



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - PRODUÇÃO
VEGETAL E PROTEÇÃO DE PLANTAS



FENOLOGIA E CAPACIDADE FOTOSSINTÉTICA DO PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.) EM DIFERENTES ÉPOCAS DO ANO NO ESTADO DE ALAGOAS

CLAUDIANA MOURA DOS SANTOS

RIO LARGO – ESTADO DE ALAGOAS – BRASIL

ABRIL DE 2008

CLAUDIANA MOURA DOS SANTOS

FENOLOGIA E CAPACIDADE FOTOSSINTÉTICA DO PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.) EM DIFERENTES ÉPOCAS DO ANO NO ESTADO DE ALAGOAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, do Centro de Ciências agrárias, da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal e Proteção de Plantas.

Orientação: Prof. Dr. Laurício Endres

RIO LARGO – ESTADO DE ALAGOAS – BRASIL

ABRIL DE 2008

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

S237f Santos, Claudiana Moura dos.
Fenologia e capacidade fotossintética do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) em diferentes épocas do ano no estado de Alagoas / Claudiana Moura dos Santos. – Rio Largo, 2008.
xi, 67 f. : grafs. e tabs.

Orientador: Laurício Endres.
Dissertação (mestrado em Agronomia : Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2008.

Inclui bibliografia.

1. Pinhão-mansão. 2. Fenologia. 3. Fotossíntese. 4. Fluorescência. I. Título.

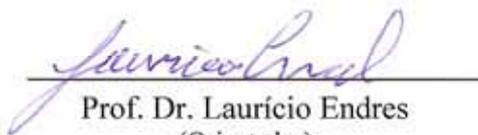
CDU: 633

TERMO DE APROVAÇÃO

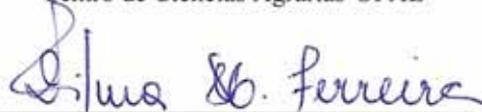
FENOLOGIA E CAPACIDADE FOTOSSINTÉTICA DO PINHÃO-MANSO (*Jatropha curcas* L.) EM DIFERENTES ÉPOCAS DO ANO NO ESTADO DE ALAGOAS

Claudiana Moura dos Santos
(Matricula: 2006m21d005s-5)

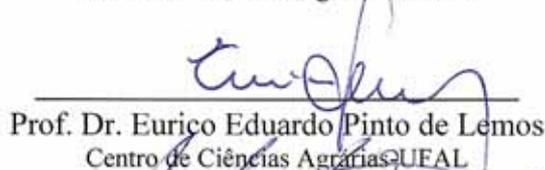
Dissertação apresentada e avaliada pela banca examinadora em 29/04/2008, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal e Proteção de Plantas do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Unidade Acadêmica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas.



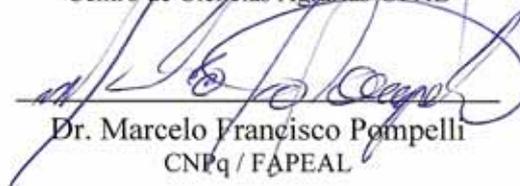
Prof. Dr. Laurício Endres
(Orientador)
Centro de Ciências Agrárias-UFAL



Prof.ª Dr.ª Vilma Marques Ferreira
Centro de Ciências Agrárias-UFAL



Prof. Dr. Eurico Eduardo Pinto de Lemos
Centro de Ciências Agrárias-UFAL



Dr. Marcelo Francisco Pompelli
CNPq / FAPEAL

A

*Quitéria Carlos e
Cícero Moura*

Meus pais

*Pela dedicação ao longo de minha formação, e
pelo contínuo estímulo à realização dos meus sonhos*

Dedico

Agradecimentos

À Universidade Federal de Alagoas, através da Coordenação do Programa de Pós-graduação em Agronomia-produção vegetal e Proteção de Plantas, pela oportunidade de realizar meus estudos de pós-graduação.

Ao Prof.Dr. Laurício Endres, orientador desta dissertação, pelo apoio constante, amizade, paciência e exemplos éticos desde os tempos da iniciação científica até hoje, a minha eterna gratidão.

Ao Prof.Dr. Professor José Leonaldo de Souza, as professoras Dra. Vilma Marques Ferreira e Dra. Iracilda Maria de Moura Lima pela amizade e ensinamento durante o mestrado.

Aos membros da banca: Eurico Eduardo Pinto de Lemos, Marcelo Francisco Pompelli e Vilma Marques Ferreira pela disponibilidade para avaliação deste trabalho e pelas valiosas sugestões.

Aos colegas da Pós-graduação em especial Joyce Silva Lima, Eduardo Rebelo, Adriane Santos Pinto e Alda Cristina pela amizade e companheirismo.

Ao secretário do curso de Pós-graduação em agronomia Geraldo de Lima, pelos conselhos, paciência e amizade.

Aos colegas do Laboratório de fisiologia vegetal, CECA/UFAL, pela amizade, convivência e em especial a Humberto Cristiano de Lins Wanderley pela ajuda em todo trabalho de campo.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela concessão de bolsa de mestrado e financiamento do projeto.

Aos meus pais Quitéria Carlos e Cícero Moura, minhas irmãs Cláudia e Claudenice, e ao meu sobrinho Matheus pelo apoio incondicional, pelo estímulo, amor e carinho.

A todos meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS E TABELAS	viii
RESUMO GERAL	x
GENERAL ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 A cultura do pinhão-manso	4
2.2 Fenologia	6
2.3 Fotossíntese e trocas gasosas	7
2.4 Influências dos Fatores ambientais na fotossíntese e trocas gasosas	8
2.5 Fluorescência da Clorofila <i>a</i>	10
3 REFERÊNCIAS	13

CAPÍTULO I

FENOLÓGIA DE <i>Jatropha curcas</i> L. NA ZONA DA MATA DO ESTADO DE ALAGOAS, BRASIL	18
RESUMO	19
ABSTRACT	20
1 INTRODUÇÃO	21
2 MATERIAL E MÉTODOS	24
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
3.1 Clima	26
3.2 Crescimento da planta	27
3.3 Fenologia	28
3.4 Crescimento do fruto	33
4 CONCLUSÃO	35
5 REFERÊNCIAS	36

CAPÍTULO II

VARIAÇÃO SAZONAL DA FOTOSSÍNTESE, CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA E EFICIÊNCIA QUÂNTICA DO FOTOSISTEMA II EM <i>Jatropha curcas</i> L. CULTIVADO SOB CONDIÇÕES DE CAMPO, EM REGIÃO SEMI-ÚMIDO E SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE, BRASIL	38
RESUMO	39
ABSTRACT	40
1 INTRODUÇÃO	41
2 MATERIAL E MÉTODOS	44
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
3.1 Caracterização climatológica	47
3.2 Variação diurna das trocas gasosas	50
3.3 Medidas do teor de clorofila	55
3.4 Fluorescência da clorofila <i>a</i>	56
4 CONCLUSÃO	63
5 REFERÊNCIAS	64

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

CAPÍTULO 1

	Páginas
Figura 1: Pluviosidade média do período experimental (A) e temperatura média (–▲–), máxima (–+–), mínima (–X–), e Umidade relativa (–◆–), do período de Janeiro/2006 a Dezembro /2007 (B) para a região de Rio Largo-AL.....	26
Figura 2: Altura (cm) e (B) Diâmetro do coleto (mm) de <i>Jatropha curcas</i> dos seis aos 21 meses de idade, no município de Rio Largo, AL, situado nas coordenadas geográficas 09 ⁰ 27' 57,3" S e 35 ⁰ 49' 57,4".....	28
Figura 3: Fenograma da espécie <i>Jatropha curcas</i> estudada no Município de Rio Largo-AL, situado nas coordenadas geográficas 09 ⁰ 27' 57,3" S e 35 ⁰ 49' 57,4" W.....	30
Figura 4: Número de inflorescência (A), Número de botões florais (B), Número de flores abertos e Número de frutos por indivíduos de <i>Jatropha curcas</i> produzidos no Município de Rio Largo-AL, durante o período de abril a dezembro de 2007.....	33
Figura 5: Seqüências de médias semanais de Diâmetro (mm) dos frutos de pinhão-manso (período após a antese) até seu amadurecimento.....	34

CAPÍTULO II

Figura 1: Série de médias históricas de precipitação pluviométrica para região semi-úmida (município de Rio largo) série de 29 anos (dados fornecidos pela Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas) e região semi-árida (município de Igaci) série de 14 anos (Dados retirados da estação Arapiraca DNOS, limitando-se ao norte do município de Igaci, fonte Agritempo, 2006).....	45
Figura 2: Distribuição de precipitação e temperatura média durante o período de estudo, Janeiro/2006 a Dezembro /2007 para a região semi-úmida, Rio Largo-AL (Fonte: Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas) e para região semi-árida, Igaci-AL (Fonte: CPTEC, 2008).....	48

Figura 3: Evaporação real (A). Armazenamento de água no solo e capacidade de campo (B). Região semi-úmida, município de Rio Largo, (09 ^o 27' S e 35 ^o 49' W, altitude média de 127 m); região semi-árida, município de Igaci (09 ^o 33' S e 36 ^o 38' W, altitude 240 m). Estado de Alagoas, no período de janeiro de 2006 a dezembro de 2007 (Fonte: CPTEC, 2008).....	49
Figura 4: Variação diurna do déficit de pressão de vapor (A, B), condutância estomática (C, D), transpiração (E, F) e fotossíntese (G, H) de pinhão-manso em condições de campo, em diferentes épocas do ano, conduzidos em região semi-úmida e semi-árida do estado de Alagoas. Cada ponto representa a média de 10 plantas.....	53
Figura 5: Relação entre fotossíntese (A) em função da eficiência quântica efetiva do FSII ($\Phi_{PS II}$).....	58
Figura 6: Variação diurna da fluorescência inicial (A,B), fluorescência máxima (C,D) e eficiência quântica máxima do FSII (E,F) de pinhão-manso em condições de campo, em diferentes épocas do ano, conduzidos em região semi-úmida e semi-árida do estado de Alagoas. Cada ponto representa a média de 10 plantas.....	61
Tabela 1: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis de trocas gasosas (correlações representando todos os dados), em plantas jovens de pinhão-manso (<i>Jatropha Curcas.L.</i>) em condições de campo.....	54
Tabela 2: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis de trocas gasosas (correlações baseadas em dados com $g_s \geq 0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), em plantas jovens de pinhão-manso (<i>Jatropha Curcas.L.</i>) em condições de campo.....	55
Tabela 3: Leituras SPAD-502 e eficiência quântica efetiva do FSII ($\Phi_{PS II}$) de pinhão-manso (<i>Jatropha Curcas.L.</i>) em condições de campo em região semi-úmida e semi-árida do estado de Alagoas.....	57
Tabela 4: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis que indicam a eficiência fotossintética em planta de pinhão-manso (<i>Jatropha Curcas.L.</i>) em condições de campo.....	62

RESUMO GERAL

SANTOS, C. M. Universidade Federal de Alagoas, abril de 2008. **Fenologia e capacidade fotossintética do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) em diferentes épocas do ano no estado de Alagoas.** Orientador: Prof. Dr. Laurício Endres.

O pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.), pertencente à família Euphorbiaceae, é uma planta nativa das Américas. Encontra-se em processo de domesticação, sendo considerado uma opção agrícola para Região Nordeste, por ser uma espécie xerófita que se adapta a áreas de solos pouco férteis e de clima desfavorável à maioria das culturas alimentares tradicionais. Parte do interesse pelo cultivo desta espécie está relacionada ao uso da semente como matéria-prima na produção de óleo para a obtenção do biodiesel. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar o comportamento fenológico do pinhão-mansão em região semi-úmida (Zona da Mata) e comparar as trocas gasosas foliares e eficiência fotoquímica dessa espécie em duas regiões com climas distintos, Agreste (clima tropical semi-árido) e Zona da Mata (clima tropical semi-úmido) do estado de Alagoas. O Pinhão-mansão apresentou crescimento vegetativo com padrão sazonal, verificou-se crescimento lento na estação seca, e aceleração do crescimento na estação chuvosa. O pico de floração e frutificação ocorreu durante a estação chuvosa. O ciclo de desenvolvimento reprodutivo durou um período médio de 120 dias do surgimento da inflorescência até o amadurecimento pleno do fruto. As plantas de pinhão-mansão apresentaram menores quedas na taxa de fotossíntese, condutância estomática e transpiração. O maior déficit de pressão de vapor do ar (época seca) foi o principal fator responsável pelo fechamento estomático no pinhão-mansão, o que contribuiu para a redução nos valores da taxa fotossintética líquida. Na época seca, por volta do meio-dia ocorre a fotoinibição dinâmica com uma rápida recuperação durante a tarde em folhas de pinhão-mansão. No entanto, na região semi-árida, com déficit hídrico severo pode haver fotoinibição crônica. Estes resultados refletem o desempenho dessa espécie, o que sugere maior capacidade de tolerar as condições fotoinibitórias ocasionadas pelo estresses abióticos.

GENERAL ABSTRACT

SANTOS, C.M. Federal University of Alagoas, April 2008. **Phenology and photosynthetic capacity of the physic nut (*Jatropha curcas* L.) in different periods of the year in the state of Alagoas.** Oriented by: Prof. and Dr. Laurício Endres.

The physic nut (*Jatropha curcas* L.), is a native plant of the Americas which belongs to the Euphorbiaceae family. There is a process of domestication of the species, being considered an agricultural option for the Northeast region, for being a xerophytic species that adapted to regions of less fertile soils and of unfavorable climate conditions than most of the traditional alimentary cultures. Part of the interest for the cultivation of this species is related to the use of the seeds for oil production for the obtainment of the bio-diesel. This work was developed with the objective of charactering the phenology behavior of the physic nut in semi-humid region (Zone of Mata) and to compare the leaf gaseous exchanges and photochemistry efficiency of the physic nut in two regions with distinct climates, Agreste (semi-arid tropical climate) and Zone of Mata (semi-humid tropical climate) of the state of Alagoas. The physic nut presented vegetative growth with standard sazonal, slow growth was verified in the dry season, and acceleration of the growth in the rainy season. The budding and fructification peak occurred during the rainy season. The development cycle of the fruit lasted an average period of 120 days from the sprouting of the inflorescence until the complete matureness of the fruit on the plant. The physic nut plants presented less decreases in the photosynthesis taxes, stomata conductance and transpiration in the dry seasons. The highest vapor pressure deficit (in dry season) was the main responsible factor for the closing the stomata in the physic nut, which contributed to the reduction in the tax values of the liquid photosynthesis. During the dry season, around noontime, a dynamic photoinhibition occurs with a fast recovery during the afternoon in physic nut leaves. However, in the semi-arid region, with severe water deficit there can be chronic photoinhibition.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A partir da grande crise do petróleo na década de 70, iniciou-se uma conscientização da sociedade mundial a respeito da poluição causada pelos combustíveis fósseis. Pressões globais somadas às desvantagens apresentadas pelos combustíveis fósseis foram subsídios para a elaboração de metas para redução na emissão de gases poluentes, aumentando desde então o interesse por fontes alternativas de energia, principalmente aquelas que contribuem para reduzir a emissão de gases de efeito estufa (Neto, 2007).

O uso de biocombustíveis, como lenha, carvão vegetal, bio-etanol, óleo vegetais apresentam-se hoje como fonte de energia alternativa (Urquiaga et al., 2005). Entre os biocombustíveis, o biodiesel é definido como combustível de motores a combustão interna, com ignição por compressão, renovável e biodegradável, derivado de óleos vegetais ou de gorduras animais, que pode substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil (Barros, 2006).

Atualmente, vem crescendo a produção de biodiesel no mundo todo, com destaque para a União Européia, que lidera a produção mundial, com uma produção de mais de 4,5 bilhões de litros em 2006, seguida pelos Estados Unidos e pelo Brasil (Araújo et al., 2007). No Brasil, a principal matéria-prima para produção de biodiesel se encontra entre plantas oleaginosas como a mamona, girassol, algodão, dendê, amendoim, canola, babaçu entre outras (Bilich & Silva, 2006).

A inserção do biodiesel na matriz energética brasileira dá-se através da lei federal 11.097/2005, que prevê a autorização da mistura biodiesel-diesel em escala comercial da proporção de 2% de biodiesel e 98% óleo diesel, passando a ser obrigatória esta mistura em 2008 (Barros, 2006). Este índice deve ser aumentado com o passar dos anos. Com isso, são necessários milhões de hectares para o plantio de culturas oleaginosas e o grande desafio é a utilização de terras marginais não apropriadas para o plantio de gêneros alimentícios (Carmélio, 2006). Além do mais, a pesquisa na área agrícola deve buscar a domesticação de novas espécies e procurar aumentar a produção de óleo por hectare, a partir de técnicas de melhoramento genético (Araújo, 2007).

Com a iniciativa do Programa Brasileiro de Biodiesel e o surgimento de grande demanda por óleos vegetais, o pinhão-manso (*Jatropha curcas*) tem sido divulgado como uma alternativa para fornecimento de matéria-prima, baseando-se na expectativa de que a planta possua alta produtividade de óleo, tenha baixo custo de produção, por ser perene, e seja extremamente resistente ao estresse hídrico (Saturnino et al., 2005).

Atualmente, essa espécie não está sendo explorada comercialmente no Brasil, pois se encontra em processo de domesticação, mas trata-se de uma planta oleaginosa potencialmente viável para a obtenção do biodiesel (Carnielli, 2003; EMBRAPA, 2006).

Em diversos países da África (Mali, Sudan, Cabo Verde, Sul da África, Zâmbia, Zimbábue, Tanzânia), Ásia (Índia) e América Latina (Nicarágua) já existem programas oficiais ou iniciativas particulares, voltados à agricultura familiar, incentivando o plantio de pinhão-manso em regiões áridas e semi-áridas, incentivando a ampliação do desenvolvimento rural nessas regiões e permitindo que a população participe dos benefícios econômicos dessa cultura (Henning, 1999; Augustus et al., 2002; Forson et al., 2004). Assim, o rendimento familiar é obtido com a venda de sementes para produção de óleo usado como biocombustível, na fabricação de sabão e tinta, além do uso de várias partes da planta na medicina popular sendo vendida para indústrias farmacêuticas e cosméticas (Henning, 1999).

A espécie *Jatropha curcas* L. (pinhão-manso), pertencente à família Euforbiaceae, é um arbusto grande, de crescimento rápido, originária da América do Sul e altamente promissora como fonte energética renovável sob o ponto de vista econômico e social, surge de maneira espontânea em regiões de solos pouco férteis e de baixas precipitações, além de ser pouco atacado por pragas e doenças (Openshaw, 2000).

No Brasil, o pinhão-manso cresce espontaneamente no Nordeste brasileiro, principalmente nas regiões mais secas do semi-árido, sendo considerado uma opção agrícola para essa região, por ser uma espécie nativa com forte resistência à seca (Arruda et al., 2004). Segundo BIODIESELBR (2008), o pinhão-manso pode ser considerado uma das mais promissoras oleaginosas do Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil para substituir o diesel de petróleo.

Em se tratado de uma espécie agrícola, deve-se lembrar que o comportamento vegetativo das plantas cultivadas é altamente dependente de fatores climáticos, como temperatura, pluviosidade, umidade do solo e radiação solar (Larche, 2004). A interação existente entre a fotossíntese, crescimento e desenvolvimento das plantas e as variações climáticas sazonais numa determinada região tornam a produtividade das culturas altamente dependentes dessas variações (Lemos-Filho, 2000). Entre os eventos fisiológicos mais

afetados pelas condições ambientais está a fotossíntese (Deng et al., 2003), a qual tem recebido especial atenção nos estudos que visam à seleção de espécies e/ou variedades adaptadas ao ambientes adversos, por ser a principal fonte de carbono orgânico e de energia para o crescimento e produção de biomassa das plantas.

Diversos estudos relacionados com o comportamento fisiológicos de plantas diferentes foram realizados em espécies oleaginosas a exemplo da mamona, do amendoim, buscando compreender, sobretudo, a capacidade fotossintética, condutância estomática e potencial hídrico em condições ambientais controladas e sob condições naturais (Nogueira & Santos, 2000; Beltrão et al., 2003; Erismann et al., 2006). Por outro lado, pouco se sabe sobre a fisiologia do pinhão-mansão. Portanto, pesquisas para se elucidar como esses parâmetros fisiológicos afetam o crescimento e desenvolvimentos dessa espécie ao longo do ano podem fornecer valiosas informações sobre comportamento da espécie em condições de campo.

Além disso, deve-se ressaltar a escassez de estudos relacionados aos mecanismos fenológicos dessa cultura. Estudos sobre o padrão fenológico de comunidades ou populações fornecem informações sobre ritmos de crescimento e reprodução, interações com o clima, produção de frutos e sementes (Fisch et al., 2000; Folgarait et al., 2007). Nessa sucessão de eventos, a planta passa por estádios fenológicos que determinam fases importantes na formação da produção das plantas e sendo bem caracterizados, podem auxiliar em pesquisas relativas à estimativa de produção, previsão de época de maturação, controle fitossanitário e programa de melhoramento de uma cultura (Bergamaschi, 2008).

