatica* e *Sterculia foetida* sob diferentes regimes hídricos: controle, estresse moderado e estresse severo. Letras comparando os tratamentos em cada dia para cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 5 \pm \text{E.P.}$).

Figura 2 – Trocas gasosas (condutância estomática, taxa de assimilação líquida de CO_2 , transpiração) e eficiência do uso da água de plantas de *Pachira aquatica* e *Sterculia foetida* na estação chuvosa (maio/11) e seca (nov/11) em Caetés - PE. Comparações foram feitas entre estações e horários para cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes em cada coluna diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 5 \pm \text{E.P.}$).

Figura 3 – Dados biométricos de plantas de *Pachira aquatica* e *Sterculia foetida* sob diferentes regimes hídricos: controle, estresse moderado e estresse severo. Letras comparando os tratamentos em cada dia para cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 7 \pm \text{E.P.}$).

Figura 4 – Potencial hídrico foliar e umidade relativa do solo de plantas de *Pachira aquatica* e *Sterculia foetida* sob diferentes regimes hídricos: controle, estresse moderado e estresse severo. Letras comparando os tratamentos hídricos no período de máximo estresse e recuperação respectivamente de cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes em cada coluna diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 5 \pm \text{E.P.}$).

Figura 5 - Trocas gasosas e eficiência do uso da água de plantas de *Pachira aquatica* e *Sterculia foetida* sob diferentes regimes hídricos: controle, estresse moderado e estresse severo. Letras comparando os tratamentos em cada dia para cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 5 \pm \text{E.P.}$).

Figura 6 – Fluorescência da clorofila *a* de plantas de *Pachira aquatica* e *Sterculia foetida* sob diferentes regimes hídricos: controle, estresse moderado e estresse severo.

Letras comparando os tratamentos em cada dia para cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 5 \pm E.P$)

Figura 7 – Balanço bioquímico de carboidratos solúveis totais, amido, aminoácidos livres totais e proteínas totais de plantas de *Pachira aquatica* e *Sterculia foetida* sob diferentes regimes hídricos: controle, estresse moderado e estresse severo. Letras comparando os tratamentos hídricos no período de máximo estresse e recuperação respectivamente de cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes em cada coluna diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 4 \pm E.P$)

Figura 8 – Balanço bioquímico de pigmentos fotossintéticos de plantas de *Pachira aquatica* e *Sterculia foetida* sob diferentes regimes hídricos: controle, estresse moderado e estresse severo. Letras comparando os tratamentos hídricos no período de máximo estresse e recuperação respectivamente de cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes em cada coluna diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 4 \pm E.P$)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Condições ambientais e medidas de potencial hídrico foliar, umidade relativa do solo e temperatura foliar de plantas de *Pachira aquatica* e *Sterculia foetida* na estação chuvosa (maio/11) e seca (nov/11) em Caetés - PE. Comparações foram feitas entre estações e horários para cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes em cada coluna diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 5 \pm E.P.$).

Tabela 2 - Porcentagem de emergência e tempo médio de emergência de sementes de *Pachira aquatica* e *Sterculia foetida* em substrato areia lavada em casa de vegetação. ($n = 4 \pm E.P.$).

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A – Taxa de assimilação líquida de CO₂

ALT – Aminoácidos livres totais

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

Car - Carotenoides

CC – Capacidade de campo

CCB – Centro de Ciências biológicas

CETENE – Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste

Chl - Clorofila

CO₂ – Dióxido de carbono

CST – Carboidratos solúveis totais

DPV – Déficit de pressão de vapor

E – Taxa de transpiração

E – Porcentagem de emergência

ETR – Taxa de transporte linear de elétrons

EUA – Eficiência do uso da água

F_v/F_m – Eficiência quântica máxima do fotossistema II

g_s – Condutância estomática

IRGA – Analisador de Gases por Infravermelho

ME – Máximo estresse

MS – Massa seca

NPQ – Quenching não fotoquímico

PPF – Fluxo de fótons fotossintéticos

PSII – Fotossistema II

PT – Proteínas totais

q_p – Proporção de abertura do fotossistema II

TME – Tempo médio de emergência

LISTA DE SÍMBOLOS

Φ_{PSII} – Eficiência quântica efetiva do fotossistema II

Ψ_f - Potencial hídrico foliar

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 Biodiesel	17
2.2 Germinação	19
2.3 Déficit Hídrico.....	20
2.4 Bioquímica Foliar.....	22
2.5 <i>Pachira aquatica</i> (Abul) e <i>Sterculia foetida</i> L.....	23
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
MANUSCRITO.....	36
Capa.....	37
Resumo.....	38
4. INTRODUÇÃO.....	39
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
5.1 Experimento de Campo.....	40
5.1.1 Material vegetal e condições de crescimento.....	40
5.2 Experimento Casa de vegetação	41
5.3 Germinação	42
5.4 Biometria.....	42
5.5 Potencial hídrico foliar (Ψ_f) e umidade relativa do solo (UR_{solo}).....	43
5.6 Medidas de trocas gasosas e fluorescência da clorofila <i>a</i>.....	43

5.7 Análises bioquímicas do tecido foliar.....	44
5.8 Análise estatística	45
6. RESULTADOS	46
6.1 Experimento de Campo.....	46
6.1.1 Status hídrico da planta e solo.....	46
6.1.2 Trocas gasosas.....	46
6.1.3 Análises bioquímicas do tecido vegetal.....	47
6.2 Experimento Casa de vegetação.....	48
6.2.1 Germinação.....	48
6.2.2 Biometria.....	48
6.2.3 Status hídrico da planta e solo	48
6.2.4 Trocas gasosas e fluorescência da clorofila <i>a</i>	49
6.2.5 Análises bioquímicas do tecido vegetal.....	50
7. DISCUSSÃO	53
7.1 Campo.....	53
7.2 Casa de vegetação.....	55
8. CONCLUSÕES	60
9. AGRADECIMENTOS	61
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

RESUMO	80
ABSTRACT	82
ANEXOS	84

1. APRESENTAÇÃO

O Brasil é um dos países com maior potencial para a produção de combustíveis a partir de biomassa e explora menos de um terço de sua área agricultável, o que constitui a maior fronteira para expansão agrícola do mundo, cerca de 150 milhões de hectares. Assim, a área de expansão dos Cerrados, a integração pecuária–agricultura, as pastagens degradadas, as áreas de reflorestamento e as atualmente marginalizadas – como o semiárido nordestino – somam cerca de 200 milhões de hectares (TRZECIAK et al., 2008).

A oferta de matéria prima parece ser uma das principais dificuldades restritivas para a implementação de um programa de produção extensiva de biodiesel. Atualmente, a matéria prima para a obtenção de óleo no Brasil encontra-se fortemente concentrada na cultura da soja. Cerca de 90% de óleo vegetal produzido originam-se dessa oleaginosa. Outras oleaginosas tradicionais como mamona, algodão, girassol, canola e amendoim contribuem com pequenas quantidades de óleo (CARGININ, 2007).

Comparado ao óleo diesel derivado de petróleo, o biodiesel pode reduzir em 78% as emissões de gás carbônico, considerando-se a reabsorção pelas plantas. Além disso, reduz em 90% as emissões de fumaça e praticamente elimina as emissões de óxido de enxofre. É importante frisar que o biodiesel pode ser usado em qualquer motor de ciclo diesel, com pouca ou nenhuma necessidade de adaptação (CARVALHO et. al., 2005; TORRES et. al., 2006).

De acordo com Beltrão (2007), o Brasil pode produzir mais de 60% das demandas mundiais de energia renovável para substituir o petróleo e seus derivados, em especial o diesel mineral, que somente no Brasil são consumidos por ano cerca de 40 milhões de litros.

O Nordeste brasileiro possui imensa diversidade de plantas oleaginosas que na sua maioria ainda precisam ser melhores estudadas, conservadas e, em alguns casos, preservadas. Muitas dessas espécies são de grande importância para o homem, não só para a indústria de alimentos, mas também como matéria prima para a produção de biodiesel (BELTRÃO; OLIVEIRA, 2007). Sendo assim, estudos que visam identificar espécies potenciais para produção de óleo, que não sejam utilizadas também na indústria alimentícia, como é o caso da soja, são relevantes.

A lista de espécies produtoras de óleo é superior a 100, das quais pelo menos dez apresentam boa potencialidade para domesticação e futura exploração comercial. Sendo

a variedade muito grande, o maior desafio é escolher a oleaginosa mais adequada para explorar ao máximo as potencialidades regionais (TRZECIAK et al., 2008). No caso da região Nordeste, a vegetação é exposta a um regime pluviométrico irregular, passando por períodos de escassez de água, sendo necessário por parte das plantas o lançamento de mecanismos e adaptações para superar as condições adversas. Duas oleaginosas que já vêm sendo destacadas na literatura como potenciais produtoras e capazes de se adaptar a diferentes condições edafoclimáticas são a *Pachira aquatica* (Aubl) e *Sterculia foetida* L (OLIVEIRA et al., 2000; ARAÚJO, 2008; PAULA; CRUZ, 2006).

Desse modo, o trabalho visa obter resultados para determinar o comportamento de duas oleaginosas não convencionais potenciais para a obtenção de óleo de boa qualidade para a produção de Biodiesel, a *Pachira aquatica* (Aubl) e *Sterculia foetida* L, buscando identificar seus parâmetros fisiológicos chave sob déficit hídrico em condições de campo e casa de vegetação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Biodiesel

As fontes renováveis de energia assumem importante presença no mundo contemporâneo pelas seguintes razões: 1) os cenários futuros apontam para a possível finitude das reservas de petróleo; 2) a concentração de petróleo explorado atualmente está em áreas geográficas de conflito, o que impacta no preço e na regularidade de fornecimento do produto; 3) as novas jazidas em prospecção estão situadas geograficamente em áreas de elevado custo para a sua extração; e 4) as mudanças climáticas com as emissões de gases de efeito estufa liberados pelas atividades humanas e pelo uso intensivo de combustíveis fósseis, com danosos impactos ambientais, reorientam o mundo contemporâneo para a busca de novas fontes de energia com possibilidade de renovação e que assegurem o desenvolvimento sustentável (SEBRAE, 2006).

No Brasil, os estudos acerca dos combustíveis alternativos datam da década de 20, quando o Instituto Nacional de Tecnologia estudava e testava combustíveis alternativos e renováveis (FONTES; FONTES, 2010). A crise do petróleo nos anos 70 e 80 no século XX, que gerou um aumento no valor do barril do petróleo; os alertas constantes de mudanças climáticas devido às elevadas emissões de gases de efeito estufa na

atmosfera e a dependência do Brasil na importação do petróleo culminaram para o despertar da necessidade da pesquisa acerca de fontes de energias renováveis. Em 1975, foi criado o Programa Nacional do Álcool – Proálcool, para substituir a utilização do derivado do petróleo (a gasolina) como combustível, sendo também utilizado em uma mistura com esse combustível (gasolina + álcool anidro) para reduzir a poluição. A produção de biodiesel iniciou-se de fato na década de 1970, por meio do desenvolvimento do Proálcool (FONTES; FONTES, 2010).

Por definição, biodiesel é um substituto natural do diesel de petróleo, que pode ser produzido a partir de fontes renováveis como óleos vegetais, gorduras animais e óleos utilizados para cocção de alimentos (fritura). Todos os óleos vegetais da categoria de óleos fixos e triglicerídeos, como os presentes nas sementes das espécies da família Malvaceae e Filicaceae, podem ser transformados em biodiesel, o qual pode ser obtido por processos químicos, como craqueamento ou transesterificação. Este último é o mais utilizado; a matéria prima é submetida a um processo de neutralização e secagem, e a acidez é reduzida por uma lavagem com solução alcalina de hidróxido de sódio ou potássio. Para a remoção da glicerina, é utilizado metanol ou etanol (PARENTE, 2003). Quimicamente, é definido como éster monoalquílico de ácidos graxos derivados de lipídeos de ocorrência natural e pode ser produzido, juntamente com a glicerina, através da reação de triacilgliceróis (ou triglicerídeos) com etanol ou metanol, na presença de um catalisador ácido ou básico (SCHUCHARDT et al., 1998; ZAGONEL; RAMOS, 2001; RAMOS, 1999, 2003).

A utilização do biodiesel no Brasil, por sua vez, ocorreu na Universidade do Ceará, no final da década de 1970, início da década de 80. Em 1980, Expedito Parente solicitou a primeira patente brasileira para produção de biodiesel e de querosene vegetal de aviação. Houve então a participação de outras instituições de pesquisas, tais como a Petrobras e o Ministério da Aeronáutica, tendo sido, pois, criado o Prodiesel em 1980 (FONTES; FONTES, 2010).

Apesar da criação do Prodiesel e o Pró-óleo, por exemplo, o biodiesel não havia passado da fase experimental nessa época devido à estabilização do preço do petróleo, do Proálcool, além de custos altos para produção e o esmagamento de oleaginosas.

Contudo, com a elevação do preço do óleo diesel e o interesse do Governo Federal em reduzir as importações, o Ministério da Ciência e Tecnologia lançou o Programa de Desenvolvimento Tecnológico do Biodiesel em 2002. Em 2003, foi criado o Programa

Nacional de Produção de Biodiesel (PNPB), mas apenas em janeiro de 2005, por meio da Lei 11.097, que estabeleceu percentuais mínimos de mistura de biodiesel ao diesel, além de monitorar a inserção do combustível no mercado, é que se constituiu a cadeia produtiva, definindo, pois, as linhas de financiamento, a estrutura da base tecnológica e o marco regulatório desse novo combustível (FONTES; FONTES, 2010).

A Lei autorizou a mistura de 2% de biodiesel de 2008 a 2012, de 2013 em diante, o percentual obrigatório aumentará para 5%. Para atender à primeira fase do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (B2), foram necessários 840 milhões de litros de biodiesel em 2008. Para a segunda fase (B5), serão necessários 2,2 bilhões de litros em 2013 (RODRIGUES, 2006).

2.2 Germinação

A germinação constitui a fase do ciclo de vida que determina a distribuição das plantas, e o estudo sobre a ecologia desse processo e o conhecimento acerca da biologia das sementes pode ser de grande valor para compreender as etapas do estabelecimento de uma comunidade vegetal, bem como sua sobrevivência e regeneração natural (BLACK; EL HADI, 1992; VÁZQUEZ-YANES; OROZCO- SEGOVIA, 1993).

Do ponto de vista fisiológico, a germinação engloba quatro fases: embebição de água, alongamento das células, divisão celular e diferenciação das células em tecidos (POPINIGIS, 1985).

No solo, as situações em que as sementes se encontram nem sempre são adequadas à sua germinação. Fatores como estrutura, aeração, capacidade de retenção de água e grau de infestação de patógeno podem interferir no processo de germinação das sementes (BARBOSA; BARBOSA, 1985).

A dormência de sementes pode ser causada por substâncias inibidoras, por resistência mecânica dos tecidos externos ao embrião, pela imaturidade do embrião ou pela dormência do próprio embrião (KRAMER; KOZLOWSKI, 1972); há sementes que apresentam combinações de dois ou mais destes fatores (VIEIRA; FERNANDES, 1997).

Essa dormência pode ser física, química, mecânica, morfológica ou fisiológica (KRAMER; KOZLOWSKI, 1972; FOWLER; BIANCHETTI, 2000; SMITH et al., 2003). Ela também pode ser tegumentar ou exógena e embrionária ou endógena, podendo ocorrer independentemente uma da outra ou simultaneamente na mesma

semente (FOWLER; BIANCHETTI, 2000). A dormência exógena é devido à impermeabilidade do tegumento à água ou gases, e a endógena pode ser devido à imaturidade do embrião ou à inibição fisiológica que o impeça de se desenvolver

Santos (1994) afirma que as condições internas da planta podem ser traduzidas pelo balanço hormonal entre inibidores, promotores e cofatores de enraizamento, que interferem no crescimento das raízes. Quando o balanço hormonal entre promotores e inibidores é favorável aos promotores, ocorre o processo de iniciação radicular.

2.3 Déficit hídrico

O estresse pode ser definido em sentido geral como uma pressão excessiva de algum fator adverso que apresenta a tendência de inibir o normal funcionamento dos sistemas (NIU et al., 1995).

A deficiência hídrica é um problema que afeta boa parte dos solos em todo mundo, principalmente os da região semiárida e árida. No Brasil, esta condição é percebida, sobretudo na região Nordeste, onde aproximadamente 54% de toda a área está situada no semiárido. A disponibilidade de água no solo é um importante requerimento para determinação da diversidade, crescimento e desenvolvimento das plantas (SILVA et al., 2003).

Os vários níveis de respostas do vegetal são modulados pela intensidade, duração e taxa de progressão da seca imposta. Em condições de estresse hídrico, as variáveis de trocas gasosas podem apresentar alterações de forma distinta de acordo com a espécie, tanto por limitações difusivas, restringindo a disponibilidade de dióxido de carbono para assimilação, quanto por limitações metabólicas, pelo aumento do efeito fotoinibitório (GLAZ et al., 2004).

Sob condição de seca, a disponibilidade de água no solo e a pressão de vapor atmosférico são os dois fatores dominantes. Uma diminuição no potencial hídrico do solo ou um aumento no déficit de pressão de vapor atmosférico induz uma cascata hidráulica que provoca uma redução do potencial hídrico da planta, levando a uma diminuição da condutância estomática através de mecanismos físicos precisos (BUCKLEY, 2005; PEAK; MOTT, 2011). Eventos bioquímicos também estão envolvidos com o fechamento estomático, e este pode ocorrer mesmo sem nenhuma alteração no potencial hídrico foliar (GOLLAN et al., 1986). Acredita-se que as raízes atuam como sensores do déficit de água no solo, que é detectado pelas células-guarda

dos estômatos, mesmo antes de qualquer déficit hídrico ser observado nas folhas (ZHANG; DAVIES, 1990; SALAH; TARDIEU, 1997) por meio de sinais (ácido abscísico) enviados à parte aérea da planta.

A manutenção apropriada do status hídrico da planta sob déficit hídrico é essencial para o crescimento continuado. Este processo pode ser alcançado pela regulação estomática (ATHAR; ASHRAF, 2005) e a acumulação de solutos compatíveis (SOFO et al., 2004; BEN AHMED et al., 2006; ASHRAF; FOOLAD, 2007). Pode-se destacar também o mecanismo de redução da área foliar (DINIZ, 1999), a senescência e a caducifolia (SANTOS; CARLESSO, 1998).

