

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – *CAMPUS* RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**ALTERAÇÕES FOTOSSINTÉTICAS DE PLANTAS  
JOVENS DE JATOBÁ EM CONDIÇÕES  
CONTRASTANTES DE IRRADIÂNCIA E  
DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

Autora: Sueisla Lopes Rezende  
Orientador: Prof. Dr. Alan Carlos Costa

Rio Verde – GO  
fevereiro - 2012

**ALTERAÇÕES FOTOSSINTÉTICAS DE PLANTAS  
JOVENS DE JATOBÁ EM CONDIÇÕES  
CONTRASTANTES DE IRRADIÂNCIA E  
DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

Autora: Sueisla Lopes Rezende  
Orientador: Prof. Dr. Alan Carlos Costa

Dissertação apresentada, como parte das exigências para a obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS, no programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio Verde – Área de concentração Ciências Agrárias.

Rio Verde – GO  
fevereiro - 2012

R35a

Rezende, Sueisla Lopes.

Alterações fotossintéticas de plantas jovens de jatobá em condições contrastantes de irradiância e disponibilidade hídrica / Sueisla Lopes Rezende – Rio Verde - GO – 2012.

89 f.: il.;

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) apresentada ao Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO - 2012.

1. Fotossíntese 2. Jatobá 3. Cerrado 4. Fluorescência  
5. Irradiância

Dr. Alan Carlos Costa (Orient.)

Gilmar José Terra. CRB1 2524 CDU 582.738:581.132

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**ALTERAÇÕES FOTOSSINTÉTICAS DE PLANTAS JOVENS  
DE JATOBÁ EM CONDIÇÕES CONTRASTANTES DE  
IRRADIÂNCIA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA**

Autora: Sueisla Lopes Rezende  
Orientador: Dr. Alan Carlos Costa

*TITULAÇÃO:* Mestre em Ciências Agrárias – Área de concentração  
Ciências Agrárias – Ciências Agrárias

APROVADA em 29 de fevereiro de 2012.

Prof<sup>a</sup>. Dra. Kacilda Naomi Kuki  
*Avaliadora externa*  
UFV

Prof<sup>a</sup>. Dra. Vânia Sardinha dos Santos Diniz  
*Avaliadora interna*  
IFGoiano/Iporá

Prof. Dr. Alan Carlos Costa  
*Presidente da banca*  
IFGoiano/RV

**A Deus,**

“Porque Dele e por Ele, e para Ele, são todas as coisas; glória, pois, a Ele eternamente.”

(Romanos 11:36)

**A minha família,**

Meus pais Lindomar e Maria Aparecida, pelo amor, dedicação e incentivo aos estudos.

Meu esposo Jean Carlos, pelo apoio incondicional em todos os momentos.

Meu irmão Wender, pelas palavras de incentivo e ânimo.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus o soberano, por me dar força e coragem para superar os desafios e por estar sempre comigo.

Ao meu esposo Jean Carlos, pelo apoio em todos os momentos, pela paciência, incentivo e companheirismo até nas coletas de campo.

Aos meus queridos pais, Lindomar e Maria Aparecida, pelo amor, dedicação e incentivo aos estudos.

Ao meu irmão Wender e a meu primo Wesley, pelas palavras de incentivo e ânimo.

Ao meu orientador Professor Alan Carlos Costa, pela dedicação, transmissão de sábios conhecimentos e por acreditar nas minhas capacidades.

À minha coorientadora Professora Clarice Aparecida Megguer, pelas valiosas sugestões e contribuições para o desenvolvimento e finalização deste trabalho.

Aos Professores Fabiano Guimarães Silva e Eduardo da Costa Severiano, pelas sugestões na avaliação do projeto de dissertação.

As professoras Kacilda Naomi Kuki e Vânia Sardinha dos Santos Diniz, pelas valiosas contribuições, questionamentos e sugestões, que em muito contribuíram para a melhoria deste trabalho.

Aos professores Michellia Pereira Soares e Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho, pela ajuda e disponibilidade.

À professora Juliana de Fátima Sales, pela disponibilização da estrutura do Laboratório de Sementes, e a sua equipe pela colaboração com os testes de germinação de sementes, especialmente à Adriene e Apollyana.

Ao Instituto Federal Goiano, *Campus* Rio Verde, pela oportunidade de realização deste curso.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, coordenação e docentes pela disposição em ensinar.

À Coordenação de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo.

Aos meus amigos do Curso de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Karen, Fátima, Gilberto, Mariluz, Wainer e Hélio, pelas experiências, amizade e, sobretudo, pelos bons momentos que sempre são proporcionados.

Aos amigos do Laboratório de Ecofisiologia e Produtividade Vegetal, Adinan, Derly, Fábila, Gabriela, Jônatas, Leidyane, Luciana, Marta, Priscila, Renato, Rodolfo e Yasmim, por terem me acompanhado durante a montagem e manutenção do experimento, bem como pela ajuda nas avaliações de campo, pela amizade e convivência sempre agradável.

Ao Márcio, pela amizade, sugestões, informações e incentivos.

As minhas amigas Márcia e Edna, que me incentivaram a ingressar neste curso.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“Todas as coisas cooperam para o bem daqueles que amam a Deus.”

(Romanos 8:28)

## **BIOGRAFIA**

SUEISLA LOPES REZENDE, filha de Lindomar Lopes Gouveia e Maria Aparecida Rezende, nasceu no dia 26 de junho de 1987, na cidade de Jataí, Goiás.

Em março de 2006, ingressou no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas na Universidade Federal de Goiás, graduando em dezembro de 2009.

Em fevereiro de 2010, iniciou no curso de mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, no Instituto Federal Goiano – *Campus* de Rio Verde, sob a orientação do Professor Alan Carlos Costa.



## ÍNDICE

	PÁGINA
ÍNDICE DE TABELAS -----	xii
ÍNDICE DE FIGURAS-----	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS -----	