Não foram encontrados na literatura relatos sobre pesquisas científicas de longa duração relacionadas ao pinhão-mansão, existindo apenas estimativas preliminares de produção e de produtividade obtidas pela extrapolação de dados com plantas isoladas; e a maior parte desses trabalhos são estudos básicos realizados em laboratório ou casa-de-vegetação sobre temas específicos tais como: botânica, fisiologia, toxicidade de suas partes, produção de mudas, tecnologia de sementes e etc (APTA, 2007).

Diante do exposto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de caracterizar o comportamento fenológico do pinhão-mansão (*Jatropha curcas*) localizado no município de Rio Largo, Estado de Alagoas, determinar e comparar a capacidade fotossintética da espécie frente às condições climáticas preponderantes de duas regiões distintas, agreste (Município de Igaci) e zona da mata (Município de Rio Largo).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do pinhão-manso

O gênero *Jatropha* possui 175 espécies distribuídas pela América Tropical, Ásia e África (Henning, 1999; Augustus et al., 2002). Acredita-se que a espécie *Jatropha curcas* L. proceda da América do Sul, possivelmente originária do Brasil, tendo sido introduzida por navegadores portugueses, em fins do século XVIII, nas ilhas de Cabo Verde e em Guiné, de onde mais tarde foi disseminada pelo continente africano (Arruda et al., 2004). Embora seja uma planta conhecida e cultivada no continente americano desde a época pré-colombiana, e esteja disseminada em todas as regiões tropicais e até em algumas temperadas, o pinhão-manso ainda encontra-se em processo de domesticação (Sartunino et al., 2005).

No Brasil, o pinhão-manso adaptou-se as mais variáveis condições edafoclimáticas, sua distribuição geográfica ocorre desde o estado de São Paulo para Norte e Oeste do país, ocorrendo, sobretudo nos estados do Nordeste, em Goiás e Minas Gerais (Drummond et al., 1984; EPAMIG, 2003).

A espécie *Jatropha curcas* L. (pinhão-manso), pertencente à família das Euforbiáceas, também conhecido como pinhão do Paraguai, purgueira, pinha-de-purga, grão-de-maluco, pinhão-de-cerca, pinhão-bravo, figo-do-inferno, pinhão-das-barbadas, dentre outros (Drummond et al., 1984). É um arbusto grande, de crescimento rápido, cuja altura normal é dois a três metros, com folhas verdes, esparsas e brilhantes, largas e alternas, em forma de palma, apresentam floração monóica na mesma planta, mas com sexo separado (Arruda et al., 2004). Os frutos maduros apresentavam o epicarpo com coloração externa marrom-escura e os frutos secos apresentavam o epicarpo de coloração preta e em fase de deiscência, mesocarpo seco e sementes de coloração preta, com presença de estrias (Nunes et al., 2008).

O pinhão-manso é uma planta perene, as folhas são decíduas apresentando queda das folhas na estação seca, as quais ressurgem logo após as primeiras chuvas, é considerada uma espécie xerófita, com forte resistência à seca (Drummond et al., 1984; Arruda et al., 2004; Saturnino et al., 2005). Essa planta cresce bem com chuvas anuais acima de 600 mm, sendo,

entretanto, tolerantes ao longo período de estiagem, porém, com precipitações inferiores a 600 mm, ela paralisa seu crescimento (Henning, 1999). Segundo Severino et al. (2006) o pinhão-mansão desenvolve-se sob condições climáticas diversas, desde regiões tropicais muito secas à úmidas, tolerando precipitações pluviométricas entre 600 e 1.500 mm ano⁻¹. De acordo com esses autores, seu plantio pode ser feito em terras marginais: terrenos acidentados; terras ao longo de canais de irrigação e de linhas férreas, bem como em e solos degradados por plantios intensivos, pastoreio ou mineração.

O pinhão-mansão destaca-se o seu crescimento e sobrevivência com poucos cuidados em terra marginais (de pouco fertilidade). É uma planta de fácil propagação, pode ser usada no controle de erosão (redução da erosão do vento ou da água) e a sua torta é muito valiosa como adubo orgânico, além da sua semente ser usada na produção de biodiesel (RETEC, 2006). Além disso, o pinhão-mansão permanece em produção por mais de 30 anos (EPAMIG, 2003).

Parte do interesse pelo cultivo desta espécie está relacionada ao uso da semente, matéria-prima na produção de óleos para a obtenção do biodiesel, empregada também na fabricação de sabão e tinta. Além disso, a planta também pode ser usada como cerca viva e empregada em indústrias farmacêuticas e cosméticas (Openshaw, 2000; Augusto et al., 2002).

De acordo com Carnielli (2003), o pinhão-mansão produz, no mínimo, duas toneladas de óleo por hectare ano⁻¹, apresentando rendimento de 4 a 5 kg de frutos por planta e teor de óleo na semente de 35% a 40%. Segundo informações da APTA (2007), em análises comparativas realizadas recentemente pela Embrapa, é previsto um rendimento médio da soja de 375 a 600 quilos de óleo por hectare (kg ha⁻¹); da mamona, de 350 a 1.188 kg ha⁻¹; do girassol, de 630 a 725 kg ha⁻¹, e com previsão futura, que o pinhão-mansão possa produzir entre 1.340 a 3.200 kg ha⁻¹, podendo chegar a 8.000 kg há⁻¹, dependendo do teor de óleo na planta (entre 30 a 50%) e da tecnologia de produção empregada.

Para Purcino & Drummond (1986) citados por Arruda et al. (2004), o pinhão-mansão, é uma planta produtora de óleo com todas as qualidades necessárias para ser transformado em biodiesel, pois, além de perene e de fácil cultivo, ela apresenta boa conservação da semente colhida, é uma cultura que pode se desenvolver nas pequenas propriedades, com a mão-de-obra familiar disponível, como acontece com a cultura da mamona, na Bahia, sendo mais uma fonte de renda para as propriedades rurais da Região Nordeste.

2.2 Fenologia

A fenologia refere-se ao comportamento dos eventos biológicos vegetativos e reprodutivos das plantas tais como brotamento, abscisão foliar, formação de botões, flores, frutos e suas relações com mudanças no ambiente biótico e abiótico (Ferraz et al., 1999). Os levantamentos fenológicos fornecem informações sobre padrões de florescimento e de frutificação de uma espécie que são a base para se compreender, tanto o processo, quanto o sucesso reprodutivo (Fisch et al., 2000).

Além disso, a avaliação do comportamento fenológico propicia o conhecimento e a definição das épocas em que ocorrem as diversas fases do período vegetativo das plantas, o que pode auxiliar na escolha das práticas culturais indicando, por exemplo, a melhor época de colheita e de plantio para cada espécie (Bergamaschi, 2008). O conhecimento da dinâmica fenológica é, portanto, indispensável para a elaboração de estratégias de conservação e manejo de espécies (Falcão et al., 2003).

Para Larcher (2004), o conhecimento da fenologia mesmo é baseado nas observações de estádios de desenvolvimento externamente visíveis (fenofases), como, por exemplo, a germinação das sementes, desenvolvimento das folhas, floração, descoloração das folhas e senescência das herbáceas. Segundo Bencke & Morellato (2002), os estudos dos ciclos fenológicos de plantas tropicais envolvem observação direta da espécie utilizando dois métodos de avaliação: o método qualitativo, definindo apenas a presença ou ausência da fenofase considerada e o método semi-quantitativo, com a aplicação de categorias de quantificação que estimam a intensidade do evento fenológico em cada indivíduo.

A organização das datas fenológicas proporciona informações ecológicas importantes sobre a duração média das diferentes fenofases das distintas espécies em uma área, e sobre o local, e as diferenças determinadas pelo clima nas datas de início dessas fases (Larcher, 2004). Além disso, o registro da variação das características fenológicas das espécies é de suma importância não só pela compreensão da dinâmica das comunidades florestais, mas também como indicador da resposta destes organismos às condições climáticas e edáficas de um determinado local ou região (Fournier, 1974 citado por Negrelle & Muraro, 2006).

Nos trópicos, fatores climáticos e interações entre espécies estão freqüentemente associados com a sazonalidade dos eventos fenológicos das plantas (Bencke & Morellato, 2002). Trabalhos recentes indicam que a sazonalidade está presente em maior ou menor grau na ocorrência dos eventos fenológicos em espécies tropicais (Lima & Vieira, 2006; Fagundes

et al., 2007; Folgarait et al., 2007). Em adição, estudos mostram as influências dos fatores climáticos nos eventos fenológicos em diversas espécies do g nero *Jatropha*. Maya & Arriaga (1996), estudando a fenologia reprodutiva em *Jatropha cinerea* e *Jatropha cuneata* encontrara que a flora o foi significativamente sazonal, concentrando-se durante a esta o úmida e apresentando correla o significativa com a precipita o.

Já Sayer & Newbery (2003), verificaram a influência da pluviosidade nas diversas fenofases em *Jatropha gaumeri* e observando um alto  ndice de queda foliar com o fim da época da chuva. Sendo a queda de folhas, brota o, flora o e frutifica o as quatro principais fenofases consideradas na maioria desses estudos. Ferraz et al. (1999), estudando a fenologia da espécie *Alchornea sidifalia*, pertecente também a família Euphorbiaceae, observaram que a maior concentra o de espécies florindo na época chuvosa estaria relacionada não são com o alto  ndice de pluviosidade e umidade relativa, mas também com baixas temperaturas do local.

2.3 Fotossíntese e trocas gasosas

A fotossíntese   o processo através do qual as plantas transformam a energia solar em energia química. Os organismos fotossintetizantes utilizam   energia solar para a síntese de carboidratos a partir de dióxido de carbono e água, com a libera o de oxig nio. A energia armazenada nessas moléculas pode ser utilizada mais tarde para impulsionar processos celulares na planta e servir como fonte de energia para todas as formas de vida (Taiz & Zeiger, 2006). Condi es elementares para ocorrência do processo fotossintético   a absor o de energia radiante pelos cloroplastos localizado nas células do mesofilo foliar, onde se encontram os receptores de radia o solar, as clorofilas, bem como os pigmentos acessórios, especializadas na absor o de luz (Larcher, 2004).

A fotossíntese envolve rea es com absor o de energia radiante (luz), a qual   direcionada para um centro de rea o, onde se inicia uma série de rea es que pode ser dividida em duas fases: 1) fase fotoquímica, para a capta o de energia luminosa e transforma o dessas em energia química (ATP), para as rea es enderg nicas de forma o de a c ares; e em poder redutor (NADPH), para a redu o do CO₂ atmosférico a carboidrato, mas também para outras rea es, que consomem ATP e NADPH; e 2) Ciclo de Calvin, que são as rea es enzimáticas de incorpora o do CO₂ atmosférico em compostos orgânicos, utilizando o ATP e o NADPH produzidos nas rea es luminosas (Pimentel, 1998; Taiz & Zeiger, 2006).

A taxa fotossintética líquida resulta da troca de CO₂ entre a folha e o ar atmosférico, pois quando a planta realiza fotossíntese absorve CO₂ e, pelo processo respiratório libera CO₂. Sob condições naturais, essa relação de troca, assim como a temperatura e o déficit de pressão de vapor são os responsáveis pelo estabelecimento da fotossíntese, muito embora a indução de outros fatores possa alterar essas funções nas plantas (Prior et al., 1997).

O acesso do CO₂ atmosférico às células fotossintéticas do mesófilo ocorre através da abertura estomática. Por essa mesma via, entretanto, ocorre perda de água no sentido da superfície interna hidratada a folha para a atmosfera. Dessa forma o controle da abertura estomática é primordial para manter a máxima fotossíntese, com a menor perda de água possível (Pimentel, 2004).

2.4 Influências dos fatores ambientais na fotossíntese e trocas gasosas

Fatores ambientais, tais como intensidade e qualidade de luz, temperatura, umidade relativa e concentração intracelular de CO₂, são percebidos pelas células-guardas e esses sinais são integrados em respostas estomáticas bem definidas (Taiz & Zeiger, 2006).

A condutância estomática é um dos principais fatores que regulam o processo fotossintético nas plantas (Pimentel, 2004). Na maioria das vezes, os estômatos fecham em resposta à seca antes mesmo de qualquer mudança no potencial hídrico ou no conteúdo de água das folhas (Socias, et al., 1997), mas também podem fechar quando o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar aumenta (Oren et al., 2001). A transpiração é proporcional ao déficit de pressão de vapor de água na atmosfera. O controle da transpiração é feito pelo fechamento estomático, que é o único processo no continuum solo-planta-atmosfera que possui essa resposta instantânea (Pimentel, 1998). Cabe ressaltar que a transpiração é o principal mecanismo envolvido na regulação da temperatura foliar e que menores aberturas estomáticas levam a redução da transpiração e aumento da temperatura do tecido foliar (Machado et al., 2005).

Fatores externos influenciam a transpiração na medida em que alteram a diferença de pressão de vapor entre a superfície da planta e o ar que a envolve. Portanto, a transpiração aumenta com a diminuição da umidade relativa e aumento da temperatura do ar (Larcher, 2004). Segundo o mesmo autor, quando os estômatos estão totalmente abertos, a absorção de CO₂ é mais limitada pela resistência de transferência do que a perda de água por transpiração.

O déficit de pressão de vapor também induz o fechamento estomático que é mais freqüente sob níveis saturantes de energia solar. Além disso, há diferenças de resposta caso a

folha seja de sol ou de sombra e entre estômatos das superfícies abaxial e adaxial. O estômato responde, também, ao vento, em parte devido aos efeitos sobre a condutância da camada limite da folha e a conseqüente variação da transpiração e do balanço hídrico da folha (Angeloci, 2002). Além da umidade do ar os estômatos são influenciados pela radiação solar e pela concentração de CO₂ do ar e da câmara sub-estomática (Machado et al., 2005). Ao meio-dia, devido às fortes irradiâncias, ao intenso calor e à alta capacidade evaporativa do ar, os estômatos tendem a se fechar, a concentração intercelular de CO₂ (C_i) aumenta e a eficiência fotoquímica do fotossistema II diminui ao entardecer a temperatura diminui e as taxas fotossintéticas devem se elevar (Larcher, 2004).

O monitoramento periódico das variações sazonais e diurnas do potencial hídrico foliar e das trocas gasosas, particularmente da fotossíntese e da transpiração, quando associadas com medições da condutância estomática e das variações climáticas e edáficas, pode servir como importante ferramenta para a compreensão de como determinada espécie ou determinado genótipo utiliza os recursos disponíveis do ambiente e de como as flutuações sazonais destes recursos afetam a produtividade primária das plantas (Pereira et al., 1986) citado por (Tatagiba et al., 2007).

Dentre as técnicas utilizadas, a medição das trocas gasosas, através da resposta da fotossíntese à variação da concentração de CO₂ do ambiente, é a forma mais simples de avaliar *in vivo* a atividade de carboxilação da rubisco e a regeneração da RuBP, os dois processos que determinam a taxa fotossintética fotossaturada das plantas de metabolismo C₃ (Rogers et al., 2001).

Diversos estudos relatam que as variações sazonais das taxas de fotossíntese e da condutância estomática em espécies C₃. Em cultura de amendoim rasteiro (*Arachis hypogaea* L.) as plantas apresentaram fotossíntese baixa apenas quando as temperaturas foliares e as diferenças de pressão de vapor entre a folha e o ar foram elevadas demonstraram boa adaptação às variações diárias durante a época seca (Erismann et al., 2006). Oliveira et al. (2006) estudando cafeeiros (*Coffea arabica* L.) durante a estação seca, observaram, em geral, uma resposta inversa da fotossíntese ao DPV, evidenciando, mais uma vez, o controle estomático das trocas gasosas nessa época.

Em estudos realizados com mogno, *Swietenia macrophylla*, (Dias & Marengo, 2007) e em pinha, *Annona squamosa* L., (Endres, 2007) também foi verificado que em condições de DPV elevado, ocorreu redução na fotossíntese e aumento na fotorrespiração, provavelmente pelo efeito do DPV no fechamento dos estômatos, o que levou à diminuição do carbono interno. Tatagiba et al. (2007) acompanhando clones de *Eucalyptus* em época seca e chuvosa,

observaram correlação positiva da fotossíntese com a condutância estomática, que por sua vez foi grandemente influenciada pelas variações nas condições ambientes, tais como, luz, temperatura, déficit de pressão de vapor da atmosfera e disponibilidade de água no solo.

2.5 Fluorescência da Clorofila *a*

Todos os organismos fotossintéticos contêm um ou mais pigmentos orgânicos capazes de absorver a radiação visível que iniciará as reações fotoquímicas da fotossíntese. Em plantas superiores, os principais pigmentos fotossintéticos são as clorofilas (*a* e *b*) e os carotenóides (Taiz & Zeiger, 2006). Entretanto, nem toda a luz incidente sobre a folha é absorvida pelas moléculas de clorofila, alguns fótons podem ser transmitidos e outros podem ser refletidos. Cerca de 84% da luz incidente sobre a folha é absorvida pelas moléculas de clorofila, com 50% dos fótons ativando as moléculas de clorofila associadas ao fotossistema II e 50% dos fótons ativando as moléculas associadas ao fotossistema I (Campostrini, 1997).

As moléculas de clorofila absorvem a energia luminosa (fótons) e alteram temporariamente as suas configurações eletrônicas. Estes pigmentos passam do estado basal para o estado excitado. Um fóton de 670 nm (luz vermelha) contém energia suficiente para a molécula atingir o primeiro estágio excitado, denominado singlete 1. A molécula excitada é estável por menos de 10^{-9} s. Desta maneira, estes pigmentos fotossintéticos, após receberem a energia dos fótons, dissipam esta energia proveniente da radiação solar por meio de três vias de dissipação do estado excitado. Estas três vias são assim denominadas: Dissipação fotoquímica, fluorescência, e calor (Campostrini, 1997; Baker & Rosenqvist, 2004).

A eficiência fotoquímica da fotossíntese é obtida por meio da avaliação das diversas variáveis da fluorescência da clorofila *a*. As principais variáveis observadas nas medições da fluorescência da clorofila *a* são: fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável (F_v), rendimento quântico máximo do fotossistema II (F_v/F_m), taxa relativa de transporte de elétrons (ETR), extinção fotoquímico (qP) e extinção não-fotoquímico (qN) (Oliveira, 2005).

O F_0 representa a fluorescência com todos os centros de reação “abertos” e refere-se à emissão de fluorescência pelas moléculas de clorofila *a* do complexo coletor de luz do fotossistema II. O F_m indica a completa redução da quinona A (QA) a partir da incidência de um pulso de luz no centro de reação QA, gerando fluorescência máxima. A F_v representa o fluxo de elétrons do centro de reação do fotossistema II (P680) até a plastoquinona, e a diferença entre F_m e F_0 resulta na fluorescência variável (F_v) e a relação F_v/F_m expressa o

rendimento quântico dos processos fotoquímicos desse fotossistema, ou seja, a eficiência relativa da captura de energia luminosa pelo fotossistema II (Maxwell & Johnson, 2000). Outro parâmetro da cinética de fluorescência é a eficiência quântica efetiva do fotossistema II ($\Phi_{PS II}$) que indica qual a proporção de luz que foi absorvida pelas clorofilas associadas ao fotossistema II utilizada na fotoquímica, como tal, informa a quantidade de elétrons transportado sendo um indicativo da intensidade de fotossíntese (Baker & Rosenqvist, 2004).

O rendimento da fluorescência da clorofila *a* revela o nível de excitação da energia no sistema de pigmentos que dirige a fotossíntese e fornece subsídios para estimar a inibição ou o dano no processo de transferência de elétrons do fotossistema II (Bolhàr-Nordenkampf et al., 1989). A intensidade da fotoinibição pode ser avaliada pela redução na eficiência quântica do fotossistema II (relação F_v/F_m). Comumente, esta característica da fluorescência é usada como indicador de estresse, quando fatores bióticos ou abióticos alteram a funcionalidade do fotossistema II (Dias & Marengo, 2007).

O uso de parâmetros de fluorescência tem sido difundido principalmente no estudo de fotossíntese por ser um método que, além de não destrutivo, permite uma análise qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa através do fotossistema II e possíveis relações com a capacidade fotossintética (Netto et al., 2005). Também possibilita o estudo de características relacionadas à capacidade de absorção e transferência da energia luminosa na cadeia de transporte de elétrons, sendo possíveis também estudos das mudanças conformacionais dos tilacóides (Costa et al., 2003).

Condições extremas de estresse ambiental tais como a salinidade, radiação, seca, calor, frio e poluição em plantas podem afetar os eventos no tilacóide, interferindo na eficiência da fotossíntese e inativando o fotossistema II (P680) e a cadeia de transporte de elétrons que daria origem ao ATP e NADPH (Costa et al., 2003; Baker & Rosenqvist, 2004).