O fechamento dos estômatos como tentativa de manter o conteúdo hídrico favorável nos tecidos por maior tempo possível é uma das primeiras linhas de defesa contra a dessecação. Essa redução da abertura do poro estomático, porém, restringe a troca de gases entre o interior da folha e a atmosfera causando diminuição na assimilação de CO₂, que é utilizado no processo fotossintético (KRIEG, 1993; LARCHER 2000).

Outra resposta comum às plantas afetadas pela seca é a diminuição da produção máxima pela assimilação de CO₂ e taxas de transpiração (FLEXAS et al., 2004; CHAVES et al., 2009). A diminuição da assimilação está principalmente associada à condutância estomática, embora também tenha sido relacionada às limitações bioquímicas (TEZARA et al., 2003; FLEXAS et al., 2004; CHAVES et al., 2009).

A transpiração das plantas tende a aumentar quando o gradiente de pressão de vapor entre a folha e a atmosfera se eleva. Esse gradiente é calculado em função da temperatura e da umidade relativa do ar, que também pode aumentar quando ocorre secamento do solo (HOPKINS, 1995). Porém, alguns autores verificaram que o aumento do déficit de pressão de vapor, quando a planta está sob déficit hídrico, reduz o fluxo de vapor d'água do interior da câmara sub-estomática para a atmosfera, causando depressão na transpiração (GUCCI et al., 1996; THOMAS et al., 2000).

A regulação de turgor durante as mudanças no status hídrico da planta pode preservar os seus processos metabólicos e contribuir para o seu crescimento e manutenção. Solutos compatíveis envolvidos com tais processos podem atuar como: (i) osmólitos citoplasmáticos facilitando a absorção de água (FLOWERS, 2004), (ii) protetores e estabilizadores de macromoléculas e estruturas celulares para dano induzido

por condições de estresse (BOHNERT; JENSEN, 1996) e (iii) “removedores” de radicais livres contra danos oxidativos (ASHRAF; FOOLAD, 2007).

A limitação do crescimento das plantas impostas pela baixa disponibilidade de água se deve principalmente à redução do saldo de carbono na planta, que é largamente dependente da fotossíntese. Por esta razão, as respostas da fotossíntese ao estresse hídrico tem sido objeto de estudo e de debate ao longo de décadas, em particular, sobre quais são os fatores mais limitantes para a fotossíntese sob déficit hídrico (FLEXAS; MENDRANO, 2002; LAWOR; CONIC, 2002).

2.4 Bioquímica foliar

O amido transitório é o primeiro produto da fotossíntese nas plantas. Ele serve como estoque de carboidratos, que suporta o metabolismo e crescimento durante o período na noite, onde a fotossíntese não é possível. Em muitas espécies, o amido é produzido no cloroplasto, e ao mesmo tempo, a sacarose é produzida no citosol. O particionamento desses dois produtos é regulado por estímulos tanto externos como internos (ZEEMAN, SMITH; SMITH, 2004). O metabolismo desse amido é influenciado por fatores ambientais, tais como comprimento do dia, temperatura e disponibilidade de nutrientes (PAUL; STITT, 1993; MARTINDALE; LEEGOOD, 1997; STRAND et al., 1997). O padrão de acúmulo desse amido varia bastante, onde algumas espécies acumulam pouco ou até mesmo nenhum amido, já em outras, o acúmulo e degradação mudam drasticamente através do desenvolvimento da folha (SMITH, ZEEMAN; SMITH, 2005).

Os carboidratos são a principal fonte de energia das mudanças metabólicas que ocorrem durante o estresse ambiental (SIVACI, 2006), embora a acumulação de aminoácidos livres também seja comum. Além disso, açúcares e aminoácidos livres possuem atos contrários um ao outro conforme relatado por Wingler et. a. (2006) para a senescência, um fator induzido pela seca (HSIAO, 1973), e podem ser vistos como sinais metabólicos nas respostas fisiológicas à seca (ROLLAND et al., 2006; SANTOS; PIMENTEL, 2009; SIRCELJ et al., 2007). O acúmulo de carboidratos pode limitar a fotossíntese por diminuir a disponibilidade de fosfato inorgânico para o Ciclo de Calvin (CHAVES, 1991).

A atividade proteolítica levando a um menor conteúdo de proteínas a nível foliar em resposta a senescência é bem documentado, mas pouco se conhece sobre a relação

entre a seca e essa atividade nas células (DUNGEY; DAVIES, 1982; PIERRE; SAUVORÉ, 1990). Sob condições de seca, pode haver uma diminuição na quantidade de proteínas devido ao aumento das enzimas proteolíticas e/ou diminuição da sua síntese (LECHINOSKI et al., 2007).

O conteúdo de clorofila foliar é frequentemente associado à capacidade fotossintética de uma espécie, por estar relacionada à captação de luz e transferência de energia. No geral, acredita-se que uma planta que possua altos teores de clorofila, apresentará maiores taxas fotossintéticas. Entretanto, nem sempre essa relação existe, pois a etapa bioquímica da fotossíntese pode limitar o processo (PORRA et al., 1989; CHAPPELLE; KIM, 1992). As pesquisas relacionadas aos pigmentos fotossintéticos têm sido desenvolvidas durante décadas (ARNON, 1949) e continuam atualmente, em estudos relacionados à ecologia e fisiologia da produção vegetal (BARET et al., 2007; NINEMETS, 2007; CHEN et al., 2008; CIGANDA et al., 2008; RITCHIE, 2008).

2.5 *Pachira aquatica* (Aubl) e *Sterculia foetida* L

Originalmente, os gêneros das espécies em questão neste trabalho, *Pachira* e *Sterculia*, eram inclusos nas famílias Bombacaceae e Sterculiaceae respectivamente. Com o novo sistema de classificação proposto no APG II (Angiosperm Phylogeny Group), estas famílias passaram a integrar a família Malvaceae, como subfamílias Bombacoideae e Sterculioideae (APG II, 2003).

Malvaceae compreende uma família com 250 gêneros e 4.230 espécies (Simpson, 2006), que são distribuídas ao redor do mundo, sendo particularmente mais abundantes na região tropical da América do Sul (HEYWOOD, 1993). No Brasil, a família é representada por 31 gêneros e 200 espécies (BARROSO et al., 2002). Ela foi caracterizada pela ocorrência do ácido palmítico, oléico, linoléico e ciclopropênico no óleo de suas sementes (SUNDAR RAO et al., 1989).

Vários estudos sobre as sementes das Malvaceae descrevem a ocorrência de ácidos graxos ciclopropanóicos derivados. Os mais comumente encontrados são os ácidos stercúlico e malvático (BALEY'S, 1996; VICKERY, 1980). Estudos com o óleo das sementes de *S. foetida*, *S. tomentosa* e *S. tragacanta* (Sterculioideae) por exemplo, relataram alto conteúdo de ácidos graxos ciclopropanóicos.

Malvaceae-Bombacoideae é um grupo pantropical, com cerca de 30 gêneros e 290 espécies distribuídas na América, África, Ásia e Oceania (HEYWOOD, 1978;

BARROSO et al., 1978; BOCAGE; SALES, 2002). No continente americano, ocorre desde o México, estendendo-se pela América Central (inclusive na parte insular), até o estado de Santa Catarina no Brasil, onde deve estar seu limite meridional de distribuição. A maior diversidade de espécies está nas florestas úmidas da América do Sul, especialmente na Colômbia e no Brasil. Na África e na Ásia, esse grupo é menos frequente, porém apresenta um número elevado de espécies endêmicas (BRINK, 1924; CROIZAT, 1964; ALVERSOM; STEYRMARK, 1997).

A *Pachira aquatica* (Aubl) ocorre do sul do México até o norte da Amazônia, sendo encontrada predominantemente em terrenos sujeitos a inundações periódicas, especialmente às margens dos rios e córregos, porém, ela adapta-se facilmente a diferentes tipos de solo e condições edafoclimáticas (PEIXOTO; ESCUDEIRO, 2002; PAULA; CRUZ, 2006). É uma espécie adaptável ao cultivo, e produz uma grande quantidade de frutos e sementes que possuem propriedades organolépticas (JORGE; LUZIA, 2012). É conhecida popularmente como munguba, monguba, mamorana entre outros nomes. Possui tronco grosso, de coloração castanho-amarronzado; copa grande e densa; folhas alternas, digitadas, verde-escuras. As flores possuem pétalas estreitas e compridas, de coloração castanho-amarelada, com muitos estames brancos na parte basal e róseo-avermelhados em direção ao ápice. Os frutos possuem numerosas sementes de testa fina, sendo que esta, a princípio, possui coloração castanho-claro, escurecendo com o tempo (PEIXOTO; ESCUDEIRO, 2002).

Estudos desenvolvidos sobre a composição das sementes demonstram que a *Pachira aquatica* tem um elevado teor de óleo. Polizelli et al. (2008) também observaram elevado teor de triptofano, aminoácido precursor de um importante neurotransmissor, a serotonina. Oliveira et. al (2000), estudando a composição e as propriedades nutricionais de sementes, encontraram teores de 53,9% de óleo e 12,9% de proteínas.

Na constituição do óleo, o ácido palmítico é o seu principal componente (LORENZI, 1992; OLIVEIRA et al., 2000), o que indica que sua semente possui um alto teor de triacilglicerídeos, servindo como potencial fonte de óleo para a produção de biodiesel (PARENTE, 2003). Santos et. al (2007) utilizaram essa planta para a produção de biodiesel e obtiveram a identificação dos ésteres metílicos que o compõem.

Sterculia foetida L. possui diversos nomes populares no território brasileiro, como chichá e amendoim-da-mata (Almeida et al., 1998). No país, ocorre do Amazonas ao

Piauí, Mato Grosso, Minas Gerais e Rio Grande do Sul. A espécie possui porte arbóreo, que fornece amêndoas, consumidas pela população e pela fauna (LORENZI et al., 1996).

É uma árvore de altura imponente, perdendo suas folhas na estação fria e produz ramos mais ou menos horizontais. Os frutos são do tipo folículos, apresentando de 10 a 15 sementes (SHAMSUNDAR; PARAMJYOTHI, 2010). Essa espécie tem atraído bastante atenção devido às suas propriedades medicinais (NAIR et al., 1977). As suas folhas são utilizadas devido a presença de atividade laxativa, diurética e repelência de insetos (Chopra et al., 1992). Já o extrato alcoólico das folhas apresenta significativa atividade anti-inflamatória e antidepressiva (NAIK et al., 2004).

Sterculia foetida é nativa das regiões tropicais da Índia e Malásia, e foi introduzida no Brasil como uma árvore ornamental e de sombra, sendo indicada atualmente para recomposição de áreas degradadas. Suas sementes apresentam tegumento duro e constituem um artigo de certo valor na Malásia e Índia, pois delas é extraído um óleo amarelo-claro (25 a 30%), doce e secativo, utilizado na arte culinária oriental, como combustível e também na produção de sabão (CORRÊA, 1978). De acordo com Araújo (2008), sua semente produz de 35 a 40% de óleo e estudos preliminares sinalizam para o potencial uso para biocombustível, com a presença de triglicérides de ácido stercúlico sendo relatada (GUERERE et al., 1985).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHRAF, M.; FOOLAD, M.R. Roles of glycinebetaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. **Environmental and Experimental Botany**, v.59, p.206–216, 2007.
- ALMEIDA, S. P et al. Cerrado: espécies vegetais úteis. **Embrapa**: Planaltina. 1998
- ALVERSON, W.A.; STEYERMARK, J. A. Bombacaceae In: Flora of the Venezuelan Guayana, Missouri Bot. Gard, St. Louis. (P. E. Berry, B.K. Holst & K. Yatskievych, eds) v.3, p. 496-527, 1997.
- APG II. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. **Botanical Journal of the Linnean Society**. v. 141, p. 399-436, 2003.
- ARAÚJO, J.M.A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 4. ed. Editora Viçosa. Viçosa, MG. 2008.
- ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**, v. 24, p. 1-15, 1949.
- ATHAR, H.; ASHRAF, M. Photosynthesis under drought stress. In: **Pessarakli**, 2005
- BAILEY'S industrial oil and fat products. Adverse Effects of Same Natural Constituents in Fats and Oils, in: Y.H, Hui (Ed.), **Edible Oil and Fat Products: General Applications**, p. 232– 233, 1996.
- BARBOSA, J.M.; BARBOSA, L.M. Avaliação dos substratos, temperatura de germinação e potencial de armazenamento de sementes de três frutíferas silvestres. **Ecossistema**, v. 10, n. 1, p. 152-160, 1985.
- BARET, F.; HOULÈS, V.; GUÉRIF, M. Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, p. 869–880, 2007.
- BARROSO, G.M et al. In: **Sistemática de angiospermas do Brasil**, 2 ed.. Editora UFV, Viçosa. 2002.

BARROSO, G.M. et al. **Sistemática de Angiosperma do Brasil**. Universidade de São Paulo: São Paulo, SP. p. 255, 1978.

BELTRÃO, N.E.M. Situação atual, problemas, perspectivas e desafios. **Anuário Brasileiro do Biodiesel**, São Paulo: Letra Boreal. p. VII- 14,15. 2007.

BELTRÃO, N.E.M.; OLIVEIRA, M.I.P. Oleaginosas potenciais do nordeste para a produção do biodiesel. **Embrapa Algodão**. Documento 177, ISSN 0103-0205, 2007.

BEN AHMED, C. et al. Olive tree (*Olea europaea* L. cv. Chemlali) under salt stress: water relations and ions contents. 2006.

BLACK, A.R.; EL HADI, F.M. Presouring treatments of *Acacia senegal* seed: germination and growth. **Tropical Agricultural**, v.69, p.15-20, 1992.

BOCAGE, A.L.D.; SALES, M.F. A família Bombacaceae Kunth no estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, v.16, p.123-139, 2002.

BOHNERT H. J.; JENSEN R.G. Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. **Trends Biotechnology**, v.14, p.89–97, 1996.

BRINK, R.C.B.; VAN DEN. Revision Bombacacearum. Bull. **Annales du Jardin Botanique. Buinterzog** Série. v.3, n.6, p.161-240, 1924.

BUCKLEY TN. The control of stomata by water balance. **New Phytologist** v.168, p. 275–292, 2005

CARGININ, A. **Oleaginosas potenciais para produção de biodiesel: necessidade de cultivares melhoradas**. 2007.

CARVALHO A.P.B. et al. Determinação de Compostos Carbonílicos (C1-C8) em Fase Gasosa Emitidos de Motor usando Diesel e Biodiesel de óleo de Girassol. **28ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química para o desenvolvimento sustentável e inclusão social**, Poços de Caldas, 2005.

CHAPPELLE, E. W.; KIM, M. S. Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): na algorithm for a remote estimation of the concentrations of chlorophyll A, chlorophyll B, and carotenoids in soybean leaves. **Remote Sensing of Environment**, New York. v. 39, p. 239- 247, 1992.

CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, v.42, p.1–16, 1991.

CHAVES, M.M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**. v.103, p.551–560, 2009.

CHEN, Q et al. Photosystem 2 photochemistry and pigment composition of a yellow mutant of rice (*Oryza sativa* L.) under different irradiances. **Photosynthetica**, v.46, 35–39, 2008.

CHOPRA RN, NAYAR SL, CHOPRA IC. Glossary of Indian Medicinal Plants. **Publication and Information Directorate**, CSIR New Delhi, p. 234, 1992.

CIGANDA, V.; GITELSON, A.; SCHEPERS, J. Vertical profile and temporal variation of chlorophyll in maize canopy: quantitative “crop vigor” indicator by means of reflectance based techniques. **Agronomy Journal**, v.100, p.1409-1417, 2008.

CORRÊA, P.M. Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas. Rio de Janeiro: **Imprensa Nacional**, v. 6, p. 609-610, 1978. FAO- Food Production and Security.

CROIZAT, L. La distribution des Bombacées: mise au point biogéographique. **Adansonia**, v.4, p. 427-455, 1964.

DUNGEY, N.O.; DAVIES, D.D. Protein turnover in isolated barley leaf segments and the effect of stress. **Journal of Experimental Botany**, v. 33, p.12-20, 1982.

FLEXAS, J. et al. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, 2004.

FLEXAS, J.; MENDRANO, H. Energy dissipation in C₃ plants under drought. Functional. **Plant Biology**. v. 29, p. 1209–1215, 2002.

FLOWERS, T. Improving crop salt tolerance. **Journal of Experimental Botany** v. 55, p. 307–319, 2004.

FONTES, G.A.; FONTES, K. A. O plano nacional de biodiesel: PNPB a partir de uma análise do princípio constitucional da redução das desigualdades sociais e regionais.

Anais do XIX Encontro Nacional do CONPEDI realizado em Fortaleza – CE, Junho, 2010.

FOWLER, J.A.P.; BIANCHENETTI, A. Dormência em sementes florestais. Colombo: Embrapa-Florestas, doc. 40, 2000.

GLAZ, B.; MORRIS, D.R.; DAROUB, S.H. Sugarcane photosynthesis, transpiration, and stomatal conductance due to flooding and water table. **Crop Science**, v. 44, p. 1633-1641, 2004.

GOLLAN T.; PASSIOURA, J.B; MUNNS, R. Soil water status affects the stomatal conductance of fully turgid wheat and sunflower leaves. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 13, p. 459–464, 1986.

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

GUERERE M.; MONDON J.M.; PUJANIAYE A. Physicochemical composition of some seeds from plants of the isle of Re-union. Ann. Falsif. **Expert Chim.Toxicol**, v.78, p.281-286, 1985.

HEYWOOD, V.H. Flowering plants of the world. **Oxford University Press**, Oxford. p. 335, 1978.

HEYWOOD, V.H. Flowering Plants of World. **Batsford**, London, 1993.

HOPKINS, W. G. Introduction to Plant Physiology. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1995.

HSIAO, T.C. Plant response to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 24, n. 01, p. 519-570, 1973.

JORGE, N.; LUZIA, D.M.M. Caracterização do óleo das sementes de *Pachira aquatica* Aublet para o aproveitamento alimentar. **Acta Amazonica**. v.42, p.149-156, 2012.