Estudos realizados em diferentes espécies mostram o uso de parâmetros da cinética de emissão de fluorescência sendo utilizado para detectar danos causados por diferentes tipos de estresses. Dentre os estudos sob parâmetros de fluorescência em plantas C_3 destacam-se o efeito de deficiência hídrica em *Vigna unguiculata* (Souza et al., 2004), estresse nutricional causa por Al em seis cultivares de cafeeiro (Konrad et al., 2005), estresse salino em *Phaseolus vulgaris* (Zanandrea et al., 2006). Em adição, trabalhos realizados por Liang et al. (2007) estudando a espécie *Jatropha curcas* submetidas a estresse causado pelo frio, verificaram valores de F_v/F_m de 0,95 na planta em condições normais e valores inferiores a 0,7 indicando a ocorrência de fotoinibição durante o estresse.

Erismann et al. (2006) na cultura de amendoim rasteiro (*Arachis hypogaeae* L.) e Oliveira et al. (2006) em cafeeiros (*Coffea arabica* L.), expostos às condições ambientais, observaram fotoinibição dinâmica da fotossíntese no início da tarde, manifestada pela queda reversível da eficiência quântica máxima (F_v/F_m) do fotossistema II, no período de excesso de energia luminosa e alto DFFF (densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos).

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2002. 272 p.

APTA. **Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios**, Pinhão-manso para produção de biodiesel: um promissor negócio ou um grande desastre, 2007. Disponível em: <<http://www.apta.sp.gov.br>>. Acesso em: 22 fevereiro 2008.

ARAÚJO, M. M. **Melhoramento de plantas visando à produção de biodiesel**, 2007. Disponível em: <<http://www.genetica.esalq.usp.br/pub/seminar/2007/Resumo.pdf>>. Acesso em: 15 fevereiro 2008.

ARRUDA, F. P. et al. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curca* L.) como alternativo para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira Oleagenosas e Fibrosas**. v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.

AUGUSTUS, G. D. P. S.; JAYABALA, N. M.; SEILERB, G. J. Evaluation and bioinduction of energy components of *Jatropha curcas*. **Biomass and Bioenergy**, v. 23, p. 161-164, 2002.

BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 403, p. 1607–1621, 2004.

BARROS, A. R. **Estudo Biodiesel**. Relatório setorial integrante do Projeto “Economia de Pernambuco”. Secretaria de Planejamento, 2006. Disponível em: <<http://www.datametria.com.br/>>. Acesso em: 18 dezembro 2007.

BELTRÃO, N. E. M. et al. Fisiologia da mamoneira, cultivar brs 149 nordestina, na fase inicial de crescimento, submetida a estresse hídrico. **Revista Brasileira Oleaginosas Fibrosas**, v. 7, n. 1, p. 659-664, 2003.

BILICH, F.; SILVA, R. **Análise do potencial brasileiro na produção de biodiesel**. Disponível em <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2006/agricultura.pdf>> Acesso em: 20 abril 2008.

BENCKE, C. S. C.; MORELLATO, P. L. C. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 3, p. 269-275, 2002.

BERGAMASCHI, H. **Temperatura x fotoperíodo sobre a fenologia das plantas**. UFRGS. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/agropfagrom>>. Acesso em: 22 janeiro 2008.

BIODIESELBR. **Pinhão manso, *Jatropha curcas*, uma planta de futuro**. Disponível no em: <<http://www.pinhaomanso.com.br>>. Acessado em: 12 janeiro 2008.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R. et al. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, v. 3, p. 497-514. 1989.

CARNIELLI, F. **O combustível do futuro**. 2003. Disponível em: <<http://www.ufmg.br/boletim>>. Acesso em: 28 janeiro 2008.

CARMÉLIO, E. C. Considerações **sobre o vínculo do pinhão-manso à agricultura familiar**, 2006. Disponível em: <<http://www.mda.gov.br>>. Acesso em: 15 fevereiro 2008.

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas**. 1997. Disponível em: <http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO_pdf>. Acesso em: 20 março 2008.

COSTA, E. S. et al. Chlorophyll *a* fluorescence analysis in response to excitation irradiance in bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. and *Vigna unguiculata* L. Walp) submitted to high temperature stress. **Photosynthetica**, v. 41, p. 77-82, 2003.

DENG, X. et al. A comparison of photosynthetic apparatus of the detached leaves of the resurrection plant *Boea hygrometrica* with its con-tolerant relative *Chirita hererotrichia* in response to dehydration and rehydration. **Plant Science**, v. 165; p. 851-861, 2003.

DIAS, D. P.; MARENCO; R. A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 3, p. 305-311, 2007.

DRUMMOND, O. A. et al. “**Cultura do pinhão manso**”. Belo Horizonte: EPAMIG, 1984. 99 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Algodão. **Alerta sobre o Plantio de Pinhão Manso no Brasil**. Disponível em: <<http://www.cnpa.embrapa.br/publicacoes/2006>>. Acesso em: 23 Janeiro 2008.

ENDRES, L. Daily and seasonal variation of water relationship in sugar apple (*Annona squamosa* L.) under different irrigation regimes at semi-arid Brazil. **Scientia Horticulturae**, v. 113, p. 149–154, 2007.

EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais). Coletânea sobre pinhão-manso. 2003. Disponível em: <<http://www.epamig.br>> Acesso em: 06 março 2008.

ERISMANN, N. M.; MACHADO, E. C.; GODOY, I. J. Capacidade fotossintética de genótipos de amendoim em ambiente natural e controlado **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1099-1108, 2006.

FAGUNDES, M.; ARAÚJO, L. S. A.; NUNES, Y. R. F. Efeitos do Estágio Sucessional do Habitat na Fenologia do Pequiizeiro (*Caryocar brasiliense*: Caryocaraceae). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 1, p. 144-146, 2007.

FALCÃO, M. A.; CLEMENT, C. R.; GOMES, J. B. M. Fenologia e produtividade da sorva (*Couma utilis* (mart.) MUELL. ARG.) na Amazônia central. **Acta Botanica Brasílica**, v. 17, n. 4, p. 541-547, 2003.

FERRAZ, D. K. et al. Fenologia de árvores em fragmento de mata em São Paulo, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, n. 2, p. 305-317, 1999.

FISCH, S. T. V.; NOGUEIRA JR, L. R.; MANTOVANI, W. Fenologia reprodutiva de *Euterpe edulis* mart. na Mata Atlântica (Reserva ecológica do Trabiju, Pindamonhangaba-SP). **Revista Biociência de Taubaté**, v. 6, n. 2, p. 31-37, 2000.

FOLGARAIT, P. J.; PATROCK, R. J. W.; GILBERT, L. E. The influence of ambient conditions and space on the phenological patterns of a Solenopsis phorid guild in an arid environment P.J. **Biological Control**, v. 42, p. 262-273, 2007.

FORSON, F. K.; ODURO, E. K.; HAMMOND, D. E. Performance of *Jatropha* oil blends in a diesel engine. **Renewable Energy**, v. 29, p. 1135-1145, 2004.

HENNING, R. K. **The Jatropha System in Zambia** – Evaluation of the existing *Jatropha* activities and proposals for an implementation strategy in Southern Province of Zambia, 1999. Disponível em: <<http://www.jatropha.de/zimbabwe>>. Acesso em: 22 janeiro 2008.

KONRAD, M. L. F. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.

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

LEMOS-FILHO, J. R. Fotoinibição em três espécies do cerrado (*Annona crassifolia*, *Eugenia dysenterica* e *Campomanesia adamantium*) na estação seca e na chuvosa. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n. 1, p. 45-50, 2000.

LIANG, Y. et al. Responses of *Jatropha curcas* seedlings to cold stress: photosynthesis-related proteins and chlorophyll fluorescence characteristics **Physiologia Plantarum**, n. 131, p. 508-517. 2007.

LIMA, N. A. S.; VIEIRA, M. F. Fenologia de floração e sistema reprodutivo de três espécies de *Ruellia* (Acanthaceae) em fragmento florestal de Viçosa, Sudeste brasileiro. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n. 4, p. 681-687, 2006.

MACHADO, E. C. et al. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

MAYA, Y. E ARRIAGA, L. Litterfall and phenological patterns of the dominant overstorey species of a desert scrub community in north-western Mexico. **Journal of Arid Environments**, v. 34, p. 23-35, 1996.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 659-668, 2000.

NEGRELLE, R. R. B.; MURARO, D. Aspectos fenológicos e reprodutivos de *Vriesea incurvata* Gaudich (Bromeliaceae). **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 28, n. 2, p. 95-102, 2006.

NETO, M. Histórico biodiesel, 2007. Disponível em: <<http://arquivobrasilbio.blogspot.com>>. Acesso: 06 janeiro 2008.

NETTO, A. T. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll *a* fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 104, p. 199-209, 2005.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Alterações fisiológicas no amendoim submetido ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 4, n. 1, p. 41-45, 2000.

NUNES, C. F. et al. Diferentes suplementos no cultivo in vitro de embriões de pinhão-mansô. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 43, n. 1, p. 9-14, 2008.

OLIVEIRA, J. G. **Estresse luminoso: uma abordagem a partir das variáveis de fluorescência da clorofila *a***. In: NOGUEIRA, R.J.M.C.; ARAÚJO, E. DE L.; WILLADINO, L.G.; CAVALCANTE, U.M.T. (eds.). Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE, 2005. cap. 3 , p. 182-191.

OLIVEIRA, C. R. M. et al. Trocas gasosas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) e seringueiras (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em diferentes sistemas de cultivo na região de lavras, MG. **Revista Árvores**, v. 30, n. 2, p. 197-206, 2006.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, v. 19, p. 1-15, 2000.

OREN, R. et al. Sensitivity of mean canopy stomatal conductance to vapor pressure deficit in a flooded *Taxodium distichum* L. forest: hydraulic and non-hydraulic effects, **Oecologia**, n. 126, p. 21–29, 2001.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica- RJ: Edur, 1998. 150 p.

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

PRIOR, L. D.; EAMUS, D.; DUFF G. A. Seasonal and Diurnal Patterns of Carbon Assimilation, Stomatal Conductance and Leaf Water Potential in *Eucalyptus tetradonta* Saplings in a Wet–Dry Savanna in Northern Australia. **Australian Journal of Botany**, v. 45, p. 241–258. 1997.

RETEC/BA. **Rede de Tecnologia da Bahia**. Informe Pinhão-mansô (2006). Disponível em: <<http://sbprt.ibict.br>>. Acesso em: 22 dezembro 2007.

ROGERS, A.; ELLSWORTH, D. S.; HUMPHRIES, S. W. Possible explanation of the disparity between the in vitro and in vivo measurements of Rubisco activity: a study in loblolly pine grown in elevated CO₂. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. 360, p. 1555-1561, 2001.

SATURNINO, H. M. et al. Cultura do Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.

SAYER, E. J.; NEWBERY, D. M. The role of tree size in the leafing phenology of a seasonally dry tropical forest in Belize, Central. **América Journal of Tropical Ecology**, v. 19, p. 539-548, 2003.

SEVERINO, L. S. et al. **Viagem á Índia para Prospecção de Tecnologias sobre Mamona e Pinhão Manso**. Campina Grande: Embrapa do algodão. Documento 153, 2006. 56 p.

SOCIAS, X. et al. The role of abscisic acid and water relations in drought responses of subterranean clover. **Journal Experimental Botany**, v. 48, p. 1281-1288, 1997.

SOUZA, R.P. et al. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**, n. 51, p. 45-56, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004, 719 p.

TATAGIBA, S. D. et al. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 149-159, 2007.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BOODEY, R. M. Produção de biocombustíveis, a questão do balanço energético. **Revista de Política Agrícola**, v. 14, n. 5, p. 42-46, 2005.

ZANANDRE, A. I. et al. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, n. 2, p. 157-161, 2006.

Bibliografia elaborada segundo orientações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT – NBR 6023 – AGO 2002).

CAPÍTULO 1

FENOLOGIA DE *Jatropha curcas* L. NA ZONA DA MATA DO ESTADO DE ALAGOAS, BRASIL

SANTOS, C. M. Universidade Federal de Alagoas, abril de 2008. **Fenológico de *Jatropha curcas* L. na Zona da Mata do Estado de Alagoas, Brasil.** Orientador: Prof. Dr. Laurício Endres.

RESUMO

O pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.), pertencente à família Euphorbiaceae, é uma planta nativa das Américas. Parte do interesse pelo cultivo desta espécie está relacionada ao uso da semente como matéria-prima na produção de óleo para a obtenção do biodiesel, empregado também na fabricação de sabão e tinta, além disso, está sendo considerada uma das mais promissoras oleaginosas do Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil para substituir o diesel de petróleo. Esse trabalho teve como objetivo caracterizar o comportamento fenológico do pinhão-mansão cultivado na Zona da Mata de Alagoas. Foram efetuadas observações de crescimento e fenológicos, durante o período de setembro/2006 a dezembro/2007 em indivíduos localizados no campo experimental, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, no Município de Rio Largo, situado nas coordenadas geográficas (09^o 27' 57,3" S e 35^o 49' 57,4" W). Foram realizadas avaliações quinzenalmente sobre crescimento em 50 indivíduos, e semanalmente sobre abscisão e brotamento das folhas, floração e frutificação em 20 indivíduos. Também foram acompanhados 20 indivíduos para realização de contagem (número de inflorescências por planta, número de botões florais por planta, número de flores por planta e número de frutos por planta) e 10 indivíduos para acompanhar o desenvolvimento do fruto. O Pinhão-mansão apresentou crescimento vegetativo com padrão sazonal, verificou-se crescimento lento na estação seca, e aceleração do crescimento na estação chuvosa. A abscisão foliar iniciou durante o final do período chuvoso e continuou durante a época seca, onde alguns indivíduos entraram em dormência vegetativa, enquanto o surgimento de folhas novas e a floração na maioria dos indivíduos ocorreram ao longo de todo o ano, cessando a produção, esporadicamente, durante breves períodos. Verificou-se pico de floração e frutificação durante a estação chuvosa. O ciclo reprodutivo durou um período médio de 120 dias do surgimento da inflorescência até o amadurecimento pleno do fruto na planta. Este estudo sugere que os eventos vegetativos e reprodutivos do pinhão-mansão são sazonais, concentrando o seu desenvolvimento de forma mais intensa na estação chuvosa.

Palavras-chave - fenologia, crescimento, pinhão-mansão, biodiesel.

SANTOS, C. M. Federal University of Alagoas, April 2008. **Phenology of the *Jatropha curcas* L. in the Florest Zone of the state of Alagoas, Brazil.** Oriented by: Prof. and Dr. Laurício Endres.

ABSTRACT

The physic nut (*Jatropha curcas* L.), pertains to the Euphorbiaceae family, is a native plant of Americas. Part of the interest for the cultivation of this species is related to the use of the seeds for oil production for the obtainment of the bio-diesel, also used in the production of soap and ink. Besides that, it has been considered one of the most promising oleaginous is in the Southeastern, Central-West and Northeast regions of Brazil. This work had as objective to characterize the phenologic behavior of the Physic nut for the city of Rio Largo, Alagoas. Some growth and phenologic observations were taken during the period of September 2006 to December 2007 in plants located in an experimental field, in the Center of Agrarian Sciences of the Federal University of Alagoas, in the city of Rio Largo, situated in the geographic coordinates of 09° 27' 57,3" S and 35° 49' 57,4" W. Some notations on growth were taken biweekly on 50 plants, and weekly on leaf fall and sproutings, budding and fruition on 20 plants. Twenty plants were also observed for counting (the number of inflorescence per plant, the number of flower buttons per plant, the number of flowers per plant and the number of fruits per plant) and 10 plants to observe the development of the fruit. The Physic nut presented vegetative growth with standard sazonal; slow growth was verified during the dry season, and accelerated growth during the rainy season. The leaf fall initiated during the end of the rainy season and continued through the dry season, where some plants entered into dormancy, whereas the sprouting of new leaves and the budding on most of the plants occurred all throughout the year, ceasing eventually the production during short periods. A budding and fruitification peak was verified during the rainy season. The fruit's development cycle lasted an average period of 120 days from the sprouting of the inflorescence until the full matureness of the fruit on the plant. This study suggests that the vegetative and reproductive events of the Physic nut showed themselves as seasonal, concentrating on a more intense way its phenological activities during the rainy season.

Key words: Phenology, growth, physic nut, bio-diesel.

1 INTRODUÇÃO

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), pertencente à família Euphorbiaceae, é uma planta nativa das Américas, apresenta-se disseminada nas regiões tropicais e subtropicais do globo e amplamente distribuído na Ásia, África e Índia (Augustus et al., 2002). No Brasil, o pinhão-manso adapta-se as condições edafoclimáticas as mais variáveis, sua distribuição geográfica ocorre desde o estado de São Paulo para Norte e Oeste do país, ocorrendo, sobretudo nos estados do Nordeste, em Goiás e Minas Gerais (Drummond et al., 1984; EPAMIG, 2003), sendo considerado uma interessante opção agrícola para a região Nordeste, por ser uma espécie nativa e com forte resistência à seca (Arruda et al., 2004).

O pinhão-manso é uma planta perene, de porte de arbusto, alcançando cerca de dois a três metros de altura, as folhas são decíduas, a primeira inflorescência é cimeira, apresentando abscisão foliar na estação seca, as quais ressurgem logo após as primeiras chuvas (Saturnino et al., 2005). Os frutos maduros apresentavam o epicarpo com coloração externa marrom-escura e os frutos secos apresentavam o epicarpo de coloração preta e em fase de deiscência, mesocarpo seco e sementes de coloração preta, com presença de estrias (Nunes et al. 2008).

Parte do interesse pelo cultivo desta espécie está relacionada ao uso da semente como matéria-prima, sendo empregada na produção de óleo para a obtenção do biodiesel, e na fabricação de sabão e tinta, além disso, a planta também pode ser usada como cerca viva, e empregada em indústrias farmacêuticas e cosméticas (Openshaw, 2000; Augustus et al., 2002). Segundo BIODIESELBR (2008), o pinhão-manso pode ser considerado uma das mais promissoras oleaginosas para o Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste do Brasil para substituir o diesel de petróleo por ser uma cultura existente de forma espontânea em áreas de solos pouco férteis e de clima desfavorável à maioria das culturas alimentares tradicionais.

No Brasil, sob condições de sequeiro, a planta do pinhão-manso cresce em regiões pluviométricas de 480 a 2.380 mm anuais e temperaturas médias anuais entre 18°C e 28,5°C (Saturnino et al., 2005). No entanto, ela cresce melhor com chuvas anuais acima de 600 mm, sendo tolerante a longos períodos de estiagem (Severino, 2006). A região do município de Rio Largo no Estado de Alagoas apresenta clima quente e úmido, com médias pluviométricas

anuais de (1818 mm) e período chuvoso concentrado de abril a agosto e o período seco de setembro a fevereiro e temperaturas médias de 25,5°C (Souza et al., 2005), portanto, favorável ao desenvolvimento da cultura.

Estudos sobre o padrão fenológico de comunidades ou populações vegetais fornecem informações sobre ritmos de crescimento e reprodução, interações com o clima, produção de frutos e sementes (Fisch et al., 2000). Além disso, a avaliação do comportamento fenológico propicia o conhecimento e a definição das épocas em que ocorrem as diversas fases do período vegetativo das plantas, o que pode favorecer a melhor utilização das práticas culturais, conhecimento da dinâmica fenológica e servir como base para a elaboração de estratégias de cultivos e conservação da espécie (Bergamaschi, 2008).

Nos trópicos, fatores climáticos e interações interespecíficas estão frequentemente associados com a sazonalidade dos eventos fenológicos das plantas (Bencke & Morellato 2002). Trabalhos recentes indicam que a sazonalidade está presente em maior ou menor grau na ocorrência dos eventos fenológicos em espécies tropicais (Fagundes et al., 2007; Folgarait et al., 2007).

Em adição, estudos mostram as influências dos fatores climáticos nos eventos fenológicos em diversos gêneros de *Jatropha*. Maya & Arriaga (1996) estudando as espécies *Jatropha cinerea* e *Jatropha cuneata*, afirmaram que o desenvolvimento está diretamente correlacionado ao período chuvoso. Já Sayer & Newbery (2003) verificaram a influência da pluviosidade nas diversas fenofases em *Jatropha gaumeri* e observaram um alto índice de abscisão foliar com o fim da época chuvosa. Sendo a abscisão foliar, formação de folhas novas, floração e frutificação as quatro principais fenofases consideradas na maioria desses estudos.

Santos et al. (2005) estudando as espécies de *Jatropha mutabilis* e *Jatropha mollissima* típicas de áreas de Caatinga, observaram que as espécies possuíam padrão de floração do tipo contínuo produzindo flores ao longo de todo o ano, apresentando pico de floração entre os meses de outubro e novembro. Ferraz et al. (1999) verificaram na espécie *Alchornea sidifolia* pertencente também da família Euphorbiaceae que a maior concentração de plantas floridas ocorreu na época chuvosa o que estaria relacionada não só a disponibilidade de água para as plantas, mas também com baixas temperaturas observando assim a influência desses fatores climáticos em suas fenofases.

Como o pinhão-mansão vem sendo ainda pouco estudado no Brasil e diante do crescente interesse no uso para produção de biocombustível no cenário mundial, trabalhos que visem determinar padrões fenológicos, além de fornecerem informações de interesse

produtivo, são relevantes subsídios para a compreensão da dinâmica da cultura e para planos de manejo. Além disso, o conhecimento da fenologia dessa cultura é de grande interesse uma vez que se dispõe de uma série de informações sobre crescimento e desenvolvimento, as quais podem ser utilizadas para programas de melhoramento quantitativo e qualitativo da espécie. Assim, esse trabalho teve como objetivo caracterizar o comportamento fenológico da espécie pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) cultivado na Zona da Mata do estado de Alagoas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo da fenologia de Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) foi realizado em indivíduos cultivado no campo experimental, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, no Município de Rio Largo, Estado Alagoas, situado em torno das coordenadas geográficas 09° 27' 57,3" S e 35° 49' 57,4" W, em uma altitude média de 127 m acima do nível do mar, no período de período de janeiro/2006 a dezembro/2007.

A área de estudo está situada na Zona da Mata alagoana que possui um clima quente e semi-úmido com um período chuvoso entre abril e agosto (70% da precipitação total anual acontecem neste período) e um período seco de setembro a fevereiro, caracterizada por temperatura do ar média anual de 25,5 °C; umidade relativa do ar de 70% e precipitação pluviométrica de 1816,4 mm.ano⁻¹ (Souza et al., 2005).

Os dados climáticos do período experimental foram obtidos na Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas - UFAL (9° 27'S, 35° 27' W, 127m). Foi calculada a média mensal dos valores diários para temperaturas máxima, média e mínima, umidade relativa do ar e a soma da pluviosidade acumulada de cada mês (Figura 1).

Para a realização do estudo, sementes de pinhão manso foram germinadas em casa de vegetação e com aproximadamente três meses de idade, as mudas foram transplantadas para o campo, utilizando espaçamento 3 X 2 m, numa área de 2.588 m², totalizando 444 plantas. Durante o transplante todas as plantas receberam adubação de base constituída por 200 g por planta da fórmula 12-12-12 (N-P-K). As plantas receberam capinação mensal e foram aplicados ao longo do experimento formicida para o controle de ataque de formigas no local. Quando as plantas atingiram seis meses, iniciou-se o acompanhamento dos parâmetros de crescimento e fenologia.

Para caracterizar o crescimento da planta, foram marcados 50 indivíduos e foram quinzenalmente acompanhados e as variáveis alturas da planta (distância da superfície do solo até o meristema mais alto) e diâmetro do coleto (base do caule) foram mensuradas com fita métrica e paquímetro no período entre setembro/2006 e dezembro/2007.

As observações fenológicas foram realizadas semanalmente em 20 indivíduos nesse mesmo período, onde foram mensuradas a presença de botões, flores, frutos, folhas novas e abscisão foliar, seguindo indicações de Bencke & Morellato (2002). O critério de avaliação para presença de botões, flores e frutos, foi estimado quando 50% dos indivíduos apresentaram respectivas fenofases. Na continuação das mensurações foram anotados, a partir da observação dos indivíduos marcados, o número de inflorescências, número de botões florais, número de flores abertas e número de frutos por planta entre o período de abril/2007 a dezembro/2007.

No acompanhamento do crescimento do fruto, foram selecionadas 10 plantas de aproximadamente 140 cm de altura, nas quais foram marcadas uma inflorescência por planta. Observou-se o período de desenvolvimento das inflorescências até o surgimento dos botões florais. Em seguida foram marcados botões com cerca de 2 mm de diâmetro, nos quais foi observado o período até a antese. A partir desta fase, 20 frutos medindo aproximadamente 2,5 mm foram acompanhados com a medição semanal do diâmetro, com o uso de um paquímetro. As medições tiveram início após a antese e prosseguiram até o momento da colheita do fruto.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Clima

Durante o período de estudo (setembro/2006 a dezembro/2007), foi possível se observar duas estações climáticas em definidas: uma seca entre os meses de setembro a fevereiro e outra chuvosa entre os meses abril a agosto, sendo agosto o mês mais chuvoso (230,63 mm) e dezembro o mais seco (10,92 mm). Esses períodos foram também, respectivamente, os de maior e menor umidade relativa (Figura 1).

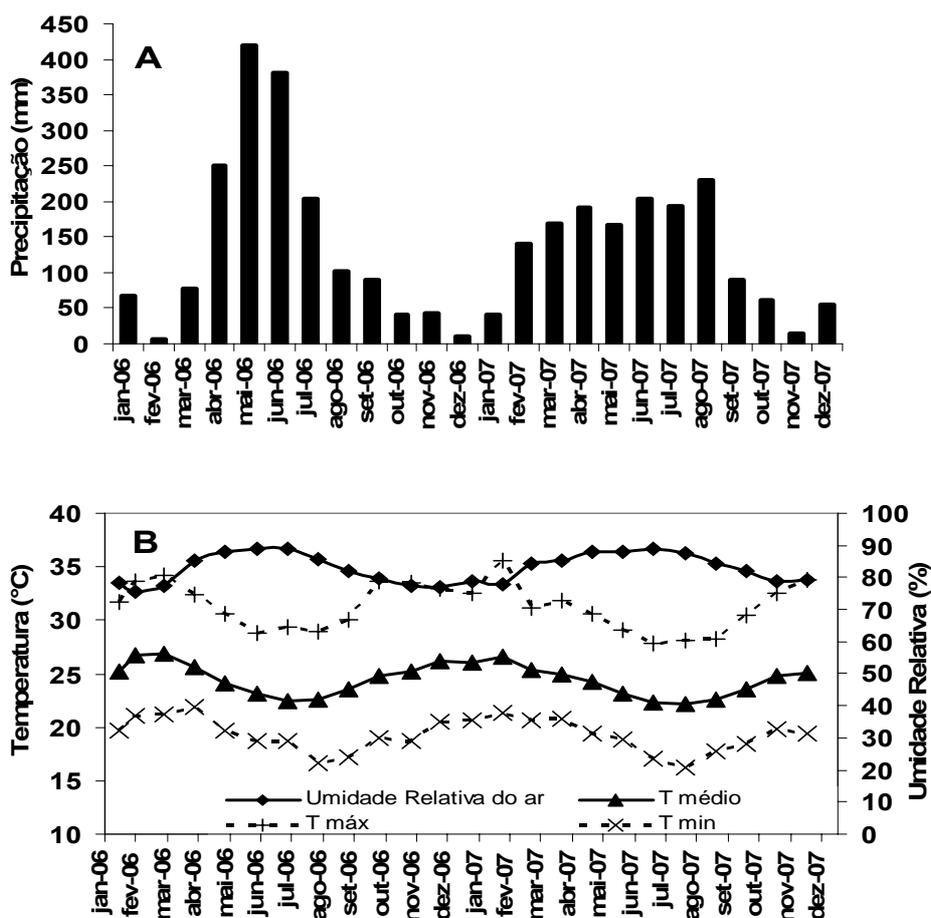


Figura 1: Pluviosidade média do período experimental (A) e temperatura média (—▲—), máxima (—+—), mínima (—X—), e Umidade relativa (—◆—), do período de Janeiro/2006 a Dezembro /2007 (B) para a região de Rio Largo-AL.

A temperatura média durante o período experimental foi de 24,5°C, com umidade relativa do ar de 82,85%, e a precipitação total foi 3248,9 mm. Não foi observada grande variação de temperatura durante o experimento, sendo fevereiro o mês mais quente com temperatura média de 26,6°C e agosto o mês mais frio com temperatura média de 22,10°C (Figura 1B).

3.2 Crescimento da Planta

O pinhão-mansão apresentou média 30 cm de altura e 23 mm de diâmetro do coleto aos seis meses de idade, atingindo, com 21 meses de idade, altura média 147 cm e diâmetro do coleto de 80 mm (Figura 2A e 2B). Ratre (2004), estudando o crescimento do pinhão-mansão na Tailândia, observou que mudas da espécie apresentaram altura média entre 83 a 110 cm com 14 meses de idade.

A espécie apresentou entre os meses de setembro/2006 a março/2007 uma taxa de crescimento médio de 7,3 cm mês⁻¹; e entre setembro/2007 a dezembro/2007 essa taxa foi menor com médio de 5 cm mês⁻¹. Pode-se notar que esses períodos crescimento lento coincidiu com a época seca nos dois anos. A sua maior aceleração no crescimento vegetativo ocorreu durante a estação chuvosa (Figura 1A) entre abril a agosto de 2007, apresentando uma taxa de crescimento médio de 12,3 cm mês⁻¹. Para o diâmetro do coleto verificou-se comportamento similar, apresentando maiores médias entre março a julho de 2007 de 7,3 cm mês⁻¹, período considerado de maior estação de crescimento. O diâmetro do coleto apresentou menores médias entre os meses de setembro/2006 a fevereiro/2007 e em agosto/2007 a dezembro/2007 com médias respectivamente de 3,15 e 1,3 cm mês⁻¹ denotando desenvolvimento mais lento nesses períodos (Figura 2B).

Segundo Arruda et al. (2004), o pinhão-mansão apresenta crescimento rápido, atingindo altura de dois a três metros quando adulta e podendo alcançar até cinco metros em condições especiais e apresenta diâmetro do tronco de aproximadamente 20 cm. Souza et al. (2007) estudando o crescimento da mamoneira, pertencente à família Euphorbiaceae, verificaram que a espécie apresentou maior crescimento vegetativo durante os meses de alta precipitação, segundo os autores essas condições contribuíram para a elevada disponibilidade hídrica do solo e assim influenciando a estação de crescimento da cultura. De acordo com Saturnino et al. (2005) conforme a região, o desenvolvimento inicial das mudas de pinhão-mansão pode ser influenciado pela época de chuvas, ventos dominantes e outras ocorrências climáticas típicas de cada local.

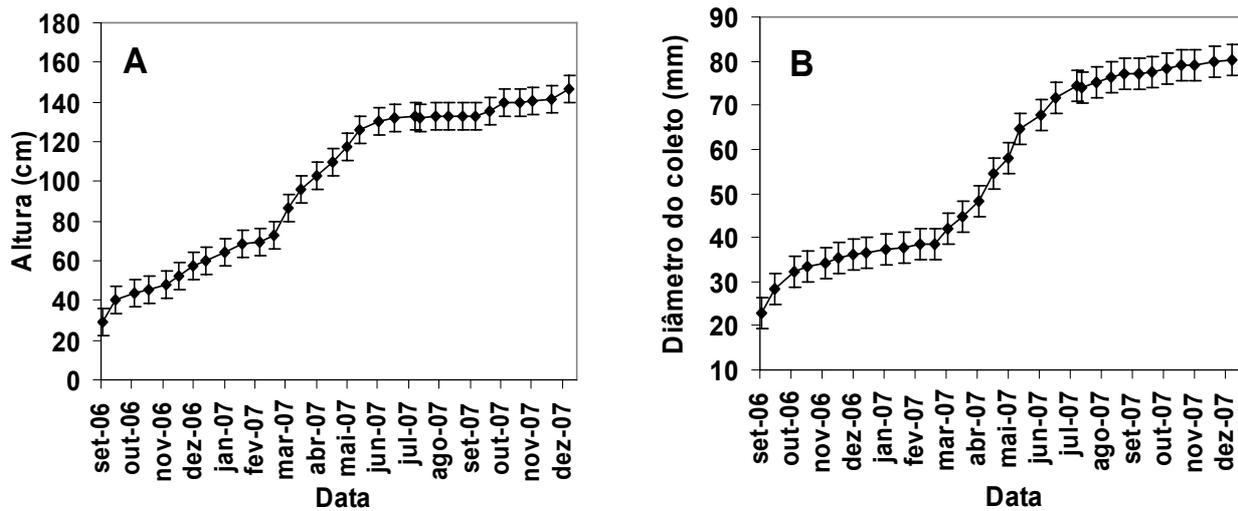


Figura 2: Altura (cm) e (B) Diâmetro do coleto (mm) de *Jatropha curcas* dos seis aos 21 meses de idade, no município de Rio Largo, AL, situado nas coordenadas geográficas 09° 27' 57,3" S e 35° 49' 57,4".

3.3 Fenologia

3.3.1 Emissão foliar e queda de folhas

O surgimento de novas folhas foi freqüentes durante o ano inteiro, sendo observado com mais intensidade no período chuvoso, maio a junho, quando ocorreu aceleração no brotamento de gemas e crescimento de folhas entre os meses de maio a junho (Figura 1A e 3), e com menos intensidade, durante os meses de outubro/2006 a abril/2007 e setembro/2007 a dezembro/2007 correspondentes a estação seca (Figura 3). O mesmo comportamento foi observado em outras espécies de *Jatropha*, como em *Jatropha cinerea* e *Jatropha cuneata* (Maya & Arriaga, 1996), *Jatropha gaumeri* (Sayer & Newbery, 2003), em que se observou o surgimento de novos brotos com o aumento da pluviosidade.

De acordo com Larcher (2004) os eventos fenológicos nas regiões dos trópicos com estação seca e chuvosa estão relacionados às alterações de disponibilidade hídrica, sendo a estação chuvosa representada como principal período de crescimento. No entanto, é interessante observar que a espécie diminui seu crescimento (Figura 2) e começa a perder folhas a partir dos meses de julho e agosto, no final da fase reprodutiva (Figura 3), mesmo com boa disponibilidade de água (Figura 1), sugerindo que outros fatores tais como temperatura e fotoperíodo possam estar influenciando seu crescimento, além da

disponibilidade de água como sugerem vários autores (Pedroni et al., 2002; Bianchini et al., 2006).

A abscisão foliar foi ausente no início do período chuvoso. No entanto, iniciou com o fim da fase reprodutiva nos meses de julho e agosto de 2007 (Figura 3) período de alta pluviosidade e temperaturas mais baixas, aumentando de intensidade com a diminuição da precipitação, chegando aos meses de setembro/2006 e 2007, com cerca de 70% de desfolhamento. Nessa ocasião, ocorreram índices pluviométricos menores (<90 mm) e temperaturas médias em torno de 23°C marcando o início da estação seca (Figura 1A e 1B), sugerindo a influência de outros fatores ambientais, além da disponibilidade de água, sobre a fenologia da espécie, conforme discutido anteriormente.

Durante o experimento a maioria das plantas permaneceu com um mínimo de folhas no início da estação seca, e uma minoria entrou em dormência vegetativa perdendo totalmente as folhas durante esse período. Henning (1999) diz que a dormência do pinhão-mansão é induzida pelas flutuações climáticas e temperatura/luminosidade, mas nem todas as plantas respondem a esse estímulo, podendo-se ter num cultivo, tanto ramos desfolhados, como outros cheios de folhas verdes.

A abscisão foliar continuou elevada em dezembro/2006, o que deve ter sido ocasionado pelas interferências dos fatores climáticos a exemplo da baixa pluviosidade acumulada no mês (10,1 mm) e umidade relativa (77%) que foram baixos naquele mês. Tal observação não foi constatada no mês de dezembro/2007, o qual apresentou surgimento de folhas novas, e ausência de abscisão foliar, sendo que, esse mesmo, mês apresentou maior índice de chuva acumulada (54,35 mm) que no ano anterior (Figura 1A e 3). A redução da precipitação e a maior insolação no período seco promovem a redução da umidade relativa do ar e, conseqüentemente, da disponibilidade de água no solo para as plantas, o que pode ocasionar a abscisão das folhas, resultante do déficit hídrico nas plantas (Bianchini et al., 2006). Em *Jatropha gaumeri*, o comportamento e as correlações verificadas entre fatores climáticos e a fenofase de queda foliar indicam que a precipitação é um importante fator na regulação da intensidade dessas fenofases (Sayer & Newbery, 2003).

De acordo a Sartunino et al. (2005), o pinhão-mansão apresenta comportamento decíduo, onde as folhas caem em parte ou totalmente no final da época seca ou durante a estação chuvosa. Segundo o mesmo autor, o pinhão-mansão permanece em repouso, até o começo da primavera, ou da época das chuvas nas regiões secas. Assim, as espécies podem ser classificadas como decíduas quando apresenta abscisão e produção de folhas concentradas em determinada época, ficando por um período de tempo quase ou totalmente sem folhas

(Santos & Takaki, 2005). Arruda et al. (2004) relatam que o pinhão-mansô é uma planta xerófito, tolerando bem o período de seca, calor ou frio, e sob condições extrema de seca, a planta perde as folhas para conservar a umidade em seus tecidos, o que resulta em paralisação do crescimento e passando a sobreviver à custa da água armazenada em seu caule.

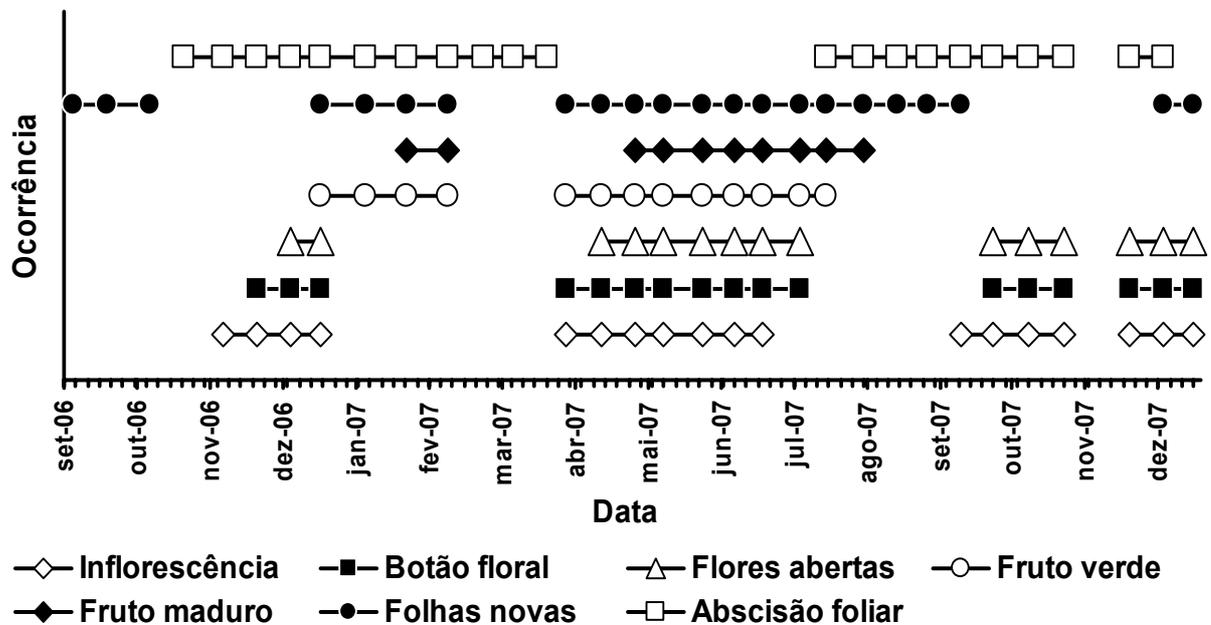


Figura 3: Fenograma de *Jatropha curcas* estudada no Município de Rio Largo-AL, situado nas coordenadas geográficas 09° 27' 57,3" S e 35° 49' 57,4" W.

3.3.2 Floração

O intervalo de 15 meses (setembro/2006 a dezembro/2007) escolhido para este estudo (duas estações secas e uma chuvosa) permitiu observar que todas as plantas apresentaram inflorescências e fase reprodutiva durante o período de estudo. O primeiro florescimento observado ocorreu ao longo do período da estação seca entre novembro-dezembro/2006, em indivíduos com apenas seis meses de idade, o que também foi verificado no ano seguinte entre novembro-dezembro/2007 (Figura 3) onde ambos apresentaram baixo índice de floração (Figura 4). Já a segunda floração, ocorreu durante o início das chuvas em abril-julho/2007. Observou-se nesse período uma floração mais intensa com o aumento da precipitação, principalmente, quando a pluviosidade chegou a 200 mm em junho e a temperatura média de 23°C (Figura 1A e 1B).

O principal período de inflorescência teve início em abril; apresentando um pico em junho/2007 (figura 3, 4A), durante o período chuvoso. Observou-se que a maioria das

inflorescências surgiram no período chuvoso (~ 7 inflorescências por planta) em relação ao período seco (~ 3 inflorescências por planta) (Figura 4A). Cada inflorescência teve a duração média de 50 dias (dados não mostrados).

O pico de floração (botões florais e flores abertas) ocorreu entre abril e junho, coincidindo com a estação chuvosa (Figura 4B e 4C). Santos et al. (2005) verificaram que as inflorescências de *Jathopha mutabilis* tinham duração média de 20 dias e em *J. mollissima* tinham duração média de 30 dias. Maya & Arriaga (1996) estudando a fenologia reprodutiva em *Jatropha cinerea* e *Jatropha cuneata*, encontraram que a floração foi significativamente sazonal concentrando durante a estação úmida e apresentando correlação significativa com a precipitação e temperatura.