KRAMER, P.J.; KOZLOWSKI, T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, p.745, 1972.

Krieg, D. R. Stress tolerance mechanisms in above ground organs. In: **Proceedings of the Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stress**. Intormil, Nebraska. p. 65-79, 1993.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. RIMA, São Carlos, 2000.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.275–294, 2002.

LECHINOSKI, A. et al. Influência do estresse hídrico nos teores de proteínas e aminoácidos solúveis totais em folhas de Teca (*Tectona grandis*L.f). **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre. v.5, p.927-929, 2007.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**, Editora Plantarum LTD., São Paulo, 1992.

LORENZI, H. Palmeiras do Brasil: exóticas e nativas. **Nova Odessa**: Editora Plantarum, p.1-20, 1996.

MARTINDALE W.; LEEGOOD R.C. Acclimation of photosynthesis to low temperature in *Spinaciaoleracea*L. I. Effects of acclimation on CO₂ assimilation and carbon partitioning. **Journal of Experimental Botany**, v.48, p.1865–1872, 1997.

NAIK D.G; MAJUMDAR A.M; WAGHOLE R.J. Taraxer-14-en-3_-ol, an anti-inflammatory compound from *Sterculia foetida* L. **Planta Medica**, v.70, p.68-69, 2004.

NAIR, R. A. G; RAMESH, P.; SUBRAMANIAN, S.S. Isoscutellarin and other polyphenols from the leaves of *Sterculia foetida*. **Current Science**. v.46, p.14-15, 1977.

NINEMENTS, U. Photosynthesis and resource distribution through plant canopies. **Plant, Cell & Environment**, v. 30, p.1052–1071, 2007.

NIU, X.; et al. M. Ion Homeostasis in NaCl Stress Environments. **Plant Physiology**, v.109, p.735-742, 1995.

OLIVEIRA, J.T.A et al. Composition and nutritional properties of seeds *Pachira aquatica* Aubl, *Sterculia striata* St Hilet Naud and *Terminalia catappa* Linn. **Food Chemistry**, v.70, p.185-191, 2000.

PARENTE, E.J. S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado. Fortaleza: Tecbio, p.68, 2003.

PAUL, M.J.; STITT, M. Effects of nitrogen and phosphorus deficiencies on levels of carbohydrates, respiratory enzymes and metabolites in seedlings of tobacco and their responses to exogenous sucrose. **Plant, Cell&Environment**, v.16, p.1047–1057, 1993.

PAULA, V.F.; CRUZ, M.P. Constituintes Químicos de *Bombacopsis glabra* (Bombacaceae). **Quimica Nova**. v.29, n.2, p.213-215, 2006.

PEAK, D.; MOTT, K.A. A new, vapour-phase mechanism for stomatal responses to humidity and temperature. **Plant, Cell & Environment** v.34, p.162–178, 2011.

PEIXOTO, A.L.; ESCUDEIRO, A. *Pachira aquatica* (Bombacaceae) na Obra “História dos Animais e Árvores do Maranhão” de Frei Cristóvão de Lisboa. **Rodriguésia**. v.53 n.82, p.123-130, 2002.

PIERRE, M.; SAUVORÉ, A. Effects of water-stress and SO₂ pollution on spruce endoproteases. **Plant Physiology. Biochemistry**, v.28, p.95-104, 1990.

POLIZELLI, P.P. et al. A new lipase isolated from oleaginous seed from *Pachira aquatic* (Bombacaceae). **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v.150, p.233-242, 2008.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. 2. ed. Brasília: [s. n.], p.298, 1985.

PORRA, R. J.; THOMPSON, W. A.; KRIDEMANN, P. E. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophylls standards by atomic absorption spectroscopy. **Biochimicet Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 975, p. 384-394, 1989.

RAMOS, L. P. Conversão de óleos vegetais em biocombustível alternativo ao diesel convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa-Soja. p.233-236, 1999.

RAMOS, L. P. Aspectos técnicos sobre o processo de produção de biodiesel. In: SEMINÁRIO PARANAENSE DE BIODIESEL, 1., Londrina. **Anais eletrônicos...**,

2003. Disponível em: <<http://www.tecpar.br/cerbio/Seminario-palestras.htm>> Acesso em: 08 de abril de 2011.

RITCHIE, R. J. Universal chlorophyll equations for estimating chlorophylls *a*, *b*, *c*, and *d* and total chlorophylls in natural assemblages of photosynthetic organisms using acetone, methanol, or ethanol solvents. **Photosynthetica**, v. 46, p.115-126, 2008.

RODRIGUES, R. A. Biodiesel no Brasil: diversificação energética e inclusão social com sustentabilidade. In: FERREIRA, J. R.; CRISTO, C. M. P. N.(Coord.). O Futuro da indústria: biodiesel - **Coletânea de Artigos**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior: IEL. 143 p. (Série Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior,14), 2006.

ROLLAND, F.; BAENA-GONZALES, E.; SHEEN, J. Sugar sensing and signaling in plants: conserved and novel mechanisms. **Annual Review of Plant Biology**, v. 57, n. 01, p. 675-709, 2006.

SALAH, H.B.H.; TARDIEU, F. Control of leaf expansion rate of droughted maize plants under fluctuating evaporative demand. **Plant Physiology**, v.114, n.3, p.893-900, 1997.

SANTOS, M.G., PIMENTEL, C. Daily balance of leaf sugars and amino acids as indicators of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) metabolic response and drought intensity. **Physiology and Molecular Biology of Plants**. v.15, p.23-30, 2009.

SANTOS, R. B.et al. Identificação dos ésteres que compõem o biodiesel da munguba (*Pachira aquatica* AUBL). **30a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**, 2007.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit Hídrico e os Processos Morfológicos e Fisiológicos das Plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SANTOS, S.C. Efeitos de épocas de poda sobre a produção e qualidade dos frutos da figueira (*Ficus carica* L.), cultivada em Selvíria-MS. Ilha Solteira: UNESP. (**Trabalho de Graduação apresentado a Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira**), p.50, 1994.

SCHUCHARDT, U.; SERCHELI, R.; VARGAS R. M. Transesterification of vegetable oils: a review. **Journal of the Brazilian Chemical Society**., v.9, p.199-210, 1998.

SEBRAE. **Manual do Biodiesel**, p. 11, 2006.

SHAMSUNDAR, S. G.; PARAMJYOTHI, S. Preliminary pharmacognostical and phytochemical investigation in *Sterculia foetida* Linn. seeds. **African Journal of Biotechnology** v.9, n.13, p.1987-1989, 2010.

SILVA, E.C.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; AZEVEDO-NETO, A.D.; SANTOS, V.F. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botanica Brasilica** v.17, n.2, p.231–246, 2003.

SIMPSON, M.G., Plant Systematics. **Elsevier Academic Press**, San Diego, 2006.

SIRCELJ, H. et al. Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. **Scientia Horticulturae**, v. 113, n. 04, p. 362-369, 2007.

SIVACI, A. Seasonal changes of total carbohydrate contents in three varieties of apple (*Malus sylvestris* Miller) stem cuttings. **Scientia Horticulturae**, v. 109, n. 03, p. 234-327, 2006.

SMITH, A.M.; ZEEMAN, S.C.; SMITH S.M. Starch Degradation. **Annual. Review. Plant Biology**. v.56, p.73-98, 2005.

SMITH, M.; WANG, T. BEN S.P.; MASNGA, H. P. Chapter 5: Dormancy and Germination. *In: Tropical Tree Seed Manual*. [s.l]: USDA Forest Service's/Reforestation, Nurseries, & Genetics Resources, 2003.

SOFO, A.; DICHIO, B.; XILOYANNIS, C.; MASIA, A. Lipoxygenase activity and proline accumulation in leaves and roots of olive tree in response to drought stress. 2004.

STRAND, A.; HURRY, V.; GUSTAFSSON, P.; GARDESTROM, P. Development of *Arabidopsis thaliana* leaves at low temperatures releases the suppression of photosynthesis and photosynthetic gene expression despite the accumulation of soluble carbohydrates. **Plant Journal**, v.12, p.605–614, 1997.

SUNDAR RAO, K. et al. Cyclopropene fatty acids of six seed oils from Malvaceae. **J. Journal of the American. Oil. Chemist's. Society**, v.66, p.360–361, 1989.

TEZARA, W. et al. Photosynthetic responses of the tropical spiny shrub *Lyciumnodosum* (Solanaceae) to drought, soil salinity and saline spray. **Annals of Botany**. v.92, p.757–765, 2003.

THOMAS, D. S.; EAMUS, D.; SHANAHAN, S. Influence of season, drought and xylem ABA on stomatal responses to leaf-to-air vapour pressure difference of trees of the Australian wet-dry tropics. **Australian Journal of Botany**, v.48, p.143-151, 2000.

TORRES et. al. Ensaio de motores estacionários do ciclo diesel, utilizando óleo diesel e biodiesel (B100). **AGRENER**, Campinas, UNICAMP, 2006.

TRZECIAK, M.B. et al. Utilização de espécies oleaginosas para a produção de Biodiesel. **Informativo Abrates**, v.18, n.1,2,3, p. 30-38, 2008.

VÁZQUEZ-YANES, C.; OROZCO-SEGOVIA, A. Patterns of seed longevity and germination in the rainforest. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v.24, p.69-87, 1993.

VICKERY, J.R. The fatty acid composition of seed oils from ten plant families with particular reference to cyclopropene and dihydrosterculic acids. **Journal of the American. Oil. Chemist's. Society**. v.57, p.87-91, 1980.

VIEIRA, I.G.; FERNANDES, G. D. Métodos de Quebra de Dormência de Sementes. Piracicaba: IPEF-LCF/ESALQ/USP, **Informativo Sementes**, IPEF, nov, 1997.

WINGLER, A. et al. The role of sugars in integrating environmental signals during the regulation of leaf senescence. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 02, p. 391-399, 2006.

ZAGONEL, G. F.; PERALTA-ZAMORA, P. G.; RAMOS, L. P. Estudo de otimização da reação de transesterificação etílica do óleo de soja degomado. **Ciência e Tecnologia**. 2003.

ZEEMAN, S.C.; SMITH, S.M.; SMITH, A.M. The breakdown of starch in leaves. **New Phytologist**. v.163, p.247-261, 2004.

ZHANG, J.; DAVIES, W.J. Changes in concentration of ABA in the xylem sap as a function of changing soil water status can account for changes in leaf conductance and growth. **Plant, Cell & Environment**, v.13, n.2, p.271-285, 1990.

MANUSCRITO

Avaliação da germinação e mecanismos de tolerância à seca de duas oleaginosas perenes sob déficit hídrico.

Gabriella Frosi¹, Mauro G. Santos¹

⁽¹⁾Laboratório de Ecofisiologia Vegetal Departamento de Botânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE 50670-901, Brasil.

* E-mail do autor para correspondência: mauro.gsantos@ufpe.br; Telefone de contato do autor: +55 81 21268844; Fax: +55 81 21267803

Manuscrito a ser enviado para o periódico “Biomass and Bioenergy”

Abreviações: ME, máximo estresse; A , assimilação líquida de CO_2 , g_s , condutância estomática; E , transpiração, T_{folha} , temperatura foliar; EUA , eficiência do uso da água; Ψ_f , potencial hídrico foliar; UR_{solo} , umidade relativa do solo; PSII, fotossistema II; CST, carboidratos solúveis totais; ALT, aminoácidos livres totais; PT, proteínas totais; Chl, clorofila; Car, carotenoides; MS, massa seca.

RESUMO

As espécies arbóreas *Pachira aquatica* (Aubl) e *Sterculia foetida* L pertencem à família Malvaceae, e foram caracterizadas quanto ao efeito da variação hídrica sob condições de campo (experimento I) e casa de vegetação (experimento II). Para isso, foi mensurado potencial hídrico foliar, trocas gasosas e bioquímica foliar (amido, CST, ALT, PT e pigmentos fotossintéticos) nos dois experimentos, e germinação, biometria e fluorescência da clorofila *a* na casa de vegetação. Em campo, foi observado que na estação seca a *P. aquatica* conseguiu se reidratar durante a noite, sendo o valor do potencial hídrico foliar da manhã maior do que a tarde (-0,34 e -0,95 MPa, respectivamente). A condutância estomática e assimilação dessa espécie na estação seca mantiveram seus valores próximos aos observados na estação chuvosa; enquanto a *S. foetida* apresentou reduções na estação seca, sendo de 69% para condutância estomática e mais de 50% na assimilação. Em casa de vegetação, foram impostos três tratamentos hídricos: controle (capacidade de campo), estresse moderado (50% capacidade de campo) e severo (suspensão da irrigação), com plantas cultivadas em potes de 10 L. Com o início do estresse, as taxas de trocas gasosas e fluorescência reduziram no estresse severo de ambas espécies chegando próximo a zero, onde o estresse moderado manteve taxas semelhantes ao controle. Na reidratação (quatro dias), houve recuperação parcial das taxas para *P. aquatica* e total para *S. foetida*. A recuperação parcial na *P. aquatica* pode indicar um alerta da espécie em relação a um possível estresse recorrente. Foi observado no máximo estresse quantidades maiores de amido e CST para *P. aquatica* e *S. foetida*, respectivamente, sob estresse severo, indicando que a *P. aquatica* produziu trioses fosfatos suficiente se suprir e ainda acumular amido como reserva energética. As duas espécies toleraram bem a condição de seca, porém a *P. aquatica* se sobressaiu em relação à *S. foetida* tanto em campo como casa de vegetação.

4. INTRODUÇÃO

A busca por energias renováveis vem se tornando uma prioridade no mundo, não só devido as reservas de petróleo serem finitas, mas pela questão ambiental, onde a queima dos combustíveis fósseis geram grandes quantidades de poluentes. Entre os diversos tipos de energia limpa, destaca-se o biodiesel, proveniente do óleo vegetal. O biodiesel apresenta vantagens na sua utilização, por ser de origem renovável e menos poluente, liberando 80% menos dióxido de carbono (CO₂) que o diesel de petróleo [1]. No Brasil, a produção de óleo vegetal está principalmente concentrada na cultura da soja, com 81% do total da matéria prima utilizada em 2011 [2], no entanto, esta cultura é utilizada também para alimentação de pessoas e animais [3]. Portanto, o grande obstáculo para a produção do biodiesel é a matéria prima, sendo relevante o estudo com espécies potenciais para produção de óleo, que preferencialmente não sejam utilizadas na indústria alimentícia.

Dentro deste contexto, a região nordeste brasileira pode vir a se destacar cultivando espécies perenes e que possibilite cultivo consorciado com culturas anuais. Nesta região, o principal fator limitante é a deficiência hídrica. Assim, é fundamental saber quais espécies são mais adaptadas às condições impostas pelo ambiente, sendo possível aproveitar ao máximo as suas potencialidades. Na literatura, a *Pachira aquatica* (Aubl) e a *Sterculia foetida* L vêm sendo destacadas como espécies oleaginosas perenes. As duas não ocorrem naturalmente na região nordeste, porém são bastante utilizadas para fins ornamentais e urbanismo, e possuem boa qualidade e quantidade de óleo em suas sementes (acima de 35%), onde esse óleo pode ser utilizado na produção do biodiesel [4,5].

O déficit hídrico em diversas culturas, inclusive plantas lenhosas, é objeto de estudo há décadas. Com as alterações climáticas globais, vários estudos envolvendo a ecofisiologia de plantas têm sido realizados para entender o comportamento de diversas espécies nos diferentes ecossistemas [6,7]. Entre os parâmetros utilizados na ecofisiologia para tal entendimento estão a germinação, potencial hídrico foliar, trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e bioquímica foliar, os quais nos permitem verificar, por exemplo, se sementes possuem dormência, além de mudanças no metabolismo das plantas sob diferentes estresses abióticos.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a germinação de sementes de *Pachira aquatica* e *Sterculia foetida*, bem como caracterizar o desenvolvimento de plantas jovens sob diferentes regimes hídricos em casa de vegetação e a resposta destas ao efeito da sazonalidade sob condições de campo, no agreste pernambucano, analisando seus aspectos ecofisiológicos e bioquímicos.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em dois experimentos: campo e casa de vegetação, onde foram avaliadas duas espécies oleaginosas perenes, a *P. aquatica* e *S. foetida*, sob diferentes condições de hidratação.

5.1 Experimento Campo

5.1.1 Material vegetal e condições de crescimento

O experimento foi desenvolvido no município de Caetés -PE, a 330 km de Recife, localizado na mesorregião agreste a 849 m de altitude, Brasil (8°46'21" S, 36°37'21"), no ano de 2011. O clima é do tipo Tropical com verão seco de acordo com a

classificação de Köopen-Geiger. O período chuvoso começa no outono/inverno tendo início em janeiro/fevereiro e término em setembro. A precipitação média anual foi de 840,7 mm, sendo a precipitação do mês de maio (estação chuvosa) e novembro (estação seca) de 214,1 e 22,1 mm respectivamente (Tabela 1). As duas espécies estavam presentes em uma mesma área com cerca de 2 ha, sob condições naturais, com espaçamento entre linhas e entre plantas 2 x 2 m, tendo 12 meses de idade. As medidas foram realizadas em populações com 10 indivíduos, sendo uma avaliação realizada na estação chuvosa (maio/11) e uma na estação seca (nov/11).

5.2 Experimento casa de vegetação

As plantas foram obtidas mediante a germinação de sementes em areia lavada. Após a emissão do primeiro par de folhas definitivas, as plantas foram transferidas para potes de 10 kg, com substrato formado pela mistura de terra preta, vermelha e areia lavada, na proporção de 3:1:1, respectivamente. Os indivíduos foram mantidos em condições de hidratação ideal: capacidade de campo (CC) - 600 mL, até atingirem 9 e 7 meses de desenvolvimento para *P. aquatica* e *S. foetida*, respectivamente. A partir deste momento três tratamentos hídricos foram impostos: controle (plantas bem hidratadas – CC); estresse moderado (50% da CC) e estresse severo (suspensão da irrigação), sendo disponibilizadas 15 plantas por tratamento. O experimento teve duração de 19 dias. O máximo estresse (ME) ocorreu após 15 dias de suspensão da rega, sendo a período de reidratação os quatro dias subsequentes. O fluxo de fótons fotossintéticos foi observado em cada dia de medição, sendo utilizado $2000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para todas as medidas realizadas. O déficit de pressão de vapor (DPV) foi calculado ao longo do experimento e variou entre 1,7 e 4,8 kPa (Fig. 1A). A temperatura foliar para as duas espécies apresentaram os maiores valores nas plantas do tratamento severo ao longo do

experimento em comparação ao tratamento controle e moderado, mesmo no período de reidratação (Fig. 1B,C).