O pinhão-mansô segue a arquitetura típica de diversas euforbiáceas, a primeira inflorescência é cimeira e assim que ela começa a crescer dois ramos ou módulos desenvolvem-se a partir da primeira inflorescência, a qual passa a ser axial (Saturnino, et al., 2005).

3.3.3 Frutificação

As plantas de pinhão-mansô apresentaram os primeiros frutos em meados de dezembro/2006, coincidindo com a estação seca (Figura 1A e 3) em plantas com apenas nove meses de idade, no entanto com produtividade bastante baixa (dados não mostrados). A segunda frutificação iniciou-se entre os meses de abril e maio/2007, tendo maior produção de frutos no meio do período chuvoso onde todos os indivíduos frutificaram, entre os meses de junho a julho, prolongando-se, até agosto de 2007 (Figura 3 e 4D), apresentando pico de frutificação em junho (Figura 4D).

Outras espécies da família Euphorbiaceae apresentam maior índice de frutificação durante a estação chuvosa. É o caso da *Alchornea sidifalia* que floresceu e frutificou durante praticamente o ano inteiro, com pico de frutificação no início da estação chuvosa o que favorece a germinação rápida, na época mais favorável para o estabelecimento das plântulas (Ferraz et al., 1999). Em *Ricinus communis* L, Souza et al. (2007) constataram um aumento na produtividade de grãos em mais de 100% no período chuvoso em relação ao período seco.

Na primeira frutificação, foi registrado a presença de frutos verdes em dezembro e o surgimento de frutos maduros entre janeiro-fevereiro/2007 (Figura 3). A segunda frutificação começou a ser observada em maio estendendo-se até julho do mesmo ano, com frutos maduros sendo observados a partir de julho até início de agosto (Figura 3). Pôde-se observar

ainda que a quantidade de frutos por indivíduo chegou em média a 45 frutos por planta no mês de junho/2007 com plantas de 15 meses de idade (Figura 4D).

Segundo Larcher (2004), o período de amadurecimento e o ponto de colheita dos frutos são, sobretudo, influenciados pelas condições do clima, que podem atrasar ou acelerar os processos de maturação e envelhecimento do fruto. De acordo com Arruda et al. (2004) o início da produção do pinhão-manso é por volta do décimo mês após o plantio, mas a produção só atinge a plenitude por volta do terceiro ou quarto ano, podendo chegar aos 40 anos de idade produzindo. No Brasil, sob as condições climáticas de Minas Gerais, a florada do pinhão-manso iniciou-se após o período da seca e os frutos puderam ser colhidos de fevereiro a abril, caso o terreno receba irrigação ou chuvas regulares o pinhão-manso pode produzir o ano todo, com colheitas mensais dos frutos (Drummond et al., 1984). Já Torres (2005) relata que indivíduos de pinhão-manso, normalmente apresentam floração entre maio a julho e frutificação entre julho a outubro em estudos realizados na Argentina.

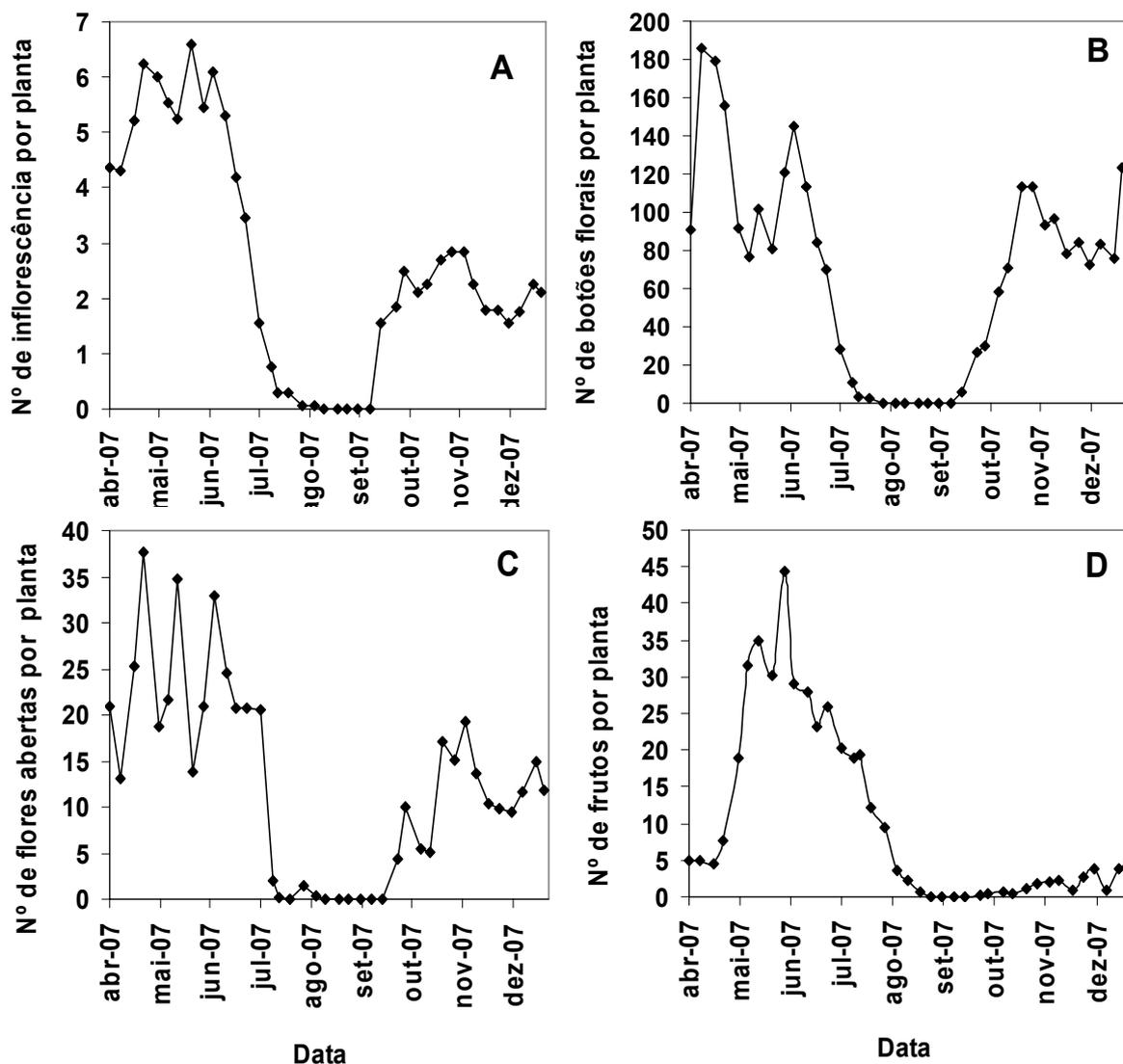


Figura 4: Número de inflorescências (A), Número de botões florais (B), Número de flores abertas (C) e Número de frutos (D) por indivíduos de *Jatropha curcas* produzidos no Município de Rio Largo-AL, durante o período de abril a dezembro de 2007.

3.4 Crescimento do fruto

Verificou-se que durante o período de formação do botão floral até a abertura destes (antese) levou em média 55 dias. O ciclo de desenvolvimento, compreendendo o crescimento, maturação e amadurecimento pleno e início aos sinais de senescência, foi em média de 65 dias a partir da antese (Figura 5). A fase de rápido crescimento do fruto iniciou entorno dos 10 dias após antese e seguiu até 35 dias onde o fruto apresentou diâmetro médio em torno de 30 mm, iniciando a fase estacionária, caracterizada por um crescimento lento, com um período de estabilização dos 35 até 45 dias, quando ocorreu o amadurecimento dos primeiros frutos

(Figura 5). Segundo Moura et al. (2003) o desenvolvimento dos frutos geralmente é dividido em três estágios maiores: crescimento, maturação, e senescência. O período de crescimento geralmente envolve divisão e alongamento celular, onde acontece o aumento físico do fruto.

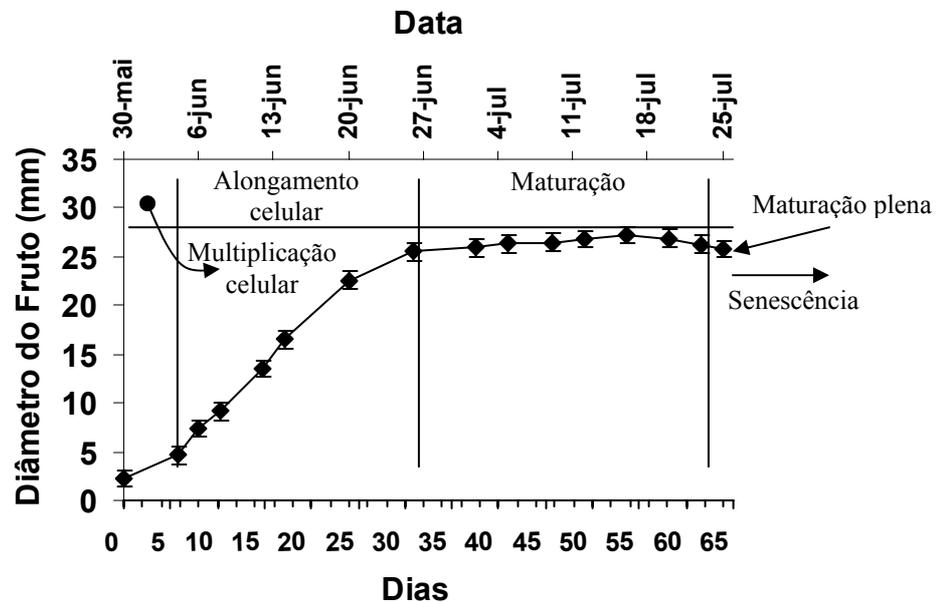


Figura 5: Seqüências de médias semanais de Diâmetro (mm) dos frutos de pinhão-mansão (período após a antese) até seu amadurecimento.

O ciclo completo de reprodução desde o surgimento da inflorescência até o amadurecimento pleno do fruto na planta teve duração média de 120 dias. A maturação dos frutos foi considerada completa quando as cápsulas apresentaram coloração marrom e preta, com fase de deiscência e o peso seco médio de 3g. Tais resultados corroboram com Nunes et al. (2008) que descrevem os frutos de pinhão-mansão maduros com epicarpo de coloração externa marrom-escuro, enquanto os frutos secos apresentam coloração preta e em fase de deiscência e suas sementes a coloração preta. Com Arruda et al. (2004) que relata que o fruto de pinhão-mansão como capsular ovóide com diâmetro de 1,5 a 3,0 cm. Ou mesmo com Sartunino et al. (2005) que relatam que os frutos apresentam diâmetro 2 a 2,5 cm e peso média 2,9g.

4 CONCLUSÕES

Os ritmos fenológicos no cultivo em campo de *Jatropha curcas* L. na Zona da Mata de Alagoas mostram-se sazonais, concentrando de forma mais intensa as suas atividades fenológicas na estação chuvosa.

A abscisão foliar inicia-se no final do período chuvoso e durante a época seca.

O surgimento de folhas novas ocorre ao longo de todo o ano com maior intensidade durante períodos chuvosos.

Apesar do pinhão-mansão florescer mais de uma vez ao ano verifica-se, maior intensidade na floração nos meses chuvosos.

A frutificação ocorre com maior intensidade entre os meses de junho a agosto, meses com maior precipitação.

O ciclo reprodutivo do fruto do pinhão-mansão do surgimento da inflorescência até o amadurecimento pleno do fruto na planta, corresponde ao período médio de 120 dias.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, F. P. et al. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curca* L.) como alternativo para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira Oleagenosas e Fibrosas**. v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.

AUGUSTUS, G. D. P. S.; JAYABALA, N. M.; SEILERB, G. J. Evaluation and bioinduction of energy components of *Jatropha curcas*. **Biomass and Bioenergy**, v. 23, p. 161-164, 2002.

BENCKE, C. S. C.; MORELLATO, P. L. C. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 3, p. 269-275, 2002.

BERGAMASCHI, H. **Temperatura x fotoperíodo sobre a fenologia das plantas**. UFRGS. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/agropfagrom>>. Acesso em: 22 janeiro 2008.

BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; SANTOS, F. A. M. Fenologia de *Chrysophyllum gonocarpum* (Mart. & Eichler) Engl.(Sapotaceae) em floresta semidecídua do Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n. 4, p. 595-602, 2006.

BIODIESELBR. **Pinhão manso, *Jatropha curcas*, uma planta de futuro**. Disponível no em: <<http://www.pinhaomanso.com.br>>. Acessado em: 12 janeiro 2008.

DRUMMOND, O. A. et al. **“Cultura do pinhão manso”**. Belo Horizonte: EPAMIG, 1984. 99 p.

EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais). Coletânea sobre pinhão-manso. 2003. Disponível em: <<http://www.epamig.br>> Acesso em: 06 março 2008.

FAGUNDES, M.; ARAÚJO, L. S. A. E NUNES, Y. R. F. Efeitos do Estágio Sucessional do Habitat na Fenologia do Pequiizeiro (*Caryocar brasiliense*: Caryocaraceae). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, n. 1, p. 144-146, 2007.

FERRAZ, D.K. et al. Fenologia de árvores em fragmento de mata em São Paulo, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, n. 2, p. 305-317, 1999.

FISCH, S. T. V.; NOGUEIRA JR, L. R.; MANTOVANI, W. Fenologia reprodutiva de *Euterpe edulis* mart. na Mata Atlântica (Reserva ecológica do Trábiju, Pindamonhangaba-SP). **Revista Biociência de Taubaté**, v. 6, n. 2, p. 31-37, 2000.

FOLGARAIT, P. J.; PATROCK, R. J. W.; GILBERT, L. E. The influence of ambient conditions and space on the phenological patterns of a Solenopsis phorid guild in an arid environment P.J. **Biological Control**, v. 42, p. 262–273, 2007.

HENNING, R.K. **The Jatropha System in Zambia** – Evaluation of the existing Jatropha activities and proposals for an implementation strategy in Southern Province of Zambia, 1999. Disponível em: <<http://www.jatropha.de/zimbabwe>>. Acesso em: 22 janeiro 2008.

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

MAYA, Y. E ARRIAGA, L. Litterfall and phenological patterns of the dominant overstorey species of a desert scrub community in north-western Mexico. **Journal of Arid Environments**, v. 34, p. 23-35, 1996.

MOURA, F. T. et al. Evolução do Crescimento e da Maturação de Frutos de Cajazeira (*Spondias mombin* L.) **Soc. Trop. Hort. Fruit/Frutales**. v. 47, p. 231-233, 2003.

NUNES, C. F. et al. Diferentes suplementos no cultivo in vitro de embriões de pinhão-mansô. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 43, n. 1, p. 9-14, 2008.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, v. 19, p. 1-15, 2000.

PEDRONI, F.; MARYLAND, S.; SANTOS, F. A. M. Fenologia da copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf. - Leguminosae, Caesalpinioideae) em uma floresta semidecídua no sudoeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 25, n. 2, p. 183-194, 2002.

RATREE, S. A. Preliminary study on physic nut *Jatropha curcas* in thailand. **Journal of Biological Sciences**, v. 7, n. 9, p. 1620-1623, 2004.

SANTOS, M. J.; MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Biologia reprodutiva de duas espécies de *Jatropha* L. (Euphorbiaceae) em Caatinga, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, n. 2, p. 361-373, 2005.

SANTOS, D. L.; TAKAKI, M. Fenologia de *Cedrela fissilis* Vell. (Meliaceae) na região rural de Itirapina, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 3, p. 625-632, 2005.

SATURNINO, H.M. et al. Cultura do Pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, v. 26, n. 229, p. 44-78, 2005.

SAYER, E.J.; NEWBERY, D.M. The role of tree size in the leafing phenology of a seasonally dry tropical forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 19, p. 539-548, 2003.

SEVERINO, L.S. et al. **Viagem á Índia para Prospecção de Tecnologias sobre Mamona e Pinhão Mansô**. Campina Grande: Embrapa do algodão. Documento 153, 2006. 56 p.

SOUZA, J. L.; NICÁCIO, R. M.; MOURA, A. L. Global solar radiation measurements in Maceió, Brazil. **Renewable Energy**, v. 30, p. 1203-1220, 2005.

SOUZA, A. S. et al. Épocas de plantio e manejo da irrigação para a mamoneira. II–crescimento e produtividade. **Revista de Ciências Agrônômica**, v. 38, n. 4, p. 422-429, 2007.

TORRES, C. 2005. **Ficha técnica de la Jatropha curcas**. Cultivos Energéticos. Disponível em: <<http://www.elsitioagricola.com/articulos/JatrophaCurcas>>. Acesso em: 26 fevereiro 2008.

CAPÍTULO 2

**VARIAÇÃO SAZONAL DA FOTOSÍNTESE, CONDUTÂNCIA
ESTOMÁTICA E EFICIÊNCIA QUÂNTICA DO FOTOSISTEMA II DE
Jatropha curcas L. CULTIVADO SOB CONDIÇÕES DE CAMPO, EM
REGIÃO SEMI-ÚMIDA E SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE, BRASIL**

SANTOS, C. M. Universidade Federal de Alagoas, abril de 2008. **Varição sazonal da fotossíntese, condutância estomática e eficiência quântica do fotossistema II em *Jatropha curcas* L. cultivada sob condições de campo, em região semi-úmida e semi-árida do Nordeste, Brasil.** Orientador: Prof. Dr. Laurício Endres.

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de comparar as trocas gasosas foliares e eficiência fotoquímica do *Jatropha curcas* L. (pinhão-mansão) em duas regiões com climas distintos, Agreste (clima do tipo tropical semi-árido) e Zona da Mata (clima tropical semi-úmido) do estado de Alagoas. As medidas de trocas gasosas e eficiência fotoquímica foram realizadas em duas épocas, sendo uma considerada época seca (setembro a fevereiro) e a outra época chuvosa (abril e agosto) entre o ano de 2006 e 2007. Foram avaliados os seguintes parâmetros taxa de fotossíntese, transpiração, condutância estomática, concentração de CO₂ intracelular, temperatura da folha, eficiência do uso da água (A/E) e a eficiência intrínseca no uso da água (A/g), déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar, clorofila rendimento quântico máximo e efetivo do fotossistema II. As plantas de pinhão-mansão apresentaram melhor desempenho na capacidade fotossintética com menores quedas na taxa de fotossíntese, condutância estomática e transpiração na época seca, mas com boas condições de disponibilidade hídrica do solo, na região de Rio Largo (semi-úmida). O maior déficit de pressão de vapor do ar (época seca) foi o principal fator responsável pelo fechamento estomático no pinhão-mansão, o que contribuiu para a redução nos valores da taxa fotossintética líquida. Na época seca, por volta do meio-dia, ocorre a fotoinibição dinâmica com uma rápida recuperação durante a tarde em folhas de pinhão-mansão. No entanto, na região semi-árida, com déficit hídrico severo pode haver fotoinibição crônica.

Palavras-chave: Pinhão-mansão, fotossíntese, trocas gasosas, fluorescência, biodiesel.

SANTOS, C. M. Federal University of Alagoas, April 2008. **Sazonal variation of the Photosynthesis, Condutância Estomática and Quantum Efficiency of the Photosystem II of *Jatropha curcas* L. cultivated in field conditions, in the semi-humid and semi-arid Northeast region, Brazil.** Oriented by: Prof. and Dr. Laurício Endres.

ABSTRACT

This work was developed with the objective of comparing the leaf gaseous changes and fotochemistry efficiency of the *Jatropha curcas* L. (physic nut) in two regions with different climates, Agreste (semi-arid tropical climate) and Zona da Mata (semi-humid tropical climate) from the state of Alagoas. The measures of gaseous changes and fotochemistry efficiency were done in two times, one being considered dry season (September to February) and the other rainy season (April and August) between 2006 and 2007. The following parameters were evaluated: photosynthesis rate, respiration, stomata conductance, intracellular CO₂ concentration, the leaf temperature, the efficiency of water use (A/E) and the intrinsic water use efficiency (A/g_s), vapor pressure deficit between the leaf and the air, maximum chlorophyll and effective quantum yield of the photosystem II. The Physic nut plants presented smaller falls in the photosynthesis rate, stomata conductance and transpiration during the drought. The highest vapour pressure deficit of the air (in dry season) was the main factor responsible for the stomatic closing in the Physic nut, which contributed to the reduction in the values of the photosynthesis rate. Around noontime during the dry season, the dynamic photoinhibition happens with a fast recuperation during the afternoon in Physic nut leaves. Therefore, in the semi-arid region, with severe water deficit, there can be chronic photoinhibition.

Key words: physic nut, photosynthesis, gas exchange, fluorescence, bio-diesel.

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Jatropha* possui 175 espécies distribuídas pela América Tropical, Ásia e África (Henning 1999; Augustus et al., 2002). A espécie *Jatropha curcas* L. (pinhão-mansão), pertencente à família Euforbiaceae, é um arbusto grande que pode atingir dois a três metros de altura (Arruda, et al., 2004). Trata-se de uma espécie de grande valor econômico, sendo usada em indústrias farmacêuticas e cosméticas, mas o seu maior interesse econômico encontra-se nas sementes, usadas como matéria-prima na produção de óleo para a obtenção do biodiesel (Openshaw, 2000; Augusto et al., 2002). É uma espécie altamente promissora como fonte energética renovável sob o ponto de vista econômico e social.

Em diversos países da África, Ásia e América Latina o pinhão-mansão é cultivado em região árida e semi-árida, desenvolvendo-se de acordo as condições climáticas dessas localidades (Henning, 1999; Forson et al., 2004). Essa espécie cresce bem com chuvas anuais acima de 600 mm, sendo tolerante a longos períodos de estiagem (Henning, 1999). Segundo Severino (2006), o pinhão-mansão desenvolve-se sob diversas condições climáticas, desde regiões tropicais muito secas às úmidas, tolerando precipitações pluviométricas entre 600 e 1.500 mm ano⁻¹.

No Brasil, o pinhão-mansão ocorre desde o Nordeste até São Paulo e Paraná (Peixoto, 1973), desenvolvendo-se, sobretudo nos estados do Nordeste, onde está sendo considerada uma opção agrícola por ser uma espécie nativa, exigente em insolação e com forte resistência à seca (Arruda et al, 2004). O Nordeste brasileiro apresenta características climáticas bastante diferenciadas das demais regiões do país. O semi-árido nordestino é caracterizado pelo balanço hídrico negativo, com precipitações médias anuais inferiores a 800 mm, insolação média de 2800 h ano⁻¹ e temperaturas médias anuais de 23⁰C a 27⁰C, tendo, assim, poucas opções agrícolas rentáveis, que sustentem os produtores nas áreas rurais (SUDENE, 2007).

Em se tratado de uma espécie agrícola, deve-se lembrar que o comportamento vegetativo das plantas cultivadas é altamente dependente de fatores climáticos, como temperatura, pluviosidade, umidade do solo e radiação solar (Larcher, 2004). Vários desses fatores podem afetar a atividade fotossintética e conseqüentemente a produtividade nos

vegetais. Além disso, os fatores ambientais, tais como intensidade e qualidade de luz, temperatura, umidade relativa e concentração intracelular de CO₂, são percebidos pelas células-guardas e esses sinais são integrados em respostas estomáticas bem definidas (Taiz & Zeiger, 2006).

Os estômatos controlam a difusão de CO₂ para o interior das folhas e a difusão de vapor de água para fora das folhas no processo da transpiração. Assim, uma regulação eficaz da abertura estomática é fundamental para que as plantas possam ter um bom desenvolvimento (Costa, 2001).

A variação sazonal da taxa de fotossíntese e da condutância dos estomática em espécies arbóreas, nas regiões tropicais, relacionada com as condições de DPV (déficit pressão de vapor), temperatura do ar e radiação, foi relatada por vários autores (Oren et al., 2000; Machado et al., 2005; Machado Filho et al., 2006; Tatagiba et al., 2007).

Além disso, quando as plantas são expostas a estresse ambiental ou biótico, alterações no estado funcional das membranas dos tilacóides dos cloroplastos provocam mudanças nas características dos sinais de fluorescência, os quais podem ser quantificados nas folhas fornecendo subsídios para estimar a inibição ou o dano no processo de transferência de elétrons do fotossistema II (Baker & Rosenqvist, 2004).

A intensidade da fotoinibição pode ser avaliada pela redução na eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m) e da eficiência quântica efetiva do fotossistema II ($\Phi_{PS II}$). A razão F_v/F_m reflete a máxima eficiência com que a luz absorvida pelo complexo antena do fotossistema II é convertida em energia química. Já a eficiência quântica efetiva indica qual a proporção de luz que foi absorvida pelas clorofilas associadas ao fotossistema II utilizada na fotoquímica, como tal, informa a quantidade de elétrons transportado sendo um indicativo da intensidade de fotossíntese (Baker & Rosenqvist, 2004). Esses parâmetros são usadas como indicador de estresse, quando fatores bióticos ou abióticos alteram a funcionalidade do fotossistema II (Dias & Marengo, 2007).

Outras variáveis são usadas como sinais da fluorescência da clorofila *a*: a fluorescência inicial (F_0), que representa a fluorescência com todos os centros de reações “abertos” e refere-se à emissão de fluorescência pelas moléculas de clorofila *a* do complexo coletor de luz do fotossistema II; a fluorescência máxima (F_m), que indica a completa redução da quinona A (QA) a partir da incidência de um pulso de luz no centro de reação QA, gerando fluorescência máxima (Maxwell & Johnson, 2000).

A fluorescência da clorofila *a* tem sido utilizada para avaliar o desempenho fotossintético por ser um método que, além de não destrutivo, permite análise qualitativa e

quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa através do fotossistema II e possíveis relações com a capacidade fotossintética (Netto et al., 2005). Estudos realizados em diferentes espécies mostram o uso de parâmetros da cinética de emissão de fluorescência sendo utilizado para detectar danos causados por diferentes tipos de estresses (Torres Netto et al., 2002; Kocheva et al., 2004; Konrad et al., 2005; Zandrea et al., 2006; Liang et al., 2007; Tatagiba e Pezzopane, 2007; Trovão et al., 2007).

A fotossíntese tem recebido especial atenção nos estudos que visam à seleção de espécies e/ou variedades adaptadas ao ambientes adversos, por ser a principal fonte de carbono orgânico e de energia para o crescimento e produção de biomassa das plantas, juntamente com as determinações da eficiência fotoquímica, das trocas gasosas, do status hídrico e das taxas de crescimento (Pankovic et al., 1999; Kocheva et al., 2004). O conhecimento das respostas das plantas à variação das condições do ambiente possibilita que se maneje o ambiente visando condições mais propícias para que os mecanismos fisiológicos ocorram com máxima eficiência (Machado et al., 2005).

Entretanto, pouco se conhece sobre o processo fotossintético e como os fatores do ambiente como água, temperatura e luz afetam o pinhão-mansão. Estudos desta natureza, porém, são fundamentais para compreender os processos adaptativos dessa espécie, além de fornecer informações avançadas sobre alguns processos fisiológicos para serem usados em futuros programas de melhoramento genético e para o zoneamento agrícola da espécie. Para tanto, o presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de comparar as trocas gasosas foliares da eficiência fotoquímica do processo fotossintético do pinhão-mansão em duas regiões com climas distintos, Agreste e Zona da Mata de Alagoas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento

Os estudos com indivíduos de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) foram conduzidos em duas regiões distintas do Estado de Alagoas. No Centro de Ciências Agrárias da UFAL (Universidade Federal de Alagoas), Município de Rio Largo, Zona da Mata alagoana, situado nas coordenadas geográficas 09° 27' S e 35° 49' W, altitude média de 127 m. E no campo experimental da SEAGRI (Secretaria de Agricultura do Estado de Alagoas) localizado no município de Igaci, no Agreste alagoano (09°33' S e 36°38' W, altitude 240 m).

A região de Rio Largo se caracteriza por ter um clima quente e semi-úmido com uma estação chuvosa entre abril e agosto e estação seca de setembro a fevereiro, primavera-verão, com pluviosidade média em torno de 1818 mm.ano⁻¹, sendo junho o mês mais chuvoso 294 mm e dezembro o mais seco 41 mm (Souza et al., 2005). Já a região de Igaci tem o clima do tipo tropical semi-árido e se caracteriza por ter uma estação chuvosa bem definida nos meses de abril a agosto e um período seco durante setembro a fevereiro, possui pluviosidade média em torno de 740,51 mm, sendo maio o mês mais chuvoso 127,3 mm e novembro o mais seco 11,2 mm (AGRITEMPO, 2006) (Figura 1).

As plantas foram cultivadas no espaçamento 3x2, apresentando idade inicial de sete meses e foram acompanhadas até 21 meses, entre o período de outubro/2006 a dezembro/2007.

Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, no esquema fatorial 2 x 5, sendo dois locais e 5 épocas diferentes para os dados de fluorescência da clorofila *a* e SPAD e esquema fatorial 2 x 4 na épocas (estação seca) para variação diária das trocas gasosas. Foram utilizadas 10 repetições, sendo considerada como unidade experimental uma planta.

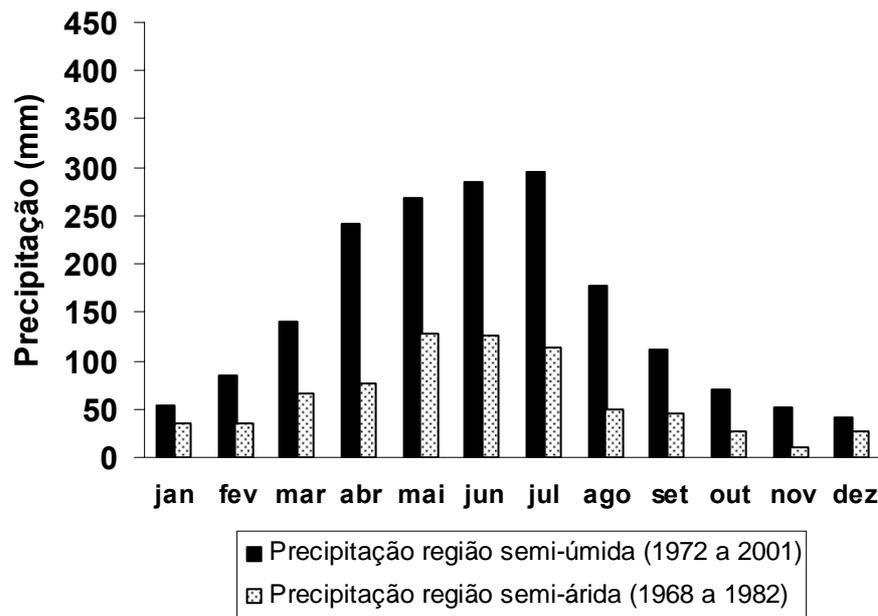


Figura 1: Série de médias históricas de precipitação pluviométrica para região semi-úmida (município de Rio Largo) série de 29 anos (dados fornecidos pela Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas) e região semi-árida (município de Igaci) série de 14 anos (Dados retirados da estação Arapiraca DNOS, limitando-se ao norte do município de Igaci, fonte Agritempo, 2006).

2.2 Medidas de trocas gasosas

As medições de trocas gasosas foram realizadas com um analisador portátil de CO₂ a infravermelho (IRGA), ADC, modelo Lci, (Hoddesdon, UK) com fonte de luz de 1123 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Foram avaliadas as seguintes variáveis: taxa de fotossíntese (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), concentração de CO₂ intracelular (C_i), temperatura da folha (T_f), a temperatura da câmara (T_c) e umidade relativa do ar na câmara (UR). A concentração de CO₂ dentro da câmara, a umidade do ar e a temperatura oscilaram conforme as condições do ambiente. Através dos valores de A, E e gs, foram calculadas respectivamente a eficiência do uso da água (A/E) e a eficiência intrínseca no uso da água (A/g_s).

O déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar $DPV_{(folha-ar)}$, ao longo do dia foi obtido calculando-se a diferença entre as pressões de saturação (e_s) e real (e) do ar conforme FAO (1991), utilizando-se medidas de temperatura da folha (T_f), e umidade relativa do ar na câmara (UR). Assim, $DPV_{(folha-ar)} = (e_s - e)$ em KPa

$$DPV_{(folha-ar)} = e_s - e = \left[0,6108 \exp\left(\frac{17,27T}{237,3 + T}\right) \right] - \left(\frac{e_s - UR}{100}\right)$$

2.3 Análise da Fluorescência da clorofila *a*

As medições de fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m) e eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m), foram determinadas após adaptar as folhas ao escuro, por 20 minutos por meio de pinças foliares, utilizando-se um medidor de fluorescência modulada 051-FL (OPTI-SCIENCES). As leituras foram realizadas com pulsos de luz saturantes de 1s, para promover o fechamento dos centros de reação do PSII, de acordo com o método descrito por Maxwell & Johnson (2000). Para quantificação da eficiência quântica efetiva do FSII ($\Phi_{PS II}$) foi utilizada uma haste de medida (leaf clip holder) que permitia a fixação do ângulo e distância entre a fibra óptica e o tecido foliar (Schreiber et al., 1994). Realizando-se três medições por folha.

Tanto as avaliações de trocas gasosas quanto a fluorescência da clorofila *a* foram realizadas no terceiro par de folhas a partir do ápice, em folhas totalmente expandidas, medindo-se uma folha por planta. Essas avaliações foram feitas entre 6:00 às 16:00 h em intervalos de aproximadamente 2 horas. Com exceção da eficiência quântica efetiva do FSII ($\Phi_{PS II}$), mensuradas apenas no horário de 12:00 h.

O teor de clorofila, que foram estimados por um aparelho portátil, SPAD-502 (Minolta, Japão) nas mesmas folhas que foram feitas as medidas de trocas gasosas e parâmetro de fluorescência, com oito leituras na mesma folha. Também se escolheu 14 folhas aleatoriamente para fazer leituras do teor de clorofila na planta.

As avaliações diárias foram registradas em datas distintas na estação quente e chuvosa, em 13/10/2006, 11/12/2006, 25/07/2007, 03/10/2007 e 18/12/2007 para o Município de Rio Largo e em 02/11/2006, 15/12/2006, 03/07/2007, 25/09/2007 e 19/12/2007 para o Município de Igaci, sendo realizadas medições de trocas gasosas apenas na estação seca e os demais parâmetros nas duas estações. Em cada época, foram escolhidas dez a 14 plantas para fazer as análises fisiológicas.

2.4 Análise dos dados

Os dados experimentais de $\Phi_{PS II}$ e SPAD foram submetidos à análise de variância (teste F) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foi utilizada a correlação de Pearson (r) (Brussab & Morettin, 1986) para verificar a relação entre as variáveis de trocas gasosas e entre os valores SPAD, fotossíntese e fluorescência da clorofila *a* do período de estudo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização climatológica

A partir dos dados climáticos (Figura 2), pode-se verificar que os dois locais onde foram conduzidos os experimentos, na região do município de Rio Largo (semi-úmida) e município de Igaci (semi-árida), apresentam duas estações uma seca e uma chuvosa durante o período de janeiro de 2006 a dezembro de 2007. Os meses de outubro a janeiro corresponderam aos meses mais quentes (estação seca) e de abril a agosto, aos mais úmidos (estação chuvosa).

Considerando apenas o período do experimento de outubro/2006 a dezembro/2007 (Figura 2), verificou-se a precipitação total de 1651,76 mm para região semi-úmida, sendo agosto/2007 o mês mais chuvoso (230,63 mm) e dezembro/2006 o mais seco (10,92 mm). Já para região semi-árida, a precipitação total foi de 1154,5 mm, sendo maio o mês mais chuvoso (187,6 mm) e dezembro/2006 o mais seco (2,4 mm).

A temperatura durante o experimento entre as duas regiões não variou muito, sendo considerado, para a região semi-úmida, o mês mais quente foi fevereiro/2007 com temperatura média de 26,6°C e o mês mais frio foi agosto/2007 com temperatura média de 22,1 °C. Já para a região semi-árida, o mês mais quente foi outubro/2006 com temperatura média de 27,65°C e o mês mais frio foi junho/2007 com temperatura média de 22,35 °C (Figura 2).

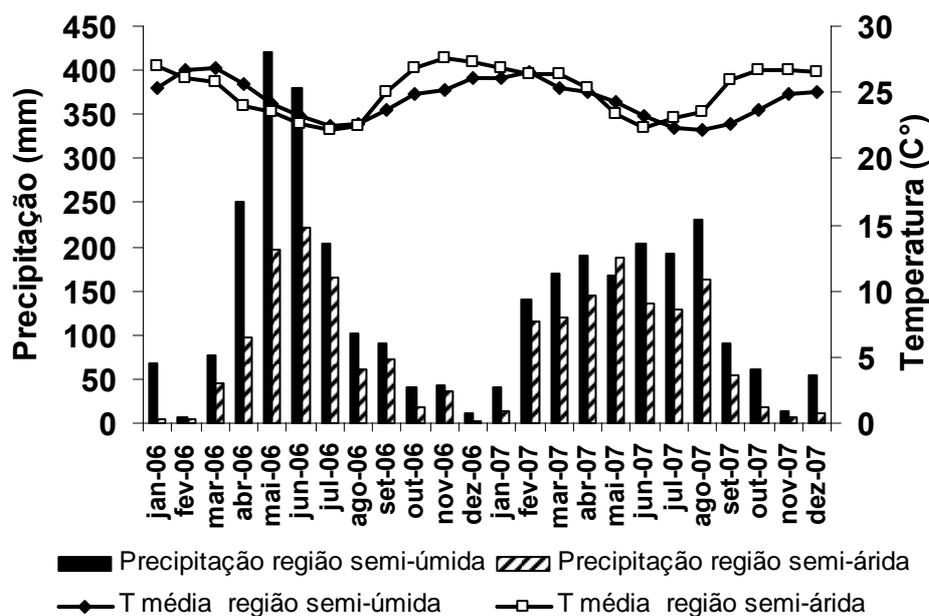


Figura 2: Distribuição de precipitação e temperatura média durante o período de estudo, Janeiro/2006 a Dezembro /2007 para a região semi-úmida, Rio Largo-AL (Fonte: Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas) e para região semi-árida, Igaci-AL (Fonte: CPTEC, 2008).

Na região semi-árida a época seca foi mais acentuada do que na semi-úmida, em virtude da baixa precipitação pluvial na região, ocorrendo deficiência hídrica do solo a partir do mês de setembro e se estendendo até fevereiro. Já na região semi-úmida, devido ao maior índice de chuvas no decorrer do ano, houve maior disponibilidade hídrica do solo (Figura 2 e 3), o que contribuiu para uma melhor adaptação da cultura nessa região.

Durante os meses da estação seca, verificou-se maior evaporação real no mês de outubro/2006 (4,24 mm) para região semi-úmida e em setembro/2006 (3,2 mm) para a região semi-árida (Figura 3A). Já os menores valores de evaporação real para a região semi-úmida foi no mês de fevereiro/2007 (1,04 mm) e na região semi-árida no mês de janeiro/2007 (0,4 mm). Em ambos os períodos ocorreram menor volume de chuva e baixo armazenamento de água no solo (Figura 3A e 3B).

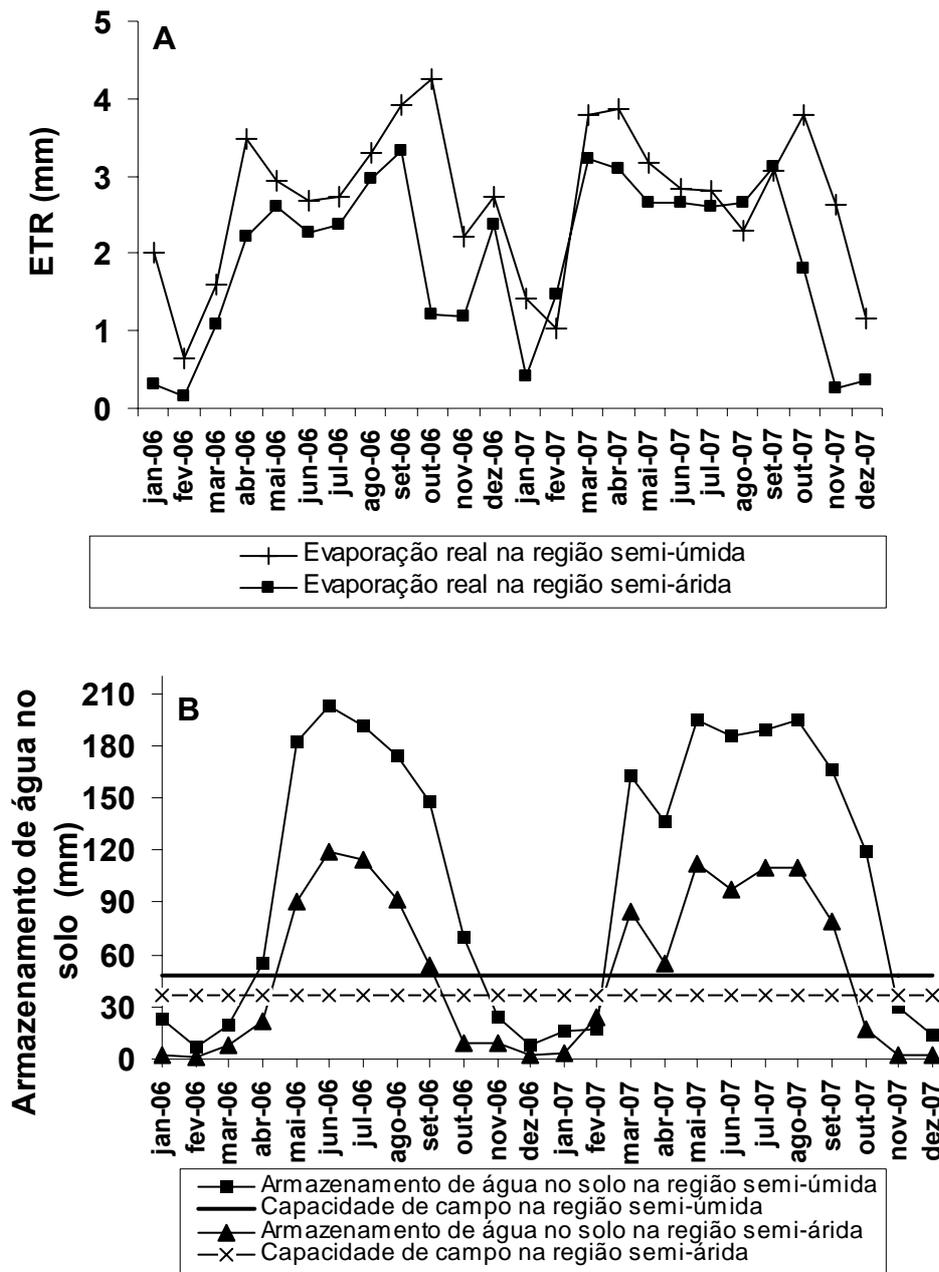


Figura 3: Evaporação real (A). Armazenamento de água no solo e capacidade de campo (B). Região semi-úmida, município de Rio Largo, ($09^{\circ} 27' S$ e $35^{\circ} 49' W$, altitude média de 127 m); região semi-árida, município de Igaci ($09^{\circ}33' S$ e $36^{\circ}38' W$, altitude 240 m). Estado de Alagoas, no período de janeiro de 2006 a dezembro de 2007 (Fonte: CPTEC, 2008).