5.3 Germinação

As sementes de *P. aquatica* e *S. foetida* foram coletadas no município de Caetés-PE e de Recife, respectivamente. Logo após a coleta, as sementes foram esterilizadas em solução de hipoclorito de sódio a 1% por 5 minutos, passando por três enxagues com água destilada posteriormente. Em seguida, as sementes foram colocadas em sacos de polietileno com 300g de areia lavada, distribuídas em quatro repetições de 50 sementes para *P. aquatica* e 25 sementes para *S. foetida*. Observações foram realizadas diariamente para contabilizar o número de plântulas emergidas, tomando-se como base a emergência da plúmula sobre o substrato. As observações foram finalizadas quando não houve mais emergência durante 10 dias consecutivos a partir da última verificação. Foram então calculadas a porcentagem de emergência (E), além do tempo médio de emergência (TME), sendo este determinado com o somatório de plântulas normais emergidas a cada dia, pelo número de dias decorridos desde a semeadura e a emergência [8].

5.4 Biometria

Quando as plantas atingiram um mês de desenvolvimento em casa de vegetação, medidas biométricas referentes à altura (cm), número de folhas e diâmetro do caule a nível do solo (mm) foram realizadas em sete plantas de cada tratamento. As medidas tiveram um intervalo de 15 dias, até o dia do ME.

5.5 Potencial hídrico foliar (Ψ_f) e umidade relativa do solo (UR_{solo})

As medidas de Ψ_f foram realizadas através da câmara de pressão do tipo Scholander [9]. Em campo, as medidas foram realizadas às 06:00 e 13:00 h, em cinco plantas de cada espécie. Em casa de vegetação, as medidas foram tomadas às 06:00 h no ME e reidratação, em cinco plantas por tratamento. A UR_{solo} foi obtida a uma profundidade de 30 cm com a utilização do Medidor Falker HFM 2030, tanto em campo quanto em casa de vegetação, onde nesse último caso, bem próximo à parede do balde para evitar danos à raiz, em cinco indivíduos por tratamento.

5.6 Medidas de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*

No experimento de campo, as medidas foram realizadas entre às 09:00 e 10:00 h e 14:00 e 15:00 h, em cinco plantas de cada espécie, em folhas saudáveis e totalmente expandidas, não senescentes [10]. As medições foram feitas com o analisador de gases por infravermelho - IRGA LCI-pro (ADC – UK). Foram avaliadas a taxa de assimilação líquida de $CO_2(A)$, condutância estomática (g_s), transpiração (E) e temperatura foliar (T_{folha}). A eficiência do uso da água foi calculada ($EUA - A/E$).

Para o experimento de casa de vegetação, as medidas de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* foram realizadas entre 09:00 h e 11:30 h, com o analisador de gases por infravermelho IRGA Li 6400 (Li Cor, Lincoln, USA NE), e assim como no campo, em folhas totalmente expandidas e saudáveis. As medições das trocas gasosas (mesmos parâmetros mensurados em campo) e fluorescência da clorofila *a* foram feitas em dias totalmente claros (sem nuvens), em cinco plantas de cada tratamento.

O fluxo de fótons fotossintéticos foi determinado através da radiação solar global no momento da mensuração, o qual foi fixado durante todo o horário de medida tanto

em campo como casa de vegetação. O DPV foi calculado nos dois experimentos através da fórmula $e - e_s$ [11].

Para a fluorescência da clorofila *a*, realizou-se medidas de fluorescência do claro, simultâneas às trocas gasosas, e fluorescência do escuro. Medidas de fluorescência máxima (F_m) e basal (F_0) foram feitas em folhas adaptadas ao escuro por 40 minutos, ao passo que a fluorescência basal (F_s) e máxima (F_m') foram obtidas em folhas adaptadas à luz [12]. Os parâmetros abordados foram a eficiência quântica máxima do PSII (F_v/F_m); eficiência quântica efetiva do PSII (Φ_{PSII}); taxa de transporte de elétrons (ETR); proporção dos centros de reações abertos do PSII (q_p) e quenching não fotoquímico (NPQ) [13].

5.7 Análises bioquímicas do tecido foliar

Folhas totalmente expandidas e sadias foram coletadas e imediatamente congeladas em nitrogênio líquido, sendo posteriormente armazenadas em freezer -20°C tanto para campo (uma coleta por estação, 15:00 h) como casa de vegetação (coleta às 6:00 e 14:00 h no máximo estresse (ME) e reidratação). Foi determinado o conteúdo foliar de amido, carboidratos solúveis totais (CST), aminoácidos livres totais (ALT), proteínas totais (PT), clorofilas *a* e *b* (Chl *a* e Chl *b*), e carotenoides, seguindo as metodologias propostas [14-17], respectivamente. Para as análises de amido, CST e ALT, foi obtido o extrato etanólico da folha utilizando etanol a 80% [18]. Todas essas análises foram determinadas com espectrofotômetro modelo Genesys 10s UV – Vis, marca Thermo Scientific, ajustado ao comprimento de onda específico para cada composto orgânico. Para as análises de amido, CST, ALT, e PT em campo para *P. aquatica*, foi utilizada uma massa de 50 mg para ambas as estações. Para os pigmentos fotossintéticos, a massa foi de 50 e 75 mg para estação chuvosa e seca, respectivamente. Na *S. foetida*, para

amido, CST e ALT na estação chuvosa e seca, foi utilizado 25 e 50 mg respectivamente. Para PT, foi utilizado 50 mg. Quanto aos pigmentos fotossintéticos, foram utilizadas massas de 35 e 50 mg para estação chuvosa e seca, respectivamente.

Em casa de vegetação, para as análises referentes ao amido, CST, ALT e PT, foi utilizada uma massa de 50 mg, para a *P. aquatica* e *S. foetida*; quanto aos pigmentos fotossintéticos, foram utilizadas massas de 50 e 25 mg, respectivamente. Esses valores foram tanto para o ME como recuperação. Como foram realizadas coletas no período da manhã e tarde, foi feito um balanço bioquímico através da subtração das concentrações do horário da tarde pelas concentrações do horário da manhã, sendo os resultados apresentados para casa de vegetação dessa forma.

5.8 Análise estatística

O experimento de campo foi conduzido inteiramente ao acaso devido as condições homogêneas da área experimental com 5 repetições para cada espécie. O de casa de vegetação foi conduzido sob o delineamento inteiramente ao acaso com 15 repetições para cada tratamento, sendo cada uma representada por uma única planta por pote. Parte dos dados foram submetidos ao Teste T, a 5% de probabilidade. Outra parte foi submetida a uma análise de variância (ANOVA). Quando necessário, as médias foram contrastadas pelo teste de Student Newman Keul's com nível de significância de 5%.

6. RESULTADOS

6.1 Experimento de Campo

6.1.1 Status hídrico da planta e do solo

O Ψ_f foi menor em ambas as espécies na estação seca quando comparado aos obtidos na estação chuvosa. Durante a estação seca, a *P. aquatica* apresentou os menores valores de Ψ_f no período da tarde (-0,95 MPa) sendo mais elevado pela manhã (-0,36 MPa, $p < 0,001$), enquanto *S. foetida* apresentou um valor próximo de -0,9 MPa em ambos os horários ($p < 0,001$). A umidade do solo, como o Ψ_f , foi menor ($p < 0,001$) na estação seca para a *P. aquatica* e *S. foetida* (1,3 e 0,5%, respectivamente) em relação à estação chuvosa (Tabela 1).

6.1.2 Trocas gasosas

A *P. aquatica*, manteve a g_s estável durante ambas as estações avaliadas (Fig. 2A), embora entre as estações os parâmetros ambientais variaram de forma acentuada (Tabela 1). Por outro lado, a A decresceu no período da tarde em ambas as estações em torno de 28% ($p < 0,001$) (Fig. 2B). A perda de água foi maior na estação seca em ambos os horários, sendo 94% maior no período da tarde em relação à estação chuvosa ($p < 0,001$) (Fig. 2C). A EUA foi mais elevada na estação chuvosa no horário da manhã, sendo 95% menor na estação seca ($p < 0,001$) (Fig. 2D). Embora a maior taxa de transpiração tenha ocorrido na estação seca (Fig. 2C), a temperatura foliar foi maior durante este período do ano em ambos os horários ($p < 0,001$) (Tabela 1).

A g_s em folhas de *S. foetida* foi maior na estação chuvosa no período da tarde: $0,032 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($p < 0,001$); durante a estação seca, foi menor e sem variação nos dois períodos do dia (Fig. 2A). As maiores taxas de A foram observadas na estação chuvosa,

entorno de $10 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. No entanto, A decresceu em mais de 50% em ambos os horários ($p<0,05$) (Fig. 2B), principalmente a tarde no período seco. A E diferiu entre as estações e o período do dia ($p<0,001$), sendo maior na estação seca no horário da manhã: $0,21 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Fig. 2C). A EUA foi maior na estação chuvosa no horário da manhã: $185,44 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}$ ($p<0,001$), porém o segundo maior valor ocorreu no horário da tarde na estação seca com um alto DPV: $132,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}$ ($p<0,001$) (Fig. 2D). A temperatura foliar foi maior na estação seca em ambos os horários (manhã: $31,5$ e tarde: $41,2$ °C, $p<0,001$) (Tabela 1), quando comparada a estação chuvosa.

6.1.3 Análises bioquímicas do tecido vegetal

O conteúdo foliar de amido e CST apresentaram as maiores concentrações na estação seca na *P. aquatica* quando comparada a estação chuvosa ($p<0,01$). Quanto aos ALT ocorreu o contrário, sendo o maior acúmulo na estação chuvosa em relação a estação seca ($p<0,001$). O conteúdo de PT não diferiu entre as estações. Em relação aos pigmentos fotossintéticos, somente a Chl *b* sofreu alteração, sendo mais elevada na estação seca ($p<0,05$) (dados não mostrados).

Ao contrário da *P. aquatica*, a maior concentração de amido em folhas da *S. foetida* foi durante a estação chuvosa ($p<0,01$) e ALT na estação seca ($p<0,001$) quando comparada a outra estação. Nos CST e PT não houve alteração. Dentre os pigmentos fotossintéticos, Chl *a* ($p<0,05$) e *b* ($p<0,01$) foram mais concentradas na estação seca, não havendo mudança no conteúdo de carotenoides quando comparados à estação chuvosa (dados não mostrados).

6.2 Experimento casa de vegetação

6.2.1 Germinação

A porcentagem de emergência (E%) alcançou $57 \pm 2,38$ e $85 \pm 3,00$ com um tempo médio de emergência (TME) de $6,16 \pm 0,86$ e $2,05 \pm 0,11$ para *P. aquatica* e *S. foetida*, respectivamente (Tabela 2).

6.2.2 Biometria

No ME o número de folhas decresceu para as duas espécies somente no tratamento severo quando comparado ao controle ($p < 0,05$) (Fig. 3A, B). Para a altura e diâmetro do caule, não houve diferença entre os três tratamentos.

Em *P. aquatica*, as plantas do tratamento severo apresentaram uma média de oito folhas, enquanto as plantas do controle e estresse estavam com 13 folhas. O valor da altura e diâmetro ficou em torno de 57 cm e 25 mm, respectivamente, para os três tratamentos (Fig. 3A, C, E)

Para a *S. foetida*, o número de folhas do tratamento severo em média foi sete, já o controle e estresse moderado tiveram em média 10 folhas. A altura foi em torno dos 24 cm e o diâmetro 10 mm para os três tratamentos (Fig. 3B, D, F).

6.2.3 Status hídrico da planta e solo

As plantas do tratamento severo de ambas as espécies no ME apresentaram valores próximos de -1.0 MPa ($p < 0,001$), enquanto as plantas controle e estresse moderado apresentaram valores entre -0.2 a -0.4 MPa. A umidade do solo teve uma redução de 80% no tratamento estresse severo ($p < 0,001$), havendo recuperação dos valores desses dois parâmetros após a reidratação para as duas espécies (Fig. 4A, B).

6.2.4 Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*

Os parâmetros avaliados das trocas gasosas tanto da *P. aquatica* como da *S. foetida*, decresceram sob estresse severo em relação ao controle e tratamento de estresse moderado (Fig. 5A - F). Após o período de reidratação, as taxas de trocas gasosas da *P. aquatica* sob seca severa apresentou uma recuperação parcial; por outro lado as plantas da *S. foetida* apresentaram recuperação total em relação aos valores do tratamento controle (Fig. 5A-F). Na *P. aquatica*, a g_s no ME chegou a valores próximos de zero, enquanto as plantas controle e de estresse moderado ficaram em torno de $0,1 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($p<0,001$). (Fig. 5A). A A seguiu o comportamento da g_s , chegando a zero no ME em plantas severo; o controle e estresse moderado tiveram taxas de aproximadamente $9 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($p<0,001$) (Fig. 5C). Para E , as plantas do estresse severo chegaram a 10% do valor das plantas controle e moderado ($0,4 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, $p<0,001$) (Fig. 5E).

Para a *S. foetida*, a g_s sob seca severa decresceu 90% em relação às plantas controle e de estresse moderado no ME ($0,01 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$; $p<0,001$) (Fig. 5B). Quanto a A , as plantas do tratamento severo apresentaram taxas de $1,2 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, enquanto os tratamentos controle e estresse moderado ficaram em torno dos $7 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($p<0,001$) (Fig. 5D). Na E , o tratamento severo apresentou as menores taxas quando comparado ao controle e estresse moderado, chegando a $0,5 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($p<0,001$) (Fig. 5F).

A fluorescência para ambas as espécies apresentou o mesmo comportamento das trocas gasosas, havendo redução das taxas nas plantas do estresse severo no ME das duas espécies, e recuperação parcial da *P. aquatica* e total na *S. foetida* após reidratação, exceto a F_v/F_m . Para a *P. aquatica*, essa relação no ME foi de 0,69 no tratamento severo contra 0,78 das plantas controle e de estresse moderado ($p<0,001$). Na recuperação, ele chegou a 0,77 nas plantas do severo, não diferindo do controle, apenas do estresse

moderado que apresentou um valor mais reduzido ($p<0,001$) (Fig. 6A). Já a *S. foetida*, apresentou uma F_v/F_m no ME para as plantas do tratamento severo de 0,67 contra 0,75 dos outros dois tratamentos ($p<0,05$); na recuperação, esse valor não diferiu dos demais tratamentos (Fig. 6B). Os valores de Φ_{PSII} decresceram 90% no tratamento severo da *P. aquatica* no ME em relação aos demais tratamentos (0,017; $p<0,001$) (Fig. 6C). As plantas de *S. foetida* sob seca severa apresentaram uma redução de 66% em relação ao controle ($p<0,001$) (Fig. 6D). O q_p , foi menor no ME tanto para a *P. aquatica* e *S. foetida* nas plantas do tratamento severo (0,07 e 0,09, respectivamente, $p<0,001$), enquanto o controle apresentou valores de 0,29 e 0,21, respectivamente (Fig. 6E,F). A ETR, no tratamento severo da *P. aquatica* foi de 15,5 [$\mu\text{mol (elétron)} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$], cerca de 75% menor do que o controle e estresse moderado ($p<0,001$) (Fig. 6G). Já a *S. foetida* sob tratamento severo apresentou valores de 21,8, uma redução próxima de 66% em relação aos outros tratamentos ($p<0,001$) (Fig. 6H). Quanto ao NPQ, as plantas do estresse severo da *P. aquatica* apresentaram os maiores valores durante a maior parte do experimento, inclusive no período de reidratação. Por outro lado, as plantas sob seca severa de *S. foetida* só obtiveram valores superiores no quinto dia e ME. (Fig. 6I, J).

6.2.5 Análises bioquímicas do tecido vegetal

Para a *P. aquatica*, os CST no ME tiveram um balanço positivo para os três tratamentos, sendo as maiores concentrações observadas nas plantas controle (730 mmol.kg^{-1} MS), seguido do estresse moderado e severo (330,6 e 167,4 mmol.kg^{-1} MS respectivamente) ($p<0,001$). No período de recuperação, houve redução das concentrações, onde o estresse severo continuou apresentando as menores taxas (50,5 mmol.kg^{-1} MS; $p<0,01$) (Fig. 7A). Quanto ao amido, o balanço também foi positivo no ME, com os maiores valores para o controle e estresse severo (aproximadamente 136

mmol.kg⁻¹ MS), e o estresse moderado ficando com concentrações próximas à zero ($p<0,05$). Na recuperação, o mesmo padrão foi observado, porém com um balanço menor para o controle e severo, e as plantas do estresse moderado apresentando um balanço negativo ($p<0,001$) (Fig. 7C). Para os ALT, o balanço foi positivo no ME para os três tratamentos. Já na recuperação, o controle e estresse moderado tiveram um balanço negativo, permanecendo positivo nas plantas do estresse severo (8,8 mmol.kg⁻¹ MS; $p<0,01$) (Fig. 7E). Para as PT no período do ME, o controle apresentou um balanço negativo, onde os dois tratamentos de estresse ficaram com valores próximos à zero, não diferindo entre si ($p<0,05$). Na recuperação, o balanço foi positivo para o tratamento de estresse moderado (14,2 g.kg⁻¹ MS), ficando negativo para o controle e estresse severo ($p<0,001$) (Fig. 7G). Quanto aos pigmentos fotossintéticos, no ME, foi observado para a Chl *a* que apenas o controle obteve um balanço positivo (0,41 g.Kg⁻¹ MS; $p<0,01$). Na recuperação, o balanço foi positivo apenas para o estresse moderado (0,95 g.Kg⁻¹ MS; $p<0,01$) (Fig. 8A). Para Chl *b* no ME, o estresse severo ficou com valores próximos a zero, não diferindo do controle, já o estresse moderado apresentou um balanço negativo ($p<0,05$). Na recuperação, o controle ficou com um balanço negativo, sendo positivo para os tratamentos estressados e mais elevado nas plantas do estresse moderado (0,34 g.Kg⁻¹MS; $p<0,001$) (Fig. 8C). Para Car não houve diferença significativa entre os tratamentos no ME. Na recuperação, o mesmo padrão da Chl *b* foi observado, sendo as concentrações mais elevadas no tratamento moderado e severo (1,67 e 0,31 g.Kg⁻¹ MS respectivamente; $p<0,001$) (Fig 8E).