3.2 Variação diurna das trocas gasosas

As diferenças de trocas gasosas do pinhão-mansão cultivado na região semi-úmida e semi-árida (Figura 4) refletiram as variações das condições climáticas do ambiente dos locais (Figuras 2 e 3).

O déficit de pressão de vapor foi maior no período de menor precipitação e maior temperatura, apresentando valores máximos de 5 KPa e mínimo de 1 KPa dentre as duas regiões (Figura 4A e 4B). O aumento do $DPV_{(folha-ar)}$ entre os horários 12:00 a 14:00 favoreceu a redução dos valores das trocas gasosas na maioria dos dias (Figura 4) a qual foi mais acentuada na região semi-árida, refletindo a baixa umidade do solo. Por outro lado, o $DPV_{(folha-ar)}$ abaixo de 2,0 KPa favorece as trocas gasosas, com maiores valores de condutância estomática, transpiração e fotossíntese, ao longo do dia, como, por exemplo, no dia 03/10/2007 na região semi-úmida.

Quando analisado o coeficiente de correlação de Pearson entre todos os dados, observou-se uma correlação negativa entre $DPV_{(folha-ar)}$ e condutância estomática ($r = -0,32$) e fotossíntese ($r = -0,45$, Tabela 1) e somente houve correlação entre $DPV_{(folha-ar)}$ e transpiração ($r = 0,67$) quando a condutância estomática estava acima de $0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Tabela 2). Os valores de condutância estomática oscilaram na faixa de $0,05$ a $0,6 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para a região semi-úmida e entre $0,01$ a $0,35 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para a região semi-árida.

Os menores valores de condutância estomática foram encontrados no período da tarde no horário entre 12 a 14:00 h coincidindo com os horários de maior $DPV_{(folha-ar)}$ (Figura 4A, 4B, 4C e 4D). Comportamento semelhante foi encontrado por Tatagiba et al. (2007) em clones de *Eucalyptus* e por Endres (2007) em pinheira (*Annona squamosa* L.), os quais, em estudos realizados durante a estação seca, verificaram que o aumento do déficit pressão de vapor no início da tarde, favoreceu a redução dos valores de condutância estomática nessas espécies.

Vários autores encontraram correlações significativas entre essas variáveis fisiológicas em diversas espécies. Oren et al. (2000) estudando pinheiro-calvo (*Taxodium distichum* L.) e Mielke et al. (2003) em genipapo, *Genipa americana* L., constataram correlação forte entre $DPV \times g_s$, usando para descrever que a condutância estomática diminuía com o aumento do DPV .

A taxa mais baixa de condutância estomática ao longo do dia foi verificada em 11/12/2006 (região semi-úmida) e 15/12/2006 (região semi-árida) (Figura 4C e 4D), apresentando valores próximos de zero. Esse período foi considerado o mais seco em ambos

os locais quando comparado com as demais épocas de estudo (Figura 2 e 3B), tendo elevado $DPV_{(folha-ar)}$ a baixa disponibilidade hídrica no solo (Figura 2, 3B, 4C e 4D). Tais evidências devem ser indicativo que a planta estava sob deficiência hídrica moderada a severa nesse período. Segundo Kerbauy, (2004) em situação de estresse hídrico moderado as plantas mantêm os estômatos fechados para reservar certo turgor, o que é uma importante característica de tolerância á seca.

A transpiração de modo geral apresentou maiores valores no período da manhã, com valores máximos de até $8,0 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para região semi-úmida e até $4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para região semi-árida (Figura 4E e 4F). Entre as duas regiões estudadas, na região semi-úmida, a transpiração foi extremamente baixa ao longo do dia somente em 11/12/2006, enquanto que na região semi-árida, ao contrário, somente em 25/09/2007 apresentou transpiração maiores de $1,0 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figuras 4E e 4F).

A transpiração nas folhas de pinhão-mansão apresentou correlação positiva com condutância estomática ($r= 0,35$), e não apresentou correlação com o $DPV_{(folha-ar)}$ (Tabela 1) quando correlacionado todos os dados. Com condutância estomática acima de $0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, condutância estomática passou a ter menor efeito sobre transpiração ($r= 0,17$) do que o $DPV_{(folha-ar)}$ ($r= 0,67$, Tabela 2). Estes dados estão de acordo com os anteriores apresentados para mamoeiro *Carica papaya* L. (Machado Filho et al., 2006) e para andiroba, *Carapa guianensis* Aubl. (Costa et al., 2007).

Verificou-se que $T_f - T_c$ apresentou uma correlação inversa com a $DPV_{(folha-ar)}$ ($r=-0,18$) e condutância estomática ($-0,19$) e mais intensa com transpiração ($r= -0,49$, Tabela 1), o que propõem que o aumento $DPV_{(folha-ar)}$ induziu ao aumento da transpiração, provocando o resfriamento da folha devido ao alto calor latente de vaporização da água, como sugere Bergonci, et al.(1999) e Nogueira, et al. (2001). Segundo Angeloci (2002), uma folha exposta à intensa irradiação solar sofre elevada carga térmica que pode causar o aumento da temperatura foliar à níveis intolerantes, sendo as trocas gasosas participantes na regulação térmica de sua temperatura de maneira a deixá-la dentro da faixa de valores adequados aos processos fisiológicos das plantas.

As taxas de fotossíntese foram maiores no período da manhã, apresentando assimilações de CO_2 entre 8 a $20 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para a região semi-úmida e 5 a $15 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para a região semi-árido (Figura 4G e 4H). Em ambos os locais, a fotossíntese tende a diminuir ao longo do dia e pode estar relacionada com diminuição da condutância estomática (Figura 4A, 4B, 4G e 4H).

A fotossíntese apresentou correlação positiva com a condutância estomática ($r= 0,32$) e inversa com $DPV_{(folha-ar)}$ ($r = -0,45$, Tabela 1) o que sugere, provavelmente, que a queda da fotossíntese está sendo influenciada pelo aumento do $DPV_{(folha-ar)}$ e fechamento dos estômatos. Essa correlação pode ser visualizada nos dias 03/10/2007 e 18/12/2007 (região semi-úmida) e 25/09/2007 e 19/12/2007 (região semi-árida), quando houve valores máximos de fotossíntese nos horários de maiores condutância estomática e menor $DPV_{(folha-ar)}$ (Figura 4). Já nos dias 11/12/2006 (região semi-úmida) e 15/12/2006 (região semi-árida) onde a planta encontrava-se sob estresse, a absorção de CO_2 na planta ao longo do dia foi muito baixa devido ao fechamento dos estômatos nesse período.

Em estudos realizados no campo com cafeeiro, *Coffea arabica* L., (Oliveira et al., 2006) e mogno, *Swietenia macrophylla*, (Dias & Marengo, 2007) os autores também verificaram que em condições de DPV elevado, ocorreu redução na fotossíntese, provavelmente pelo efeito do DPV no fechamento estomático, o que levou à diminuição do carbono interno. Do mesmo modo, Machado et al. (2005) em folhas de citrus e Erismann et al. (2006) em amendoim rasteiro, *Arachis hypogaea* L., observaram a queda da fotossíntese no período da tarde quando as temperaturas foliares e as diferenças de pressão de vapor entre a folha e o ar foram elevadas tendo efeito significativo na condutância estomática.

A eficiência do uso da água (A/E) tem uma forte influência negativa do $DPV_{(folha-ar)}$ ($r = -0,55$), isso se deve à influência do $DPV_{(folha-ar)}$ sobre a transpiração ($r = 0,67$) quando os estômatos tem condutância acima de $0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Tabela 2). Enquanto que a eficiência intrínseca do uso da água (A/gs) não é influenciada pelo $DPV_{(folha-ar)}$ ($r = 0,03$). Vários autores verificaram, em diferentes espécies, que a redução em gs causou elevação na eficiência intrínseca no uso da água (Passos et al., 2005; Yu et al., 2005; Machado Filho et al., 2006), já outros autores constataram que quando a transpiração aumenta a relação A/E diminui (Tatagiba et al., 2007; Endres, 2007).

A correlação negativa entre concentração interna de CO_2 (Ci) e fotossíntese ($r = -0,34$, Tabela 1) sugere que Ci não foi limitante para a fotossíntese. Autores falando sobre Ci relatam que o decréscimo de Ci pode acarretar queda da fotossíntese, tendo a condutância estomática como fator limitante, ocorrendo tal situação principalmente durante a estação seca em diferentes espécies C_3 (Aragão et al., 2005; Miranda et al., 2005; Machado et al., 2005).

Tabela 1: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis de trocas gasosas (correlações representando todos os dados), em plantas jovens de pinhão-manso (*Jatropha curcas*.L.) em condições de campo.

Variável	E	gs	A	Ci	A/E	A/gs	Tf-Tc
$DPV_{(folha-ar)}$	0,02	-0,32**	-0,45**	-0,01	-0,55**	0,03	-0,18*
E		0,35**	0,55**	-0,06	0,01	-0,60	-0,49**
gs			0,32**	0,19*	0,10	-0,14*	-0,19**
A				-0,34**	0,70**	0,22**	-0,25**
Ci					-0,55**	-0,88**	-0,03
A/E						0,56**	0,02
A/gs							0,08

*Probabilidade $P < 0,05$, ** Probabilidade $P < 0,01$.

$DPV_{(folha-ar)}$ - Déficit de pressão de vapor, gs - condutância estomática, E - transpiração, A - fotossíntese, Ci - concentração interna de CO_2 , A/E - eficiência do uso da água, A/gs - eficiência intrínseca no uso da água e Tf-Tc - temperatura da folha - a temperatura da câmara.

Tabela 2: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis de trocas gasosas (correlações baseadas em dados com $gs \geq 0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), em plantas jovens de pinhão-mansão (*Jatropha curcas*.L.) em condições de campo.

Variável	E	gs	A	Ci	A/E	A/gs	Tf-Tc
DPV _(folha-ar)	0,67**	-0,24**	-0,22*	-0,28**	-0,56**	0,24*	-0,56**
E		0,17*	0,13	0,01	-0,48**	-0,10	-0,40**
gs			0,15*	0,47**	-0,01	-0,37**	-0,09
A				-0,44**	0,71**	0,42**	-0,02
Ci					-0,37**	-0,91**	-0,02
A/E						0,42**	0,17*
A/gs							-0,02

*Probabilidade $P < 0,05$, ** Probabilidade $P < 0,01$.

DPV_(folha-ar), - Déficit de pressão de vapor, gs - condutância estomática, E - transpiração, A - fotossíntese, Ci - concentração interna de CO₂, A/E - eficiência do uso da água, A/gs - eficiência intrínseca no uso da água e Tf-Tc - temperatura da folha - a temperatura da câmara.

3.3 Medidas do teor de clorofila

A estimativa do teor de clorofila de folhas de pinhão manso apresentou valores médios de 41,52 de leituras SPAD para região semi-úmida e 42,68 de leituras SPAD na semi-árida, havendo diferença estatística entre os locais (Tabela 3). Essa menor média para a região-semi-úmida pode ser explicada por essa região apresentar maiores índices pluviométricos ao longo do ano (Figura 2), o que permite que as folhas mantenham um maior turgor, ou seja, um maior conteúdo de água, e conseqüentemente uma menor quantidade de clorofila. De acordo a Ripple (1985) citado por GEOSOLO (2008), atribuem o efeito secundário do conteúdo de água nas folhas às variações na concentração de clorofila e desarranjo nas estruturas internas da folha. Segundo os autores, a redução do conteúdo de clorofila nas folhas propicia uma menor absorção de energia na região do visível, conseqüentemente, aumentando a reflectância nesta faixa espectral.

Em adição, Zoratelli et al. (2002) afirma que o medidor de clorofila SPAD-502 detecta a quantidade de cor verde na folha através da quantidade de luz de comprimento de onda da região vermelho e infravermelho. A quantidade de luz vermelha absorvida indica a quantidade de clorofila, enquanto que a quantidade de luz absorvida próximo ao infravermelho serve como uma referência interna na compensação da espessura da folha e conteúdo de água.

Os maiores valores de clorofila foram verificadas nos meses de outubro e dezembro/2006 e junho/2007, período em que encontravam um maior número de folhas

novas, com médias acima de 40 unidade SPAD (Tabela 3). Os menores valores das leituras SPAD foi em dezembro/2007 o que pode ser explicado pela ausência de folhas jovens nesse período (dados não mostrados). Segundo Reis et al. (2006) os maiores valores das leituras SPAD são encontrados em folhas novas por possuírem maiores capacidade de síntese de clorofila, portanto, maior intensidade de verde. Valores de unidades SPAD acima de 40 também foram encontrados em plantas de cafeeiro (Reis et al., 2006) e mamoeiro (Yamanishi et al., 2006) em condições de campo.

A estimativa do teor de clorofila teve correlação inversa com fluorescência inicial (F_0) ($r = -0,53$) e eficiência quântica efetiva ($\Phi_{PS II}$) ($r = -0,51$) e não apresentou correlação com fluorescência máxima (F_m) (Tabela 4). Diferentes do apresentado por Torres Netto et al. (2002) para folhas de mamoeiro *Carica papaya* L., que verificaram que o teor de clorofila teve correlação positiva com F_m , o que não ocorreu com o pinhão-mansão.

3.4 Fluorescência da clorofila *a*

No que se refere à eficiência quântica efetiva ($\Phi_{PS II}$) em pinhão-mansão, diferenças significativas foram observadas entre a região semi-úmida e a semi-árida, com médias de 0,28 e 0,25, respectivamente (Tabela 3). Nos meses mais secos, também houve uma redução do $\Phi_{PS II}$, o que sugere que nesses meses houve um menor aproveitamento da energia luminosa em relação aos outros meses, como, por exemplo, em dezembro/2006 em ambas as regiões, com valores de $\Phi_{PS II}$ de 0,15 em Rio Largo e de 0,11 em Igaci, indicando que grande parte da luz absorvida pelas clorofilas não estava sendo aproveitada na fotoquímica. Verificou-se, ainda, que nesse mesmo período, ocorreu taxa reduzida de fotossíntese (Figura 4G e 4H), o que reafirma a hipótese que as plantas estavam passando por algum tipo de estresse durante esse período.

Segundo Maxwell e Johnson, (2000), reduções da eficiência quântica efetiva ($\Phi_{PS II}$) é um índice fisiológico indicado para se avaliar a eficiência *in vivo* do fotossistema II, indicando, nesse caso, que uma baixa proporção de energia absorvida foi utilizada nas reações fotoquímicas. Tais valores encontrados no presente trabalho são semelhantes aos encontrados em folha de café, *Coffea arabica*, que apresentaram valores mínimos de $\Phi_{PS II}$ próximo de 0,1 sob condições de estresse (Konrad et al., 2005), e inferiores aos encontrados em folhas de amendoim rasteiro, *Arachis hypogaea* L., que apresentaram valores mínimos de ($\Phi_{PS II}$) de 0,4, em condições de campo, ao meio dia (Erismann et al., 2006).

Tabela 3: Leituras SPAD-502 e eficiência quântica efetiva do FSII ($\Phi_{PS II}$) de pinhão-mansão (*Jatropha Curcas* L.) em condições de campo em região semi-úmida e semi-árida do estado de Alagoas.

Época	Clorofila (unidades SPAD)			$\Phi_{PS II}$ (12h)		
	Igaci	R. Largo	Média	Igaci	R. Largo	Média
Out/2006	42,66 ^{ab}	46,11 ^a	44,38^a	0,20 ^b	0,20 ^b	0,20^c
Dez/2006	42,09 ^b	46,00 ^a	44,04^{ab}	0,11 ^c	0,15 ^b	0,13^d
Jul/2007	45,30 ^a	39,10 ^b	42,20^{bc}	0,34 ^a	0,35 ^a	0,34^a
Out/2007	44,60 ^{ab}	37,80 ^b	41,20^c	0,38 ^a	0,31 ^a	0,35^a
Dez/2007	38,80 ^c	36,60 ^b	38,70^d	0,20 ^b	0,37 ^a	0,28^b
Média	42,68^A	41,52^B		0,25^B	0,28^A	
CV %			5,82			29,36

* Para avaliação dos efeitos nos locais, médias dentro da mesma linha, seguidas pelas mesmas letras maiúsculas e para avaliar épocas, médias dentro da mesma coluna (letras minúsculas), não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A relação entre a taxa de fotossíntese em função da eficiência quântica efetiva do FSII ($\Phi_{PS II}$) mostrou uma tendência crescente com correlação positiva no horário das 12:00 h (Figura 5). Isto indica que a resposta da fotossíntese cresce proporcionalmente ao aumento da eficiência quântica efetiva até certo ponto em resposta à luminosidade (Tabela 4). Segundo Maxwell e Johnson, (2000) existe uma relação linear entre eficiência de utilização de energia e fixação de CO₂, sendo alguns desvios nesta relação ocasionados em condições que proporcionam mudança na taxa de fotorrespiração.

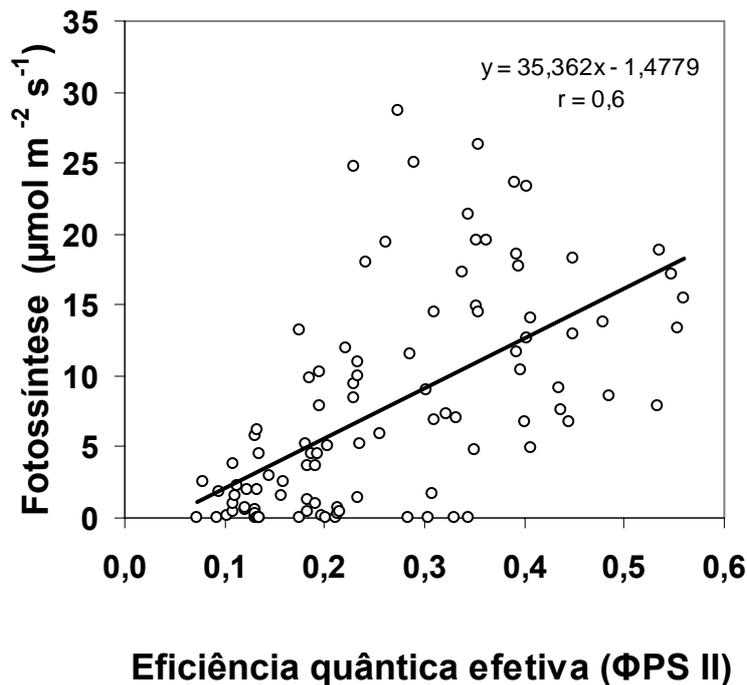


Figura 5: Relação entre fotossíntese (A) em função da eficiência quântica efetiva do FSII ($\Phi_{PS II}$).

A fluorescência inicial (F_0) permaneceu constante ao longo do dia nas duas regiões no período chuvoso e apresentaram pequenas variações no período seco (Figura 6A e 6B). O aumento de F_0 entre o horário de 12 a 14:00 h, nos dias 11/12/2006 (região semi-úmida) e 02/11/2006 (região semi-árida) pode estar indicando uma desestruturação do complexo antena com o aumento da irradiação e clima extremamente seco. Comportamento semelhante foi encontrado em folhas de acariquara, *Minuartia guianensis* Aubl, (Dias & Marengo, 2007) e em gramíneas forrageiras (Silva et al., 2006) que encontraram o aumento de F_0 ao longo do dia condicionados a diferentes tipos de estresse. O aumento de F_0 reflete desestabilização do centro de reação do FSII ou diminuição na capacidade de transferência da energia de excitação da antena para o centro de reação (Baker & Rosenqvist, 2004). Segundo Campostrini (1997) o valor de F_0 é alterado por estresses do ambiente que causam alterações estruturais nos pigmentos fotossintéticos do FSII.