Na *S. foetida*, o balanço dos CST no ME foi positivo para o controle e estresse severo, que não diferiram entre si (320 e 266 mmol.Kg⁻¹ MS respectivamente); o estresse moderado obteve um balanço negativo ($p<0,001$). No período de recuperação, o controle passou a ter um balanço negativo, o estresse severo com valores próximos a

zero, e o estresse moderado apresentou um balanço positivo (255 mmol.Kg⁻¹ MS; $p<0,001$) (Fig. 7B). Para o amido, o controle e estresse moderado não diferiram entre si, ficando com valores próximos à zero, já o estresse severo apresentou um balanço negativo ($p<0,05$). Na recuperação, o controle obteve um balanço positivo (461,7 mmol.Kg⁻¹ MS), enquanto que o estresse moderado apresentou um balanço negativo e as plantas do severo ficaram com valores próximos à zero ($p<0,001$) (Fig. 7D). Os ALT não diferiram entre os tratamentos no ME e recuperação, apresentando um balanço positivo (Fig. 7F). Já as PT tiveram um balanço positivo nos tratamentos estressados (aproximadamente 45 g.Kg⁻¹ MS; $p<0,05$) no período do ME. Após a reidratação, o estresse moderado manteve seu balanço positivo (51,7 g.Kg⁻¹ MS), enquanto controle e estresse moderado apresentaram um balanço negativo ($p<0,001$) (Fig. 7H). Em relação aos pigmentos fotossintéticos, a Chl *a* teve um maior balanço positivo nas plantas do estresse severo (1,07 g.Kg⁻¹ MS), seguida do estresse moderado (0,49 g.Kg⁻¹ MS) e ficando próximo a zero no controle ($p<0,001$). Na recuperação, o controle e estresse moderado apresentaram os maiores balanços, seguidos do estresse severo (2,03; 1,6 e 0,8 g.Kg⁻¹ MS respectivamente; $p<0,001$) (Fig. 8B). A Chl *b* não apresentou diferença no período do ME. Já na recuperação, foi observado o mesmo padrão da Chl *a*, sendo o controle e estresse moderado com os maiores balanços (0,5 e 0,48 g.Kg⁻¹ MS respectivamente), seguido do estresse severo (0,2 g.Kg⁻¹ MS; $p<0,001$) (Fig. 8D). Quanto aos Car no período de ME, o maior balanço foi obtido nas plantas controle seguido do estresse moderado (0,3 e 0,2 g.Kg⁻¹ MS respectivamente); o estresse severo ficou com um balanço próximo a zero ($p<0,001$). Na recuperação, o controle continua com o maior balanço (0,68 g.Kg⁻¹ MS), onde os tratamentos estressados também apresentaram um balanço positivo (próximo a 0,4 g.Kg⁻¹ MS), não diferindo entre si ($p<0,001$) (Fig. 8F).

7. DISCUSSÃO

7.1 Campo

Durante a estação seca os valores de Ψ_f observados na *P. aquatica* indicam que as plantas conseguiram se reidratar durante a noite, já que o valor pela manhã foi superior ao da tarde. Essa capacidade de reidratação na *P. aquatica* pode ter permitido que ela mantivesse sua abertura estomática mesmo sob restrição hídrica no solo, mantendo taxas fotossintéticas semelhantes ao período chuvoso. Entretanto, a *E* foi elevada na estação seca, sob alto DPV, principalmente no período da tarde. As plantas da *S. foetida* como não tiveram essa capacidade de recuperar seu status hídrico no período da noite, apresentaram uma redução significativa da condutância estomática na estação seca, ocorrendo consequentemente o declínio de sua assimilação.

Quando comparado a outras espécies arbóreas, o potencial hídrico foliar da *P. aquatica* e *S. foetida* tanto na estação chuvosa como seca foram mais elevados em relação à *Carapa guianenses* por exemplo [19]. Diferenças no Ψ_f entre espécies ou culturas sob estresse hídrico podem ser atribuídas a capacidade de condução de água e abertura estomática em resposta a sinais hidráulicos [20,21].

Em trabalho realizado com espécies perenifolias no norte da Austrália (*Alphitonia excelsa* e *Austromyrtus bidwillii*), foram observados valores reduzidos de g_s na estação seca [22], padrão semelhante ao observado no nosso trabalho para as duas espécies. Para a *A. bidwillii*, juntamente com a redução da g_s , a *A* também reduziu quando comparada a estação chuvosa [22]. Esse comportamento foi observado na *S. foetida*.

O padrão bioquímico visto para *P. aquatica* na estação seca indica que as plantas investiram seus CST principalmente na produção de amido, servindo de reserva energética, já que o conteúdo de PT manteve-se alto, não havendo uma necessidade,

portanto, de investimento em ALT para produção dessas proteínas. A síntese de amido e aminoácidos é regulada pelo conteúdo de carboidratos solúveis, além de atuarem como um segundo mecanismo regulatório da fotossíntese, como um *feedback* secundário [23]. Além disso, o acúmulo do amido mostra que a planta está conseguindo produzir trioses fosfatos suficientes para suprir os drenos, e acumular esse amido para respiração e seu metabolismo noturno. Outro fator preponderante é que para esta espécie, houve apenas o aumento nos teores de Chl *b* na estação seca, o que sugere que a *P. aquatica*, em condições de alto DPV, radiação elevada e seca, investem na produção desse tipo de clorofila, permitindo a captação em outros comprimentos de onda, além de servir como mecanismo de fotoproteção para o PSII, evitando danos ao aparato fotossintético. Assim, essa espécie conseguiu então manter taxas fotossintéticas semelhantes às aquelas observadas na estação chuvosa. Maiores quantidades de clorofila *b* é uma característica importante, pois possibilita a absorção de energia em outros comprimentos de onda e transferência para uma molécula específica de clorofila *a*, que efetivamente toma parte das reações fotoquímicas da fotossíntese [24].

Para a *S. foetida*, o aumento acentuado de ALT na estação seca, sem haver alteração nas PT e pouca na concentração de amido, sugere que pode ter ocorrido um desvio dos CST para produção desses ALT visando um acúmulo de solutos orgânicos. Entre os compostos orgânicos, os nitrogenados (aminoácidos), compostos quaternários e os poli-hidroxilícos (carboidratos e poliálcoois) são os solutos mais comumente acumulados em plantas sob condições de estresse [25]. Os carboidratos solúveis e aminoácidos vêm sendo intensamente estudados sob situações estressantes [26], por serem os solutos orgânicos de maior contribuição para o potencial osmótico. Solutos compatíveis envolvidos com a regulação de turgor podem atuar como osmólitos citoplasmáticos facilitando a absorção de água [27], bem como protetores e

estabilizadores de macromoléculas e estruturas celulares para dano induzido por condições de estresse [28]. Quanto aos pigmentos fotossintéticos, todos aumentaram na estação seca, exceto os carotenoides.

7.2 Casa de Vegetação

Através dos dados de germinação, foi possível verificar que nenhuma das duas espécies em questão possui dormência. Os dados da *S. foetida*, principalmente em relação a porcentagem de emergência que apresentou um alto valor, contradiz alguns resultados observados na literatura [29], que afirmam que sementes dessa espécie apresentam dormência, necessitando de algum tratamento pré-germinativo.

Quanto à biometria, o único parâmetro afetado significativamente nas duas espécies pelo estresse hídrico foi o número de folhas. A senescência é um efeito comum em situação de déficit hídrico severo [30]. A redução do número de folhas em plantas sob estresse hídrico pode ser considerada como uma estratégia de sobrevivência sob condições adversas, para evitar a perda de água por transpiração [31].

O Ψ_f no ME das plantas sob seca severa foi duas vezes menor em relação às plantas controle tanto da *P. aquatica* como *S. foetida*, havendo um restabelecimento do status hídrico da planta após os quatro dias de reidratação, mostrando uma rápida capacidade de recuperação para ambas as espécies após um período de déficit hídrico severo. Comportamento semelhante foi observado em plantas de *Ziziphus mauritiana*, onde após 13 dias de suspensão da rega, o Ψ_f reduziu, e com três dias de reidratação, o Ψ_f foi recuperado [32].

Com o início do estresse hídrico, foi observado que as plantas do estresse moderado de ambas as espécies ao longo do experimento permaneceram com taxas semelhantes ao controle quanto às trocas gasosas assim como na fluorescência, mostrando assim que a

condição moderada é bem tolerada. Nas plantas do estresse severo das duas espécies houve um decréscimo acentuado com o início da diferenciação hídrica, alcançando valores próximos a zero no ME. Essa queda provavelmente está relacionada com redução da condutância estomática, podendo estar ligada a diminuição da disponibilidade hídrica no solo que acarretou a redução do Ψ_f levando à perda de turgescência. Além disso, o DPV em associação com a restrição hídrica, alta radiação e maiores temperaturas, pode ter afetado severamente a abertura estomática. Há evidências que sob restrição hídrica, as taxas fotossintéticas podem sofrer redução pelo fechamento estomático, devido ao aumento da resistência difusiva à entrada de CO_2 na folha. A queda da condutância estomática ao longo do dia pode ser atribuída ao aumento do DPV, à diminuição do potencial hídrico da folha ou ao efeito combinado de ambos fatores, sem excluir o efeito da radiação. Os estômatos se fecham em resposta a uma queda de turgor da folha e/ou potencial hídrico devido a reduzida umidade do solo [33] ou pela baixa umidade atmosférica [34]. A indução das respostas estomáticas a umidade do ar podem estar envolvidas com sinais metabólicos presentes no fluxo transpiratório [35].

A taxa de assimilação de CO_2 sofre redução com decréscimo moderado de água na folha, ou mesmo antes do status hídrico foliar sofrer alteração, em resposta a baixa umidade relativa do ar [36], ou em resposta ao potencial hídrico do solo [37, 38]. Essa deficiência hídrica também pode causar efeitos na bioquímica dos cloroplastos, contribuindo para a queda do desempenho fotossintético [39,10].

Após quatro dias de reidratação, a *P. aquatica* apresentou uma recuperação parcial de suas taxas fotossintéticas como dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a* em relação ao controle; já as plantas de *S. foetida* tiveram uma recuperação total. Entretanto, como foi visto na relação F_v/F_m após o período de recuperação, as plantas do

tratamento severo atingiram valores próximos do tratamento controle para ambas as espécies, mostrando que não houve danos irreversíveis ao PSII. O declínio da relação F_v/F_m é um bom indicador do dano fotoinibitório quando as plantas estão sujeitas a estresses abiótico, incluindo frio e seca [40]. Quando as plantas estiverem em condições não estressantes, seus valores se encontrarão entre 0,75 e 0,85; valores inferiores a estes indicam estresse e redução da eficiência quântica máxima do PSII [13]. A fluorescência da clorofila *a* pode ser utilizada na avaliação de danos causados por estresse hídrico. Tem sido demonstrado que plantas submetidas ao estresse hídrico moderado não apresentam decréscimo na atividade potencial do PSII. Entretanto, sob estresse hídrico severo, as plantas frequentemente apresentam um marcante efeito fotoinibitório, caracterizado por um decréscimo significativo do rendimento quântico [41]. Nesse caso, o déficit hídrico, em combinação com altos níveis de irradiância, pode causar uma significativa redução na eficiência da fotossíntese. Isso foi verificado no nosso trabalho para as duas espécies durante o período de restrição hídrica nas plantas submetidas ao estresse severo.

Foi observada uma variação na bioquímica foliar entre ME e recuperação nas plantas controle tanto para a *P. aquatica* como *S. foetida*. O padrão observado para PT e ALT no ME da *P. aquatica*, ou seja, balanço positivo de ALT contra negativo de PT, pode ser devido a um investimento de parte dos CST para produção de ALT [24]. Na recuperação (balanço negativo para ALT e PT), esse comportamento pode estar envolvido com o deslocamento dos CST preferencialmente para produção amido. Olhando para os pigmentos fotossintéticos dessa espécie, o balanço do controle para todos eles no período de reidratação foi negativo, o que nos leva a crer que houve a quebra das moléculas de clorofila, já que acompanhando a alta radiação ocorreu um DPV elevado, evitando assim uma fotoinibição mais severa, protegendo o aparato

fotossintético de danos irreversíveis. A relação F_v/F_m dessas plantas ao final da recuperação sofreu redução, indicando uma menor eficiência fotossintética.

A *P. aquatica* sob o tratamento moderado no ME investiu na produção de CST, já que suas taxas fotossintéticas não foram comprometidas. No entanto, sob estresse severo, o acúmulo de amido foi maior quando comparado ao estresse moderado. Esse acúmulo de amido pode estar relacionado à dificuldade de exportação do carbono da folha para outras partes da planta [42]. O armazenamento na forma de amido e/ou açúcares solúveis totais pode propiciar à espécie maiores quantidades de energia para investir no crescimento após o período de estresse [43]. Durante a recuperação as plantas do tratamento severo (ALT, CST e amido com balanço positivo, PT com balanço negativo), mostraram um investimento nesses produtos para retomar o crescimento após o período de estresse. Já o balanço observado do tratamento moderado no período de recuperação mostrou que aparentemente a planta investiu seus aminoácidos na produção de PT para continuar seu crescimento.

Os pigmentos fotossintéticos dos tratamentos estressados apresentaram balanço negativo para Chl *a* e *b* no ME. A degradação de clorofila, através da enzima clorofilase [44], pode ser um mecanismo eficiente à espécie para evitar danos severos no PSII sob condições estressantes, como produção de espécies reativas de oxigênio. Durante a reidratação, ocorreu aumento nas concentrações desses pigmentos, inclusive nos carotenoides, o que indica uma retomada dos processos fotossintéticos e metabólicos em condições mais favoráveis, na tentativa de recuperar os danos sofridos durante a seca imposta, principalmente se tratando do estresse severo.

S. foetida sob seca severa no ME apresentou um balanço negativo de amido contra um balanço positivo de CST, podendo ser indicativo da severidade e duração do estresse hídrico, que leva a modificações do tamanho do *pool* de carboidratos. O

aumento dos açúcares solúveis é concomitantemente acompanhado pelo decréscimo do amido [45-48]. Na recuperação, o balanço do amido foi positivo apenas para o controle, por outro lado os CST foram positivos para os dois tratamentos estressados. Essa produção de CST ocorreu provavelmente em função da necessidade de sintetizar ALT [23], para que estes possam ser utilizados na produção de proteínas. Esse comportamento é bem evidenciado nas plantas do estresse moderado; já o severo chegou a sintetizar amido, mas não conseguiu nesse período de recuperação sintetizar PT.

A Chl *a* e total no ME apresentaram um maior balanço positivo nas plantas do estresse severo, diferentemente da *P. aquatica*. Esse aumento pode ser uma tentativa das plantas de aumentarem captação de radiação, otimizando assim a fixação do pouco CO₂ que existe na câmara subestomática. Já na recuperação, esse comportamento é invertido, devido a uma degradação da clorofila mediante disponibilidade de água no solo juntamente sob alto DPV e radiação, preservando seu aparato fotossintético, pois as plantas acabaram de passar por uma condição adversa. Junto ao aumento das clorofilas, os Car também foram elevados. Esse aumento de Car também foi observado nas plantas controle e de estresse moderado, mostrando que alta radiação junto com elevado DPV é bastante sentido pela espécie, o que pode ter induzido aumento dos pigmentos fotoprotetores. Quando a radiação não é um fator limitante, tal como neste estudo, um aumento no fluxo linear de elétrons pode produzir aumentos de ATP e NADPH, que pode termodinamicamente ou cineticamente deprimir esse fluxo linear de elétrons, como também foi observado no nosso estudo, resultando numa superexcitação dos centros de reação, levando potencialmente a fotoxidação [49].

Sob condições de campo, foi observado que as plantas da *P. aquatica* apresentaram maiores taxas fotossintéticas em relação a *S. foetida* na estação seca, não tendo redução

quanto a estação chuvosa. Em casa de vegetação, após o déficit hídrico severo acompanhado de quatro dias de reidratação, as plantas da *S. foetida* apresentaram uma recuperação plena tanto de suas taxas fotossintéticas e de fluorescência. Porém, a recuperação parcial nas plantas do severo da *P. aquatica* pode indicar uma característica de retomar seus processos metabólicos mais lentamente, na possibilidade de ocorrer um estresse recorrente, sendo assim mais fácil reduzir novamente suas taxas, preservando-se. Além dessas plantas em pleno ME conseguirem acumular amido. Assim, ambas lançam mão de adaptações como modificar o conteúdo de pigmentos fotossintéticos e reduzir a condutância estomática para tolerar a deficiência hídrica, as quais são interessantes para espécies potencialmente de interesse para a região nordeste brasileira.

8. CONCLUSÕES

- As sementes não possuem dormência;
- Em campo, a espécie *P. aquatica* se sobressaiu por manter suas taxas fotossintéticas durante a estação seca equivalentes as apresentadas na estação chuvosa;
- Em casa de vegetação, as plantas de *S. foetida* apresentaram recuperação plena de suas taxas tanto de trocas gasosas como fluorescência em relação a *P. aquatica* após o período de recuperação, entretanto, uma recuperação mais lenta da *P. aquatica* pode indicando que esta espécie fica em alerta para um possível estresse recorrente.

9. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE) pela área disponibilizada na Usina Experimental de Biodiesel de Caetés, para estabelecimento do plantio experimental, ao pesquisador Wolfgang Harand pelo suporte técnico. A CAPES pela bolsa concedida. Ao CNPq e a FACEPE pela concessão de recursos através de editais apoio a projetos de pesquisa.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ramos C N, Nascimento LS, Silva MN. Biodiesel obtido através de resíduos: energia limpa que vem de restos. Bolsista de valor: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense 2010;1:151-156.
- [2] Carvalho PT. Balanço de emissão de gases do efeito estufa de biodiesel produzido a partir de soja de dendê no Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2012.
- [3] Peripolli V, Barcellos JOJ, Prates ER, Wilbert CA, Lopes RB. Composição mineral da casca proteinada de soja para alimentação de ruminantes. Acta Sci Vet 2012;40:1020.
- [4] Oliveira JTA, Vasconcelos IM, Bezerra LCNM, Silveira SB, Monteiro ACO, Moreira RA. Composition and nutritional properties of seeds *Pachira aquatica* Aubl, *Sterculia striata* St Hilet Naud and *Terminalia catappa* Linn. Food Chem 2000, 70:185-191.

- [5] Araújo JMA. Química de alimentos: teoria e prática. 4. ed. Editora Viçosa. Viçosa, MG. 2008.
- [6] Gulías J, Cifre J, Jonasson S, Medrano H, Flexas J. Seasonal and inter-annual variations of gas exchange in thirteen woody species along a climatic gradient in the Mediterranean island of Mallorca. *Flora* 2009, 204:169–181.
- [7] Ogaya R, Peñuelas J. Comparative seasonal gas exchange and chlorophyll fluorescence of two dominant woody species in a Holy Oak forest. *Flora* 2003, 198:132–141.
- [8] Maguire JD. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci* 1962;2:176-177
- [9] Scholander PF, Hammel HT, Bradstreet ED, Hemmingsen EA. Sap pressure in vascular plants, negative hydrostatic pressure can be measured in plants. *Science* 1965;148:339-346.
- [10] Santos MG, Ribeiro RV, Oliveira RF, Machado EC, Pimentel C. The role of inorganic phosphate on photosynthesis recovery of common bean after a mild water deficit. *Plant Sci* 2006;170:659-664.
- [11] Campbell GS, Norman JM. An introduction to environmental biophysics. Springer-Verlag, New York, USA 1998; 286.
- [12] Van Kooten O, Snel JFH. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynth Res* 1990;25:147-150.
- [13] Maxwell, K.; Johnson, G. Chlorophyll fluorescence-a practical guide. *J Exp Bot* 2000;51:659-668.

- [14] Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal Chem* 1956;28:350-356
- [15] Moore S, Stein WH. Photometric ninhydrin method for use in chromatography of amino acids. *J Biol Chem* 1948;176:367-388.
- [16] Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem* 1976;72:248-254.
- [17] Lichtenthaler HK. Chlorophyll and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Meth Enzymol* 1987;148:331-382.
- [18] Trethewey RN, Geigenberger P, Riedel K, Hajirezaei MR, Sonnewald U, Stitt M, Riesmeier JW, Willmitzer L. Combined expression of glucokinase and invertase in potato tubers leads to a dramatic reduction in starch accumulation and a stimulation of glycolysis. *Plant J* 1998;15:109-118.
- [19] Costa GF, Marengo RA. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). *Act Amaz* 2007;37:229–234.
- [20] Schultz HR. Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behaviour of two field grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant Cell Environ* 2003;26:1393-1405.
- [21] Sinclair TR, Zwieniecki MA, Holbrook NM. Low leaf hydraulic conductance associated with drought tolerance in soybean. *Physiol Plant* 2008;132:446-451.

- [22] Choat B, Ball MC, Luly JG, Donnely CF, Holtum JAM. Seasonal pattern of leaf gas exchange and water relations in dry rain forest trees of contrasting leaf phenology. *Tree Physiol.* 2006;26: 657-664.
- [23] Paul MJ, Pellny TK. Carbon metabolite feedback regulation of leaf photosynthesis and development. *J Exp Bot* 2003;54:539-547.
- [24] Whatley, J.M. & Whatley, F.R. *A luz e a vida das plantas*. São Paulo, Epu-Edusp 1982; 101.
- [25] Asharaf M, Harris PJC. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Sci* 2004;166:3-16.
- [26] Azevedo Neto AD, Prisco JT, Enéas Filho J, Lacerda CF, Silva JV, Costa PHA, Gomes Filho E. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize genotypes. *Rev Bras Fisiol Veg* 2004;16:31-38.
- [27] Flowers, T. Improving crop salt tolerance. *J Exp Bot* 2004;55:307-19.
- [28] Bohnert H J, Jensen RG. Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. *Trends Biotech* 1996;14:89-97.
- [29] Santos TO, Moraes TGO, Matos VP. Escarificação mecânica em sementes de chichá (*Sterculia foetida* L.). *SIF* 2004;28:1-6.
- [30] Carlesso R. Influence of soil water deficits on maize growth and leaf area adjustments. Ph.D. Thesis. East Lansing: Michigan State University; 1993.
- [31] Kozlowski TI. Water supply and leaf shedding. In: .Water deficits and plant growth. New York: Academic Press 1976;4:191-222.

- [32] Clifford SC, Arndt SK, Corlett JE, Joshi S, Sankhla N, Poppand M, Jones HG. The role of solute accumulation, osmotic adjustment and changes in cell wall elasticity in drought tolerance in *Ziziphus mauritiana* Lamk. J Exp Bot 1998;49:967–977.
- [33] Ludlow MM. Adaptative significance of stomatal responses to water stress. In: Turner NC, Kramer PJ, eds. Adaptation of plants to water and high temperature stress. New York: Wiley, 1980;123-128.
- [34] Maroco JP, Pereira JS, Chaves MM. Stomatal responses to leaf-air vapour pressure deficit in Sahelian species. Aus J Plant Physiol. 1997;24:381-387.
- [35] Grantz, DA. Plant response to atmospheric humidity. Plant, Cell and Environ 1990;13:667-679.
- [36] Kramer PJ, Boyer JS. Water relations of plant sand soils. Academic Press 1995;377-404.
- [37] Chaves MM, Maroco JP, Pereira JS. Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. Funct Plant Biol 2003;30:239-264.
- [38] Lawlor DW. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. Ann Bot 2002;89:871-885.
- [39] Farquhar GD, Sharkey TD. Stomatal conductance and photosynthesis. Annu Rev Plant Physiol 1982;33:317–345.
- [40] Björkman, O, Powles SB. Inhibition of photosynthetic reactions under water stress: interaction with light level. Planta 1984;161: 490-504.

- [41] Baker NR. Light-use efficiency and photoinhibition of photosynthesis in plants under environmental stress. In: Smith JAC, Griffiths H (Eds.) Water deficit plant responses from cell to community. Bios Scientific Publisher 1993;221-235.
- [42] Silva S, Soares AM, Oliveira LEM, Magalhães PC. Respostas fisiológicas de gramíneas promissoras para revegetação ciliar de reservatórios hidrelétricos, submetidas à deficiência hídrica. Ciênc. agrotec 2001; 25:124-133.
- [43] Lima PC. Acúmulo e distribuição de matéria seca, carboidratos e macronutrientes em mudas de *Eucalyptus* spp em solos com diferentes potenciais hídricos. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição)Viçosa: UFV; 1996.
- [44] Sharma PK, Hall DO. Interaction of salt stress and photoinhibition on photosynthesis in barley and sorghum. J Plant Physiol 1991;138:614-619.
- [45] DaMatta FM, Maestri M, Barros RS. Photosynthetic performance of two coffee species under drought. Photosynthetica 1997;34:257–264.
- [46] Pelleschi S, Rocher JP, Prioul JL. Effect of water restriction on carbohydrate metabolism and photosynthesis in mature maize leaves. Plant Cell Environ 1997; 20:493–503.
- [47] Vu JCV, Baker JT, Pennanen AH, Allen Jr H, Bowes G, Boote KJ. Elevated CO₂ and water deficit effects on photosynthesis, ribulose biphosphate carboxylase–oxygenase, and carbohydrate metabolism in rice. Physiol Plant 1998;103:327–339.
- [48] Basu PS, Sharma A, Garg ID, Sukumaran NP.. Tuber sink modifies photosynthetic response in potato tuber under water stress. Environ Exp Bot 1999; 42: 25–39

[49] Baker NR, Harbinson J, Kramer DM. Determining the limitations and regulation of photosynthetic energy transduction in leaves. *Plant, Cell Environ* 2007;30:1107-1125.

Tabela 1. Condições ambientais (clima); medidas relacionadas as espécies (*P. aquatica* e *S. foetida*) em Caetés – PE, na estação chuvosa (mai/11) e seca (nov/11). Clima se refere aos dados de precipitação (mm), fluxo de fótons fotossintéticos (PPF - $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e déficit de pressão de vapor (DPV - kPa). *P. aquatica* e *S. foetida* se refere as medidas de potencial (Ψ_f - MPa), temperatura foliar (T_{folha} - °C) e umidade relativa do solo (UR_{solo} - %).

Variáveis	Estação/Período			
	Chuvosa		Seca	
	Manhã	Tarde	Manhã	Tarde
Clima				
Precipitação (mm)	214,1		22,1	
PPF ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)	800	600	1000	2000
DPV (kPa)	0,35	0,46	0,95	1,82
<i>P. aquatica</i>				
$\Psi(\text{Mpa})$	-0,29±0,01 ^A	-0,34±0,03 ^A	-0,36±0,02 ^A	-0,95±0,04 ^B
$T_{\text{folha}}(^{\circ}\text{C})$	24,9±0,07 ^C	23,8±0,17 ^C	28,0±0,16 ^B	36,3±0,33 ^A
UR_{solo} (%)	12,4±1,42 ^A		1,30±0,30 ^B	
<i>S. foetida</i>				
$\Psi(\text{Mpa})$	-0,25±0,01 ^a	-0,32±0,01 ^a	-0,90±0,00 ^b	-0,93±0,03 ^b
$T_{\text{folha}}(^{\circ}\text{C})$	25,7±0,16 ^C	24,2±0,04 ^C	31,5±0,30 ^B	41,2±1,03 ^A
UR_{solo} (%)	14,1±0,62 ^A		0,50±0,00 ^B	

Valor médio de 5 repetições ($\pm$ S.E). Comparações foram realizadas entre estações e períodos para cada espécie. Letras maiúsculas representam interação entre estação e período; letras minúsculas representam diferença entre estações. Valores seguidos por letras diferentes em cada linha diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p<0,05$) em Ψ_f e T_{folha} e pelo Teste t ($p<0,05$) para UR_{solo} .

Tabela 2. Porcentagem de emergência (E - %) e tempo médio de emergência (TME - dias) de sementes de *P. aquatica* e *S. foetida* em substrato areia lavada em casa de vegetação. (n= 4 $\pm$ EP).

Espécies	Variáveis	
	E	TME
	(%)	(dias)
<i>P. aquatica</i>	57 $\pm$ 12.91	5.18 $\pm$ 1.22
<i>S. foetida</i>	85 $\pm$ 19.18	6.84 $\pm$ 1.66

Figura 01. A - Déficit de pressão de vapor (DPV); B e C – temperatura foliar ($^{\circ}\text{C}$), em plantas de *P. aquatica* e *S. foetida* submetidas a diferentes regimes hídricos: controle (potes mantidos com máxima hidratação – capacidade de campo - CC); estresse moderado (50 % da CC) e estresse severo (suspensão da irrigação). A seta indica o máximo estresse (15 dias após diferenciação dos tratamentos); a reidratação se deu nos 4 dias subsequentes. Letras comparando os tratamentos em cada dia para cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 5 \pm \text{E.P.}$).

Figura 02. A- Condutância estomática (g_s – $\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$); B- taxa de assimilação líquida de CO_2 (A - $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$); C- transpiração (E - $\text{mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$); D- eficiência do uso da água (EUA - $\text{mmol CO}_2.\text{mol H}_2\text{O}^{-1}$) em plantas de *P. aquatica* e *S. foetida* na estação chuvosa (maio/11) e seca (nov/11) em Caetés-PE. As medidas foram realizadas às 9:00 e 14:00. Comparações foram feitas entre estações e horários para cada espécie. Comparações foram feitas entre estações e horários para cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes em cada coluna diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 5 \pm \text{E.P.}$)

Figura 03. A e B- número de folhas; C e D- altura (cm); E e F- diâmetro (mm) em plantas de *P. aquatica* e *S. foetida* respectivamente submetidas a diferentes regimes hídricos: controle (potes mantidos com máxima hidratação – capacidade de campo - CC); estresse moderado (50 % da CC) e estresse severo (suspensão da irrigação). A seta indica o máximo estresse (15 dias após diferenciação dos tratamentos). Letras comparando os tratamentos em cada dia para cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 7 \pm \text{E.P.}$).

Figura 04. A - Potencial hídrico foliar (Ψ_f – MPa); B – umidade relativa do solo (UR_{solo} - %), em plantas de *P. aquatica* e *S. foetidano* máximo estresse (15 dias) e reidratação (4dias) submetidas a diferentes regimes hídricos: controle (potes mantidos com máxima hidratação – capacidade de campo - CC); estresse moderado (50 % da CC) e estresse severo (suspensão da irrigação). Medidas de Ψ_f foram realizadas as 6:00 e 13:00 h. Letras comparando os tratamentos hídricos no período de máximo estresse e recuperação respectivamente de cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes em cada coluna diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 5 \pm E.P.$).

Figura 05. A e B- condutância estomática (g_s – $\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$); C e D – assimilação líquida de CO_2 (A – $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$); E e F – transpiração ($\text{mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$), em plantas de *P. aquatica* e *S. foetida* respectivamente submetidas a diferentes regimes hídricos: controle (potes mantidos com máxima hidratação – capacidade de campo - CC); estresse moderado (50 % da CC) e estresse severo (suspensão da irrigação). A seta indica o máximo estresse (15 dias após diferenciação dos tratamentos); a reidratação se deu nos 4 dias subsequentes. Letras comparando os tratamentos em cada dia para cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 5 \pm E.P.$).

Figura 6. A e B- Eficiência quântica máxima do PSII (F_v/F_m); C e D- eficiência quântica efetiva do PSII (ΦPSII); E e F- proporção de abertura do PSII (q_p); G e H- taxa de transporte linear de elétrons (ETR); I e J- quenching não fotoquímico (NPQ), em plantas de *P. aquatica* e *S. foetida* respectivamente submetidas a diferentes regimes hídricos: controle (potes mantidos com máxima hidratação – capacidade de campo - CC); estresse moderado (50 % da CC) e estresse severo (suspensão da irrigação). A seta indica o máximo estresse (15 dias após diferenciação dos tratamentos); a reidratação se

deu nos 4 dias subsequentes. Letras comparando os tratamentos em cada dia para cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 5 \pm E.P$).

Figura 07. Balanço entre os horários: 15:00—6:00. A e B – CST ($\text{mmol.Kg}^{-1}\text{MS}$); C e D – amido ($\text{mmol.Kg}^{-1}\text{MS}$); E e F – ALT ($\text{mmol.Kg}^{-1}\text{MS}$); G e H – PT ($\text{g. Kg}^{-1}\text{MS}$), de plantas de *P. aquatica* e *S. foetida* respectivamente no máximo estresse (15 dias) e reidratação (4 dias) submetidas a diferentes regimes hídricos: controle (potes mantidos com máxima hidratação – capacidade de campo - CC); estresse moderado (50 % da CC) e estresse severo (suspensão da irrigação). Letras comparando os tratamentos hídricos no período de máximo estresse e recuperação respectivamente de cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes em cada coluna diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 4 \pm E.P$).

Figura 08. Balanço entre os horários: 15:00 - 6:00. A e B – Chl *a* ($\text{g.Kg}^{-1}\text{MS}$); C e D – Chl *b* ($\text{g.Kg}^{-1}\text{MS}$); E e F Car ($\text{g.Kg}^{-1}\text{MS}$), de plantas de *P. aquatica* e *S. foetida* respectivamente no máximo estresse (15 dias) e reidratação (4 dias) submetidas a diferentes regimes hídricos: controle (potes mantidos com máxima hidratação – capacidade de campo - CC); estresse moderado (50 % da CC) e estresse severo (suspensão da irrigação). Letras comparando os tratamentos hídricos no período de máximo estresse e recuperação respectivamente de cada espécie. Valores seguidos por letras diferentes em cada coluna diferem pelo teste de Student Newman Keul's ($p < 0,05$). ($n = 4 \pm E.P$).