Os valores de fluorescência máxima (F_m) mostraram um comportamento mais estável ao longo do dia nas duas regiões (Figura 6C e 6D). O F_m parece ter boa relação com a disponibilidade hídrica. Em julho de 2007, um mês bastante chuvoso, o F_m foi máximo em ambos os locais estudados. Por outro lado, em dezembro de 2006, quando as plantas estavam sob forte déficit hídrico (Figura 4), o F_m foi mínimo nos dois locais estudados (Figuras 6C e

6D). A diminuição dos valores absolutos de F_m caracteriza a diminuição da capacidade de reoxidação das quinonas, resultando em menor eficiência no transporte de elétrons entre os fotossistemas (Silva et al., 2006).

Dentre os fatores abióticos, a baixa disponibilidade hídrica no solo, em combinação com altos níveis de irradiância, pode ter causado uma redução significativa na eficiência da fotossintética nas plantas de pinhão-mansão. Segundo Oliveira (2005), fonte de irradiância sobre o tecido fotossintetizante pode conduzir para uma série de reações de estresse, conhecidas como fotoinibição, as quais provocam uma diminuição circunstancial na eficiência de liberação fotossintética do O_2 e induz as alterações nas reações fotoquímicas associadas à clorofila *a*.

Via de rega, ocorre ao meio dia, certa fotoinibição dinâmica, quando as folhas estão expostas à fortes irradiâncias, acarretando, por conseguinte, redução da fixação do CO_2 . Entretanto, uma parcela reversível relacionado à fotoinibição da fotossíntese não deverá ser vista como um dano, mas sim como um mecanismo de proteção que permite dissipar o excesso de energia termal (Campostrini, 1997).

Durante o período seco as folhas de pinhão-mansão apresentaram decréscimo na razão F_v/F_m por volta das 12:00 h (Figura 6E e 6F) na faixa de 0,73 em 11/12/2006 (região semi-úmida) e 0,71 em 02/11/2006 (região semi-árida) o que evidencia fotoinibição dinâmica na planta, que deve ter sido provocada pelas altas irradiância e temperatura desses horários. Bolhàr-Nordenkampf et al., (1989) afirmaram que quando uma planta está com seu aparelho fotossintético intacto os valores de F_v/F_m variam entre 0,75 e 0,85. E valores inferiores a 0,75 indicam situação de estresse e, portanto, redução do potencial fotossintético da planta (Maxwell & Johnson, 2000).

Liang et al. (2007) estudando a espécie *Jatropha curcas* submetidas a estresse causado pelo frio, verificaram valores de F_v/F_m de 0,95 na planta em condições normais e valores inferiores a 0,7 durante o estresse. Trabalhos realizados por Erismann et al. (2006) na cultura de amendoim rasteiro (*Arachis hypogaea* L.) e Oliveira et al. (2006) em cafeeiros (*Coffea arabica* L.), expostas às condições ambientais, também observaram fotoinibição dinâmica da fotossíntese no horário das 12:00 h com valores de 0,5 a 0,6, manifestada pela queda reversível da eficiência quântica máxima (F_v/F_m) do fotossistema II, no período de excesso de energia luminosa.

Quando comparado o período seco e o chuvoso nas duas regiões, demonstram a sensibilidade à variação do teor de água no solo, evidentemente, das taxas de precipitação pluviométricas nos dois períodos, onde se destaca na região semi-árida o mês de dezembro de

2006 em que o solo se apresentava bastante seco com valores de 1,9 mm (Figura 3B) e menores índices pluviométricos registrados na área de estudo ao longo do experimento de 2,9 mm (Figura 2), característico do ambiente e resultante da baixa quantidade de chuvas nos meses anteriores, o que, aparentemente, implica em que o pinhão-mansão estava sob condições de déficit hídrico severo nesse período. Segundo (Lemos-Filho, 2000) sob estresse hídrico severo, as plantas freqüentemente apresentam um marcante efeito fotoinibitório, caracterizado por um decréscimo significativo no rendimento quântico potencial. Nesse caso, o déficit hídrico, em combinação com altos níveis de irradiância, pode causar uma significativa redução na eficiência da fotossíntese.

O pinhão-mansão apresentou valores de F_v/F_m inferiores a 0,70 somente na região semi-árida em dezembro de 2006, quando as plantas estavam sob forte déficit hídrico, apresentando valores mínimos de 0,51 ao longo do dia e taxa de fotossíntese próxima de zero (Figura 4H e 6F), o que indica que as plantas estavam sendo severamente afetadas pela seca, alta radiação e altas temperaturas. Tais condições de estresse podem ter sido altamente danosas à integridade funcional das células, evidência circunstancial de uma discreta fotoinibição crônica. De acordo a Taiz & Zeiger (2006) a fotoinibição crônica resulta na exposição a níveis altos de excesso de luz, que danificam o sistema fotossintético e diminuem a eficiência quântica e a taxa de fotossíntese máxima; está associada ao dano e a substituição da proteína D1 do centro da reação do PII.

Dependendo do tempo que uma planta leva para se recuperar do estresse fotoinibitório, a fotoinibição pode ser dinâmica ou crônica. Na fotoinibição dinâmica, a planta se recupera do estresse radiativo à tarde quando a irradiância diminui ou durante a noite. Já na fotoinibição crônica, a planta leva mais de 12 horas para se recuperar do estresse fotoinibitório em condições de baixa luminosidade ou no escuro (Marrenco et al. 2007). Para Taiz & Zeiger (2006) a fotoinibição crônica persiste por períodos prolongados estendendo-se por semanas ou meses.

Embora se perceba nos dias 25/09/2007 e 19/12/2007 (semi-árida), tendência a valores inferiores no período de seco (Figura 6F), estes não estão abaixo da faixa ótima da eficiência quântica máxima, apresentando ao longo do dia valores próximos aos dias 03/10/2007 e 18/12/2007 da região semi-úmida (Figura 6E), essas similaridades nos resultados exprimem justamente a adequação ou adaptação dessa espécie às condições ambientais da região semi-árida.

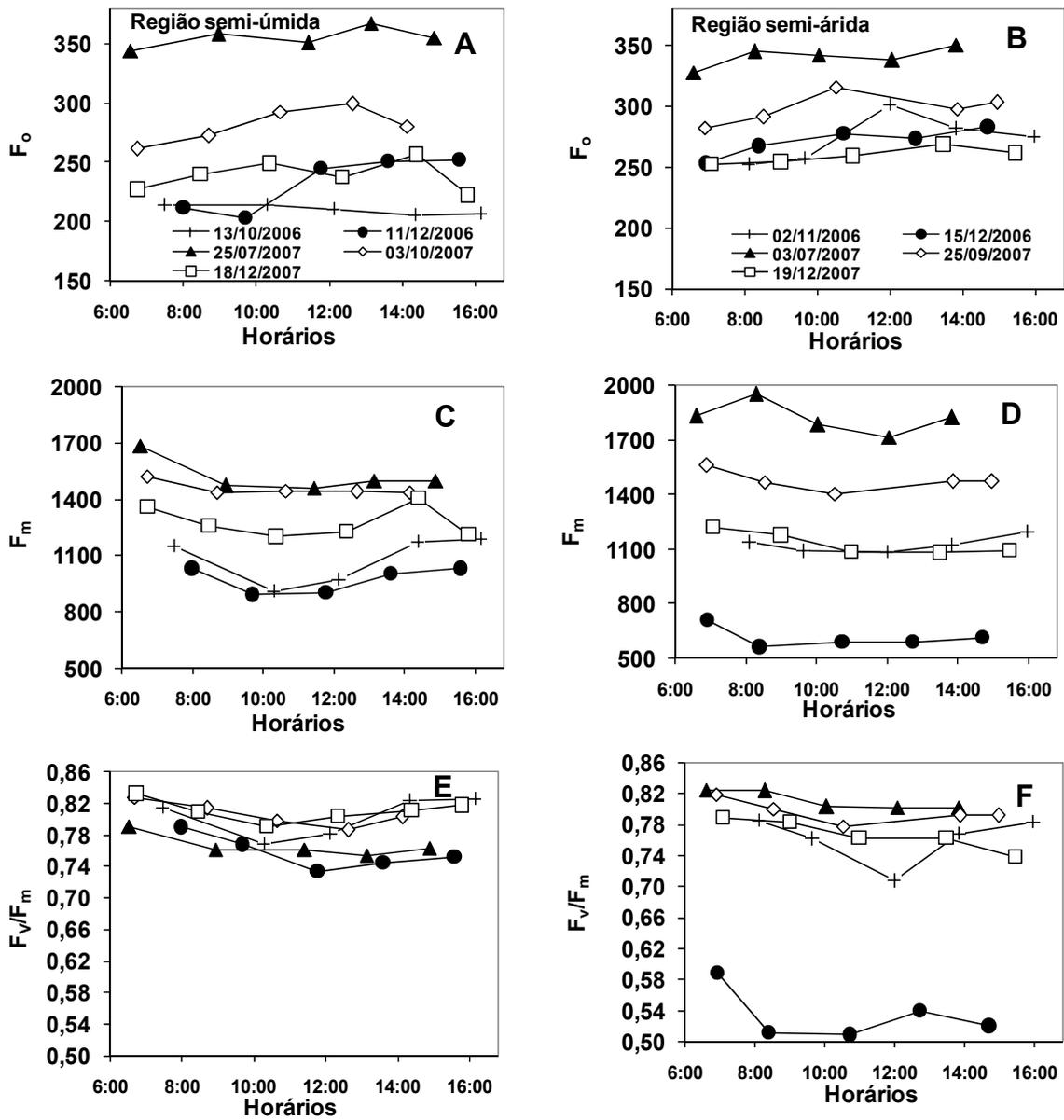


Figura 6: Variação diurna da fluorescência inicial (A,B), fluorescência máxima (C,D) e eficiência quântica máxima do FSII (E,F) de pinhão-mansô em condições de campo, em diferentes épocas do ano, conduzidos em região semi-úmida e semi-árida do estado de Alagoas. Cada ponto representa a média de 10 plantas.

Pode-se verificar de modo geral que a redução da fotossíntese está diretamente relacionada com a redução variáveis a F_m e F_v/F_m e $\Phi_{PS II}$ (Tabela 4). Os dados sugerem que a redução das trocas gasosas na estação seca é acompanhada por decréscimos na atividade fotossistema II, com aumento da fotoinibição.

Decréscimo de F_v/F_m devido à fotoinibição são frequentemente ocasionadas por redução de F_m , estando associados a energização de membrana dos tilacóides motivada pelo aumento do gradiente de pH transtilacoidal com conseqüente acidificação do lúmen e pela extinção não fotoquímica de energia de excitação que também envolve o ciclo das xantofilas (Ort, 2001).

Tabela 4: Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis que indicam a eficiência fotossintética em planta de pinhão-mansão (*Jatropha Curcas*.L.) em condições de campo.

Variável	A	F_0	F_m	F_v/F_m	$\Phi_{PS II}$
SPAD	-0,23	-0,53**	-0,21	-0,42	-0,51**
A		0,05	0,62**	0,55**	0,60**
F_0			0,30*	-0,82	0,15
F_m				0,84**	0,62**
F_v/F_m					0,54**

*Probabilidade $P < 0, 05$, ** Probabilidade $P < 0, 01$.

Leitura SPAD, fotossíntese (A), fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), eficiência quântica máxima do FSII (F_v/F_m) e eficiência quântica efetiva do FSII ($\Phi_{PS II}$).

4 CONCLUSÕES

O pinhão-manso apresenta melhor desempenho na capacidade fotossintética na região de semi-úmida com menores quedas na taxa de fotossíntese, condutância estomática e transpiração.

O maior déficit de pressão de vapor do ar é o principal fator responsável pelo fechamento estomático no pinhão-manso, o que contribuiu para a redução nos valores da taxa fotossintética líquida.

Na época seca, por volta do meio-dia, ocorre fotoinibição dinâmica com uma rápida recuperação durante a tarde em folhas de pinhão-manso.

A deficiência hídrica no solo e as condições climáticas impostas durante a época seca, não foram suficientes para provocar danos no aparato fotoquímico do PS II, com exceção do dia 15/12/2006 quando apresentou fotoinibição crônica. Estes resultados refletem o desempenho dessa espécie, o que sugere maior capacidade de tolerar as condições fotoinibitórias ocasionadas pelo estresses abióticos.

5 REFERÊNCIAS

AGRITEMPO. **Sistema de monitoramento Agrometeorológico**. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario/2006>>. Acessado em 15 fevereiro 2008.

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2002. 272 p.

ARAGÃO, B. V. et al. Correlation but no causation between leaf nitrogen and maximum assimilation: the role of drought and reproduction in gas exchange in an understory tropical plant *Miconia ciliata* (Melastomataceae). **American Journal of Botany**, v. 92, n. 3, p. 456-461, 2005.

ARRUDA, F. P. et al. Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curca* L.) como alternativo para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira Oleagenosas e Fibrosas**. v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.

AUGUSTUS, G. D. P. S.; JAYABALA, N. M.; SEILERB, G. J. Evaluation and bioinduction of energy components of *Jatropha curcas*. **Biomass and Bioenergy**, v. 23, p. 161-164, 2002.

BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 403, p. 1607-1621, 2004.

BERGONCI, J. I. et al. Diferença de temperatura dossel-ar como um indicador de déficit hídrico em milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 7, n. 1, p. 5-11, 1999.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H. R. et al. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. **Functional Ecology**, v. 3, p. 497-514. 1989.

BUSSAB, W. O. & MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 3a ed. São Paulo: Atual, 1986. p.321.

CAMPOSTRINI, E. **Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas**. 1997. Disponível em: <http://www.uenf.br/Uenf/Downloads/CENTRO_pdf>. Acesso em: 20 março 2008.

CPTEC. **Centro de Previsões de tempo e Estudos Climáticos**. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br>>. Acesso em 03 fevereiro 2008.

COSTA, A. R. As relações hídricas das plantas vasculares, parte 10, 2001. Disponível em: <<http://www.angelfire.com>>. Acesso em 15 fevereiro 2008.

COSTA, G. F.; SALLA, L., MARENCO, R. A. Trocas gasosas e potencial hídrico em *Carapa guianensis* Aubl. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 156-158, 2007.

DIAS, D. P.; MARENCO; R. A. Fotossíntese e fotoinibição em mogno e acariquara em função da luminosidade e temperatura foliar. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 42, n. 3, p. 305-311, 2007.

ENDRES, L. Daily and seasonal variation of water relationship in sugar apple (*Annona squamosa* L.) under different irrigation regimes at semi-arid Brazil. **Scientia Horticulturae**, v. 113, p. 149–154, 2007.

ERISMANN, N. M.; MACHADO, E. C.; GODOY, I. J. Capacidade fotossintética de genótipos de amendoim em ambiente natural e controlado **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 7, p. 1099-1108, 2006.

EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais). Coletânea sobre pinhão-manso. 2003. Disponível em: <<http://www.epamig.br>> Acesso em: 06 março 2008.

FORSON, F. K.; ODURO, E. K.; HAMMOND, D. E. Performance of *Jatropha* oil blends in a diesel engine. **Renewable Energy**, v. 29, p. 1135–1145, 2004.

GEOSOLO, Noções Básicas sobre vegetação e sua Interação com a Radiação Solar. Capítulo 4. Disponível em:<http://www.epamig.br/geosolos/MN_GEO/pdf > Acesso em 24 junho 2008.

HENNING, R.K. **The Jatropha System in Zambia** – Evaluation of the existing *Jatropha* activities and proposals for an implementation strategy in Southern Province of Zambia, 1999. Disponível em: <<http://www.jatropha.de/zimbabwe>>. Acesso em: 22 janeiro 2008.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p 452.

KOCHEVA, K. et al. Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. **Bioelectrochemistry**, n. 63, p. 121–124, 2004.

KONRAD, M.L.F. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005.

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

LEMOS-FILHO, J. P. Fotoinibição em três espécies do cerrado (*Annona crassifolia*, *Eugenia dysentericae* *Campomanesia adamantium*) na estação seca e na chuvosa. **Revista brasileira de Botânica**, v. 23, n. 1, p. 45-50, 2000.

LIANG, Y. et al. Responses of *Jatropha curcas* seedlings to cold stress: photosynthesis-related proteins and chlorophyll fluorescence characteristics **Physiologia Plantarum**, n. 131, p. 508–517. 2007.

MACHADO, E.C. et al. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial da água na folha de laranjeira ‘valência’ **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p. 53-58, 2002.

MACHADO, E.C. et al. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

MACHADO FILHO, J.A. et al. Variação sazonal das trocas gasosas em folhas de mamoeiro cultivado em condições de campo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n.2, p. 185-196, 2006.

MARENCO, R. A. et al. Fotoinibição dinâmica da fotossíntese em árvores de dossel da Amazônia Central, **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 150-152, 2007.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G.N. Chlorophyll fluorescence: a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 659-668, 2000.

MIELKE, M. S. et al. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Genipa americana* seedlings to soil flooding. **Environmental and Experimental Botany**, v. 50, p. 221-231, 2003.

MIRANDA, E. J. et al. Seasonal variation in the leaf gas exchange of tropical forest trees in the rain forest-savanna transition of the southern Amazon Basin. **Journal of Tropical Ecology**, v. 21, p. 451-460, 2005.

NETTO, A.T. et al. Portable chlorophyll meter for the quantification of photosynthetic pigments, nitrogen and the possible use for assessment of the photochemical process in *Carica papaya* L. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 14, n. 3, p. 203-210, 2002.

NOGUEIRA, R. J. M.; SILVA Jr, J. F. Resistência estomática, tensão de água no xilema e teor de clorofila em genótipos de gravioleira. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p. 491-495, 2001.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 1, 2001.

OLIVEIRA, J.G. **Estresse luminoso: uma abordagem a partir das variáveis de fluorescência da clorofila a**. In: NOGUEIRA, R.J.M.C.; ARAÚJO, E. DE L.; WILLADINO, L.G.; CAVALCANTE, U.M.T. (eds.). Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE, 2005. cap. 3 , p. 182-191.

OLIVEIRA, C.R.M. et al. Trocas gasosas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) e seringueiras (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) em diferentes sistemas de cultivo na região de lavras, MG. **Revista Árvores**, v. 30, n. 2, p. 197-206, 2006.

OPENSHAW, K. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. **Biomass and Bioenergy**, v. 19, p. 1-15, 2000.

OREN, R. et al. Sensitivity of mean canopy stomatal conductance to vapor pressure deficit in a flooded *Taxodium distichum* L. forest: hydraulic and non-hydraulic effects, **Oecologia**, n. 126, p. 21-29, 2001.

ORT, D. R. When there is too much light. **Plant Physiology**, v. 125, p. 29-32, 2001.

PANKOVIC, D. et al. Acclimation to long-term water deficit in the leaves of two sunflower hybrids: photosynthesis, electron transport and carbon metabolism. **Journal of Experimental Botany**, v. 50, p. 127-138. 1999.

PASSOS, C. D.; PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. A. Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 2, p. 248-254, 2005.

PEIXOTO, A.R. Plantas oleaginosas arbóreas. São Paulo: Nobel, 1973. p. 284.

REIS, A.R. et al. Metodologia e técnicas experimentais diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, v. 65, n. 1, p. 163-171, 2006.

SEVERINO, L. S. et al. **Viagem à Índia para Prospecção de Tecnologias sobre Mamona e Pinhão Manso**. Campina Grande: Embrapa do algodão. Documento 153, 2006. 56 p.

SILVA, M. M. P. et al. Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.1, p.67-74, 2006.

SOUZA, J. L.; NICÁCIO, R. M.; MOURA, A. L. Global solar radiation measurements in Maceió Brazil. **Renewable Energy**, v. 30, p. 1203–1220, 2005.

SUDENE. **Superintendência de desenvolvimento do nordeste**. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br>>. Acesso em 18 fevereiro 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004, 719 p.

TATAGIBA, S. D. et al. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 149-159, 2007.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M. Cinética de emissão de fluorescência das clorofilas em dois clones de *eucalyptus*. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, n. 10, 2007.

TROVÃO, D. M. B. et al. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 307-311, 2007.

YAMANISHI, O. K. et al. Comportamento do mamoeiro sekati nas condições do oeste da Bahia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 1, p. 79-82, 2006.

YU, M.; XIE, Y.; ZHANG. X. Quantification of Intrinsic Water Use Efficiency along a Moisture Gradient in Northeastern China. **Journal of Environmental Quality**, v 34, 2005.

ZANANDRE, A. I. et al. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, n. 2, p. 157-161, 2006.

ZORATELLI, L. et al. Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para uso na cultura do milho. **Comunicado Técnico**, n.55, 2002.