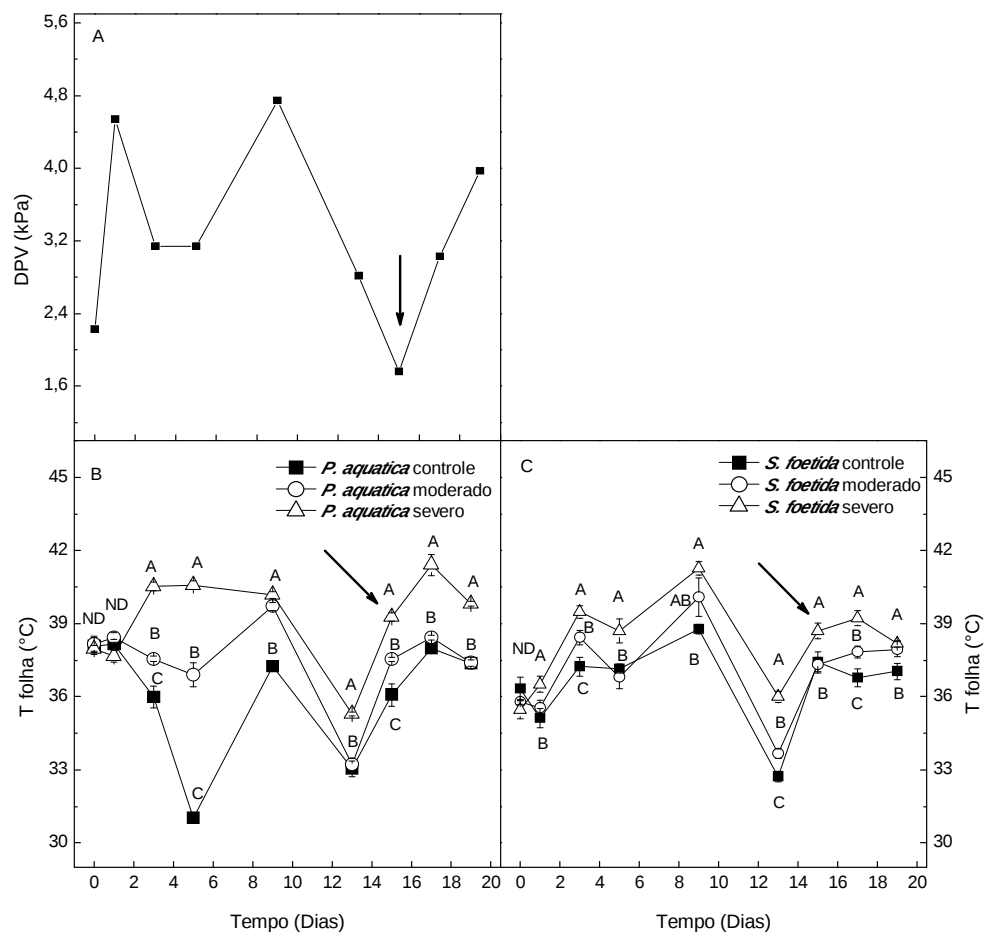


Fig. 01

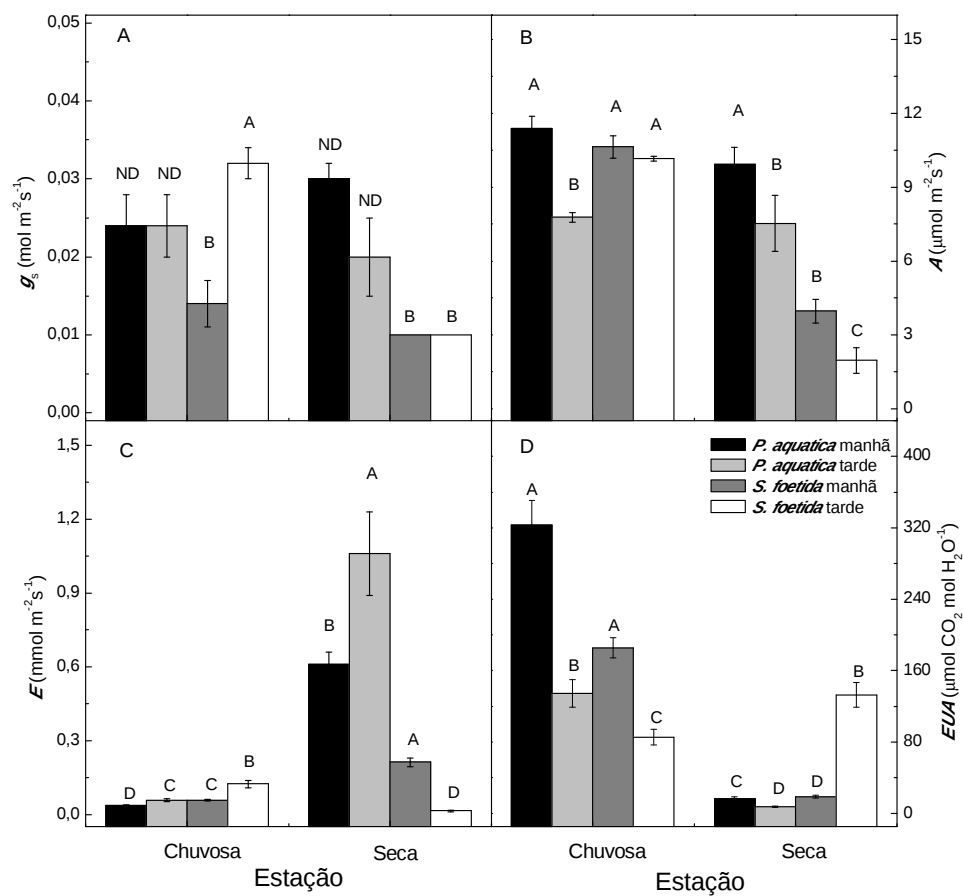


Fig. 02

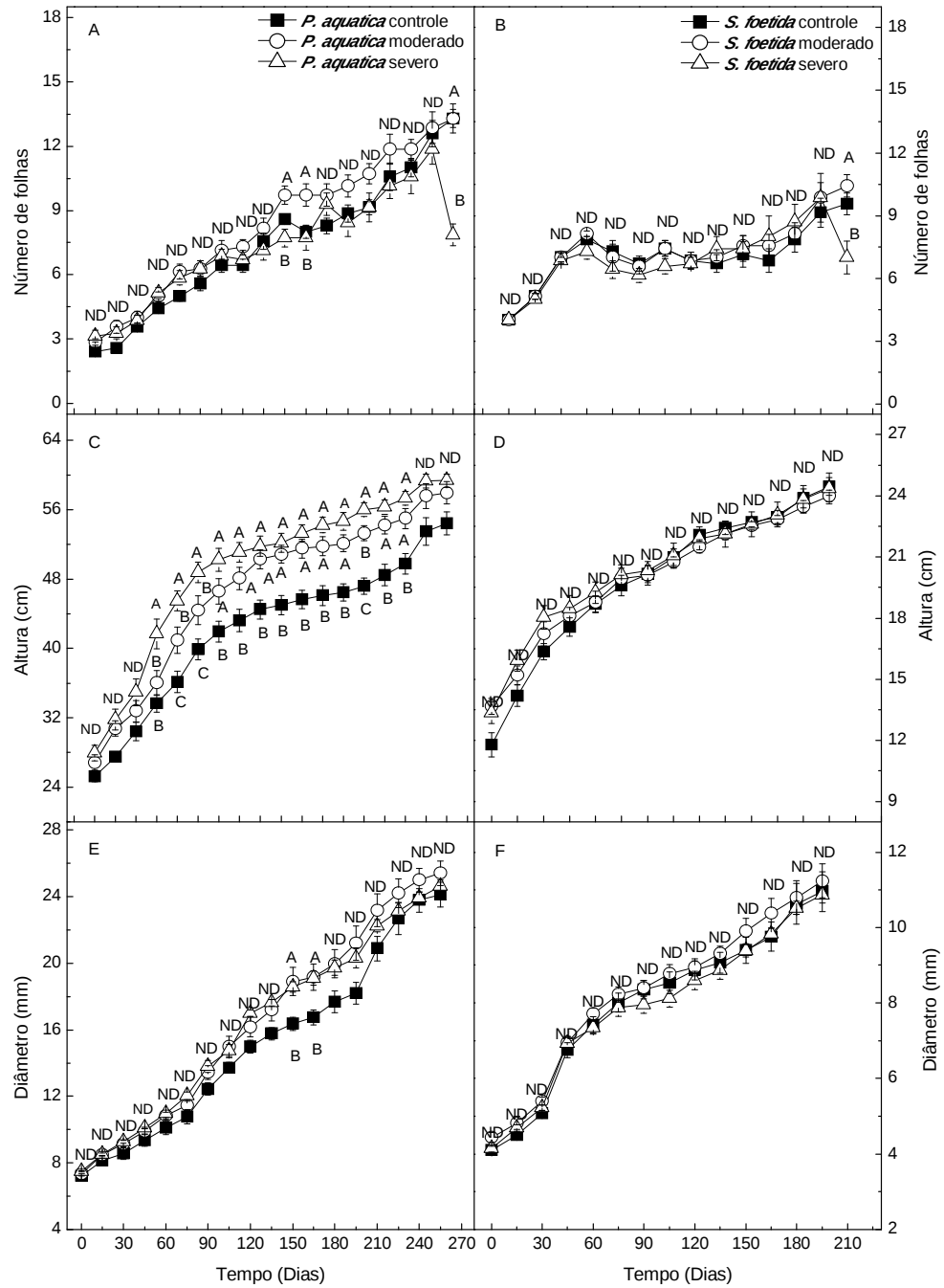


Fig. 03

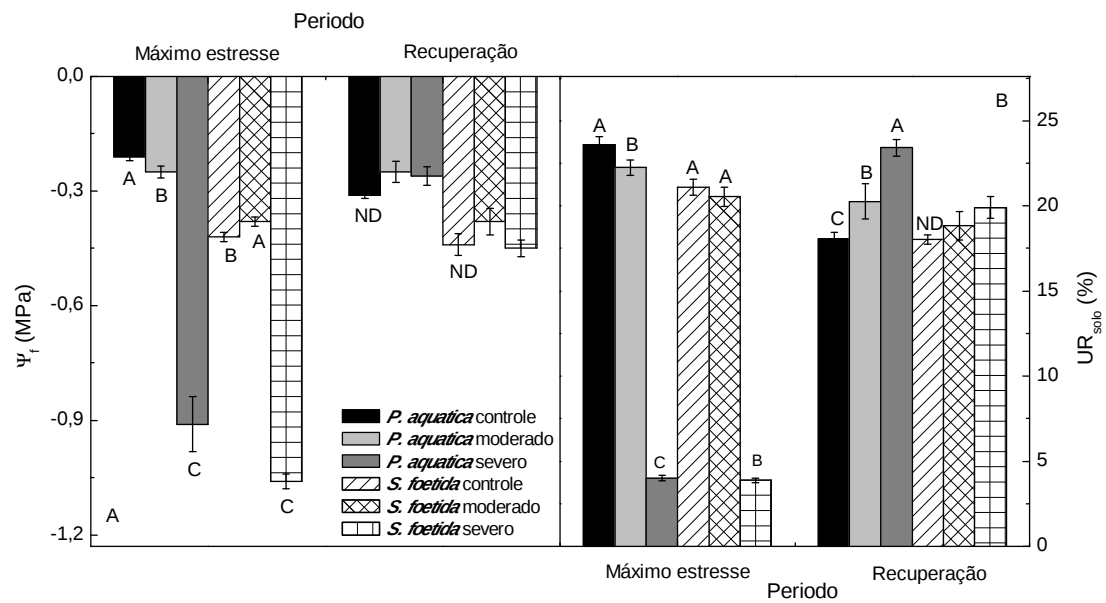


Fig. 04

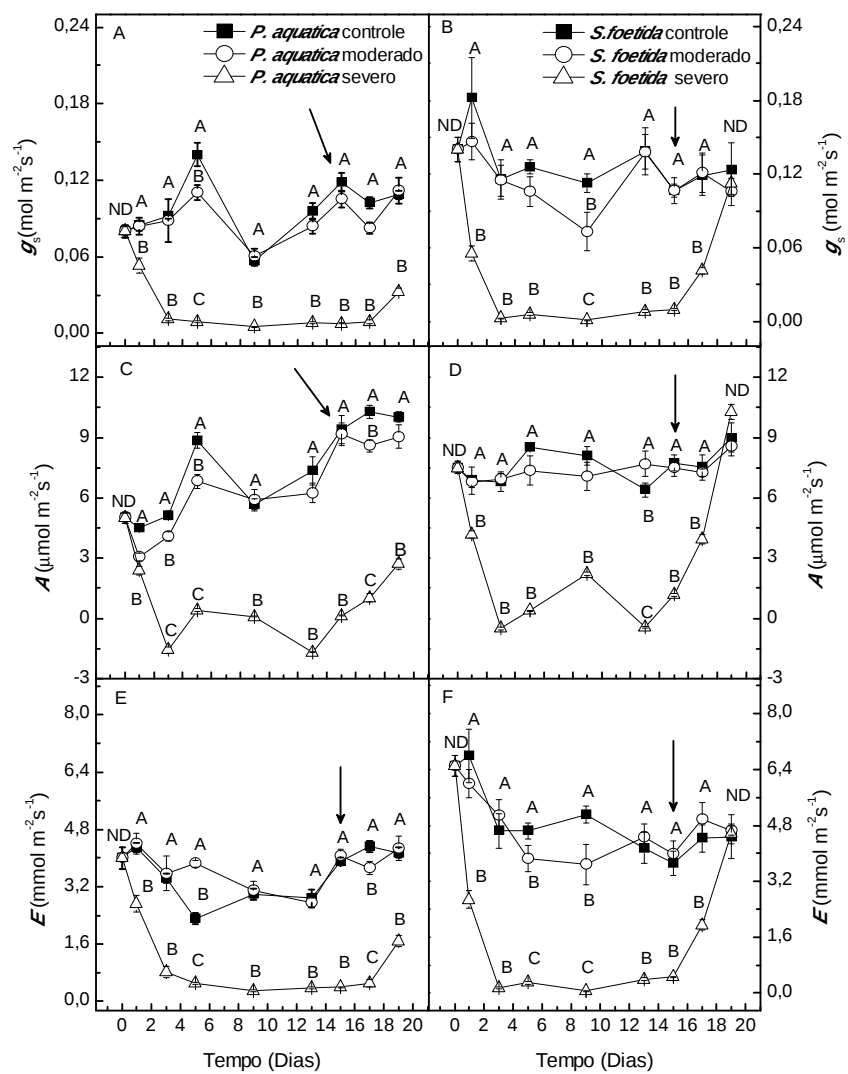


Fig. 05

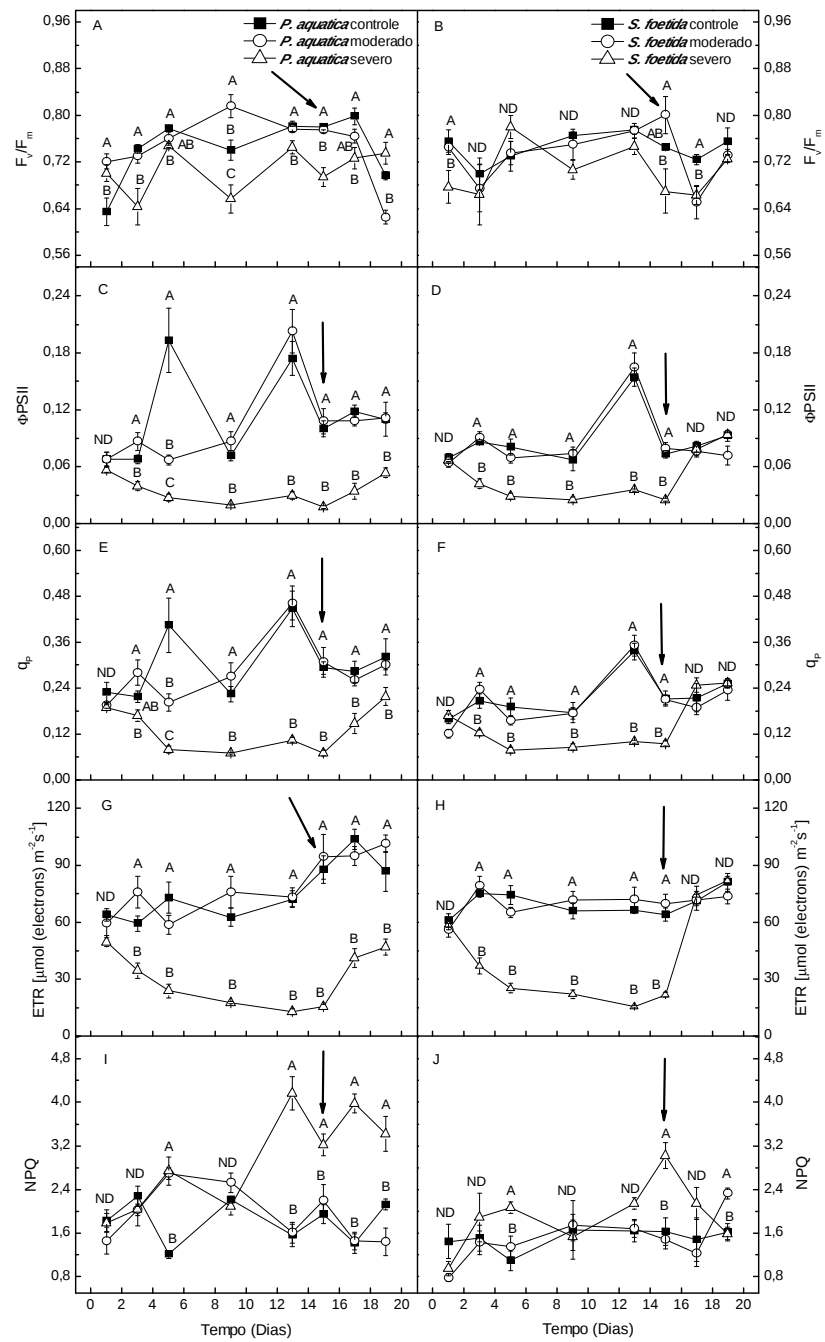


Fig. 06

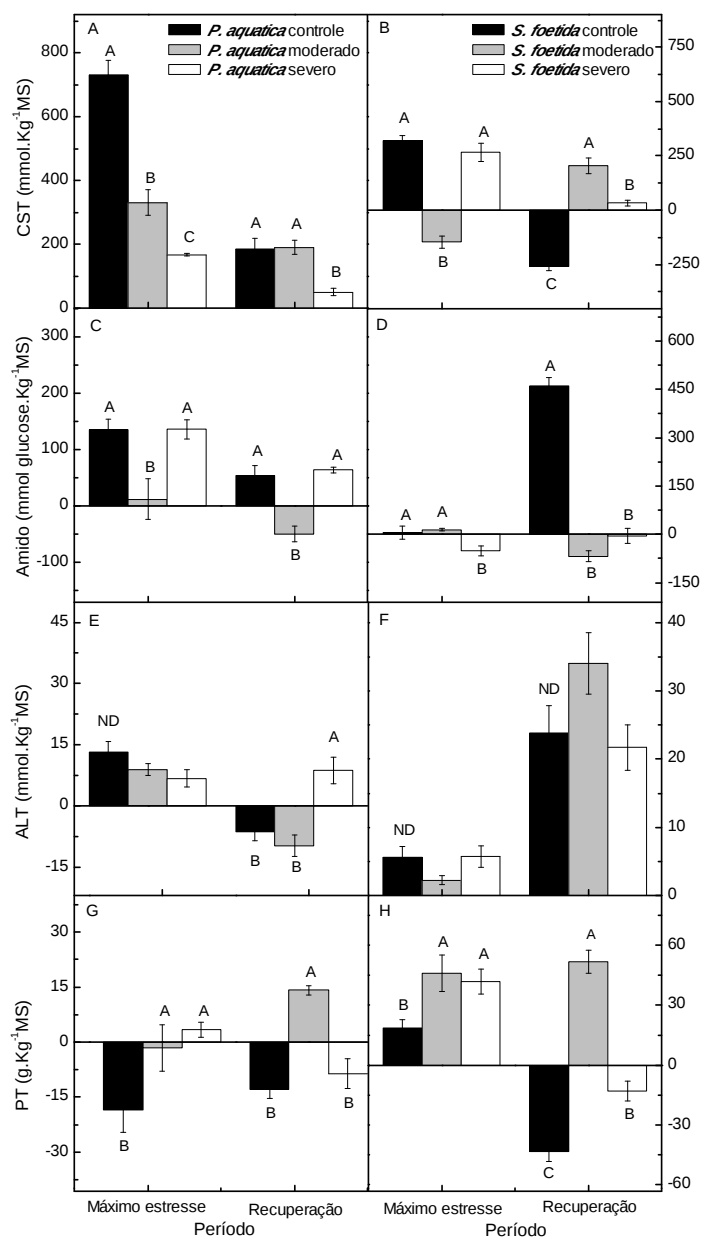


Fig. 07

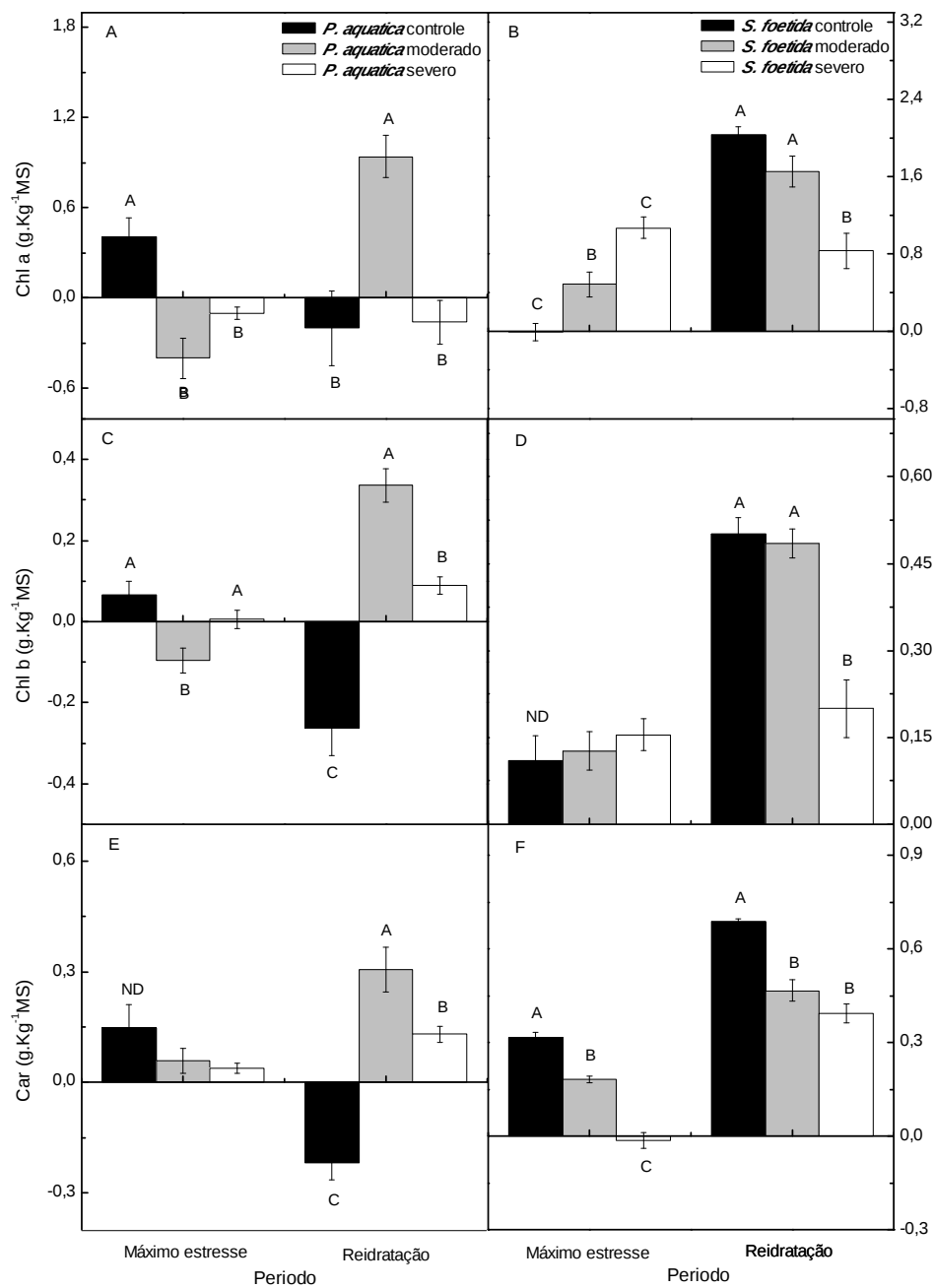


Fig. 08

RESUMO

A busca de fontes alternativas de energia vem ganhando força no cenário mundial, quanto ao biodiesel, a maior dificuldade é a obtenção de matéria prima. O presente trabalho avaliou as respostas ecofisiológicas de duas espécies oleaginosas potenciais, *Pachira aquatica* e *Sterculia foetida*, sob condições sazonais de campo e sob restrição hídrica em casa de vegetação. Em campo (Caetés-PE), foram observados parâmetros de potencial hídrico foliar, trocas gasosas e bioquímica foliar, tanto na estação chuvosa (maio/11) como seca (nov/11). O potencial hídrico foliar na estação seca pela manhã para a *P. aquatica* foi maior do que a tarde, indicando recuperação noturna. Quanto às trocas gasosas, a condutância estomática da *S. foetida* sofreu redução na estação seca juntamente com a assimilação. Para a *P. aquatica*, a assimilação diferiu apenas entre horários, sendo mais elevada pela manhã. As maiores taxas de transpiração foram observadas na estação seca para ambas as espécies; já a eficiência do uso da água foi maior na estação chuvosa. Quanto à bioquímica foliar da *P. aquatica*, o conteúdo de amido e CST foram mais elevados na estação seca e ALT na estação chuvosa; as plantas da *S. foetida* apresentaram comportamento contrário. Houve um aumento no teor de Chl *b* na estação seca para a *P. aquatica*; e Chl *a* e *b* para *S. foetida*. Em casa de vegetação, foi feita avaliação da germinação em areia lavada, biometria, medidas de potencial hídrico foliar, trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e balanço da bioquímica foliar em plantas submetidas a três tratamentos hídricos: controle (hidratação ideal – capacidade de campo), estresse moderado (50% da capacidade de campo) e estresse severo (suspensão da irrigação). O máximo estresse ocorreu após 15 dias da suspensão, sendo o período de recuperação os quatro dias subsequentes. Ambas as espécies não possuem dormência. Ocorreu redução do número de folhas para as duas espécies no máximo estresse para o tratamento severo. O potencial hídrico foliar nesse mesmo período e tratamento das espécies foi duas vezes menor do que o controle, havendo uma retomada desse potencial na recuperação. Com o início do estresse, houve uma redução de todos os parâmetros avaliados nas trocas gasosas e fluorescência do tratamento severo de ambas as espécies, chegando próximos de zero. Após reidratação, as plantas da *P. aquatica* desse tratamento apresentaram uma recuperação parcial quando comparadas às plantas controle; já as plantas da *S. foetida* tiveram recuperação total. A exceção foi a relação F_v/F_m , que atingiu valores semelhantes ao controle após reidratação. Quanto à bioquímica foliar, de um modo geral, no período do máximo

estresse foram observadas maiores quantidades de amido e CST para *P. aquatica* e *S. foetida*, respectivamente, do tratamento severo. Assim, em campo, foi observado que as plantas da *P. aquatica* apresentaram maiores taxas fotossintéticas em relação a *S. foetida* na estação seca. Em casa de vegetação, após um período de seca severa e subsequente reidratação, as plantas de *S. foetida* apresentaram recuperação total de suas taxas, o que não ocorreu com a *P. aquatica*, onde a recuperação mais lenta observada para essa espécie pode ser uma vantagem, no caso de ocorrer um estresse recorrente.

Palavras chave: *P. aquatica*, *S. foetida*, déficit hídrico, trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*

ABSTRACT

The search for alternative energy sources is gaining strength on the world stage, such as biodiesel, where the main difficulty for the implementation of a project is to obtain raw materials. This study evaluated the ecophysiological responses of two species with oil potential, *Pachira aquatica* and *Sterculia foetida*, under field conditions and under water restriction in a greenhouse. In field (Caetés-PE), were observed parameters such leaf water potential, gas exchange in the morning and afternoon, and leaf biochemistry. The leaves were collected at afternoon, both in the rainy (May/11) and dry season (Nov/11). The pre-dawn leaf water potential in the dry season of *P. aquatica* was higher in the afternoon, indicating a night recovery. For gas exchange, stomatal conductance of *S. foetida* decreased in the dry season, as well as the CO₂ assimilation. For *P. aquatica*, assimilation differed only between day times, being higher in the morning. The higher transpiration rates were observed in the dry season for both species, whereas the efficiency of water use was higher in the rainy season. Regarding the leaf biochemistry of *P. aquatica*, starch content and SS were higher in the dry season and TFA in the rainy season; plants of *S. foetida* exhibited contrary behavior. There was an increase in the content of Chl *b* in the dry season for *P. aquatica* and Chl *a*, *b* and total for *S. foetida*. In greenhouse, we evaluated the germination in washed sand, biometrics, measurements of leaf water potential, gas exchange, chlorophyll fluorescence and balance of leaf biochemistry in plants subjected to three water treatments: control (ideal hydration - field capacity), moderate stress (50% of field capacity) and severe stress (suspension of irrigation). The maximum stress occurred after 15 days of suspension, and the recovery period four days after. Both species have no dormancy. There was a reduction in the number of leaves for both species in maximum stress for severe treatment. The leaf water potential during the same period and treatment of both species were two times less than the control, with a resumption of potential in recovery. With the onset of stress, there was a reduction in all parameters evaluated in gas exchange and fluorescence in the severe treatment of both species, reaching near zero. After rehydration, plants of *P. aquatica* showed a partial recovery when compared to control plants, whereas plants of *S. foetida* showed full recovery. The exception was the Fv/Fm ratio, which reached values similar to control after rehydration. Regarding the leaf biochemistry, in the period of maximum stress were observed higher amounts of starch and SS to *P. aquatica* and *S. foetida*, respectively, in severe treatment. Thus, in the field

it was observed that plants of *P. aquatica* showed higher photosynthetic rates relative to *S. foetida*, in dry season. In the greenhouse, after a period of severe drought and subsequent rehydration, plants of *S. foetida* showed full recovery of their rates, this did not occur with *P. aquatica*, where the slower recovery observed for this specie can be an advantage in case of a stress applicant.

Keywords: *P. aquatica*, *S. foetida*, oil, water deficit, gas exchange, chlorophyll fluorescence *a*

ANEXOS



Preparation

Use of wordprocessing software

It is important that the file be saved in the native format of the wordprocessor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the wordprocessor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. Do not embed "graphically designed" equations or tables, but prepare these using the wordprocessor's facility. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Do not import the figures into the text file but, instead, indicate their approximate locations directly in the electronic text and on the manuscript. See also the section on Electronic illustrations.

To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the "spell-check" and "grammar-check" functions of your wordprocessor. All submitted manuscripts must be double-spaced. Manuscripts must also have all pages numbered consecutively and line numbering activated.

LaTeX

If the LaTeX file is suitable, proofs will be produced without rekeying the text. The article should preferably be written using Elsevier's document class 'elsarticle', or alternatively any of the other recognized classes and formats supported in Elsevier's electronic submissions system, for further information see <http://www.elsevier.com/wps/find/authorsview.authors/latex-ees-supported>.

The Elsevier 'elsarticle' LaTeX style file package (including detailed instructions for LaTeX preparation) can be obtained from the Quickguide: <http://www.elsevier.com/latex>. It consists of the file: elsarticle.cls, complete user documentation for the class file, bibliographic style files in various styles, and template files for a quick start.

Article structure

Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

Material and methods

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

Theory/calculation

A Theory section should extend, not repeat, the background to the article already dealt with in the Introduction and lay the foundation for further work. In contrast, a Calculation section represents a practical development from a theoretical basis.

Results

Results should be clear and concise.

Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

Essential title page information

- **Title.** Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.
- **Author names and affiliations.** Where the family name may be ambiguous (e.g., a double name), please indicate this clearly. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.
- **Corresponding author.** Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. **Ensure that phone numbers (with country and area code) are provided in addition to the e-mail address and the complete postal address. Contact details must be kept up to date by the corresponding author.**
- **Present/permanent address.** If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

Abstract

A concise and factual abstract is required of no more than 250 words. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

Graphical abstract

A Graphical abstract is optional and should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership online. Authors must provide images that clearly represent the work described in the article. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files.

See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples.

Authors can make use of Elsevier's Illustration and Enhancement service to ensure the best presentation of their images also in accordance with all technical requirements: [Illustration Service](#).

Highlights

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). See <http://www.elsevier.com/highlights> for examples.

Keywords

Immediately after the abstract, provide a maximum of 6 keywords, using American spelling and avoiding general and plural terms and multiple concepts (avoid, for example, 'and', 'of'). Be sparing with

abbreviations: only abbreviations firmly established in the field may be eligible. These keywords will be used for indexing purposes.

Abbreviations

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

Acknowledgements

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

Nomenclature and units

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other quantities are mentioned, give their equivalent in SI. You are urged to consult IUPAC: Nomenclature of Organic Chemistry: <http://www.iupac.org/> for further information.

Math formulae

Present simple formulae in the line of normal text where possible and use the solidus (/) instead of a horizontal line for small fractional terms, e.g., X/Y. In principle, variables are to be presented in italics. Powers of e are often more conveniently denoted by exp. Number consecutively any equations that have to be displayed separately from the text (if referred to explicitly in the text).

Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article, using superscript Arabic numbers. Many wordprocessors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

Table footnotes

Indicate each footnote in a table with a superscript lowercase letter.

Artwork

Electronic artwork

General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Size the illustrations close to the desired dimensions of the printed version.
- Submit each illustration as a separate file.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website:

<http://www.elsevier.com/artworkinstructions>

You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.

Formats

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format.

Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):

EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

Please do not:

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color artwork

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF, EPS or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color on the Web (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version.

For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from

Elsevier after receipt of your accepted article. Please indicate your preference for color: in print or on the Web only. For further information on the preparation of electronic artwork, please

see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

Please note: Because of technical complications which can arise by converting color figures to 'gray scale' (for the printed version should you not opt for color in print) please submit in addition usable black and white versions of all the color illustrations.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (**not** on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

Tables

Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article.

All tables should be submitted as a separate file.

References

Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

Reference management software

This journal has standard templates available in key reference management packages EndNote

(<http://www.endnote.com/support/enstyles.asp>) and Reference Manager (<http://refman.com/support/rmstyles.asp>). Using plug-ins to wordprocessing packages, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article and the list of references and citations to these will be formatted according to the journal style which is described below.

Reference style

Text: Indicate references by number(s) in square brackets in line with the text. The actual authors can be referred to, but the reference number(s) must always be given.

List: Number the references (numbers in square brackets) in the list in the order in which they appear in the text.

Examples:

Reference to a journal publication:

[1] Stewart L, Lambert DM. Spatial heterogeneity of factors determining ethanol production site selection in the U.S., 2000-2007. *Biomass Bioenerg* 2011;35(3): 1273-85.

Reference to a book:

[2] Strunk Jr W, White EB. *The elements of style*. 4th ed. New York: Longman; 2000.

Reference to a chapter in an edited book:

[3] Mettam GR, Adams LB. How to prepare an electronic version of your article. In: Jones BS, Smith RZ, editors. *Introduction to the electronic age*, New York: E-Publishing Inc; 2009, p. 281–304.

Note shortened form for last page number. e.g., 51–9, and that for more than 6 authors the first 6 should be listed followed by 'et al.' For further details you are referred to 'Uniform Requirements for Manuscripts submitted to Biomedical Journals' (*J Am Med Assoc* 1997;277:927–34) (see also http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html).



After Acceptance

Use of the Digital Object Identifier

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. Example of a correctly given DOI (in URL format; here an article in the journal *Physics Letters B*):

<http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.09.059>

When you use a DOI to create links to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

Proofs

One set of page proofs (as PDF files) will be sent by e-mail to the corresponding author (if we do not have an e-mail address then paper proofs will be sent by post) or, a link will be provided in the e-mail so that authors can download the files themselves. Elsevier now provides authors with PDF proofs which can be annotated; for this you will need to download Adobe Reader version 7 (or higher) available free from <http://get.adobe.com/reader>. Instructions on how to annotate PDF files will accompany the proofs (also given online). The exact system requirements are given at the Adobe site: <http://www.adobe.com/products/reader/tech-specs.html>.

If you do not wish to use the PDF annotations function, you may list the corrections (including replies to the Query Form) and return them to Elsevier in an e-mail. Please list your corrections quoting line number. If, for any reason, this is not possible, then mark the corrections and any other comments (including replies to the Query Form) on a printout of your proof and return by fax, or scan the pages and e-mail, or by post. Please use this proof only for checking the typesetting, editing, completeness and correctness of the text, tables and figures. Significant changes to the article as accepted for publication will only be considered at this stage with permission from the Editor. We will do everything possible to get your article published quickly and accurately – please let us have all your corrections within 48 hours. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication: please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility. Note that Elsevier may proceed with the publication of your article if no response is received.

Offprints

The corresponding author, at no cost, will be provided with a PDF file of the article via e-mail (the PDF file is a watermarked version of the published article and includes a cover sheet with the journal cover image and a disclaimer outlining the terms and conditions of use). For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's WebShop (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints>). Authors requiring printed copies of multiple articles may use Elsevier WebShop's 'Create Your Own Book' service to collate multiple articles within a single cover (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints/myarticleservices/booklets>).



Author Inquiries

For inquiries relating to the submission of articles (including electronic submission) please visit this journal's homepage. For detailed instructions on the preparation of electronic artwork, please visit <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Contact details for questions arising after acceptance of an article, especially those relating to proofs, will be provided by the publisher. You can track accepted articles at <http://www.elsevier.com/trackarticle>. You can also check our Author FAQs at <http://www.elsevier.com/authorFAQ> and/or contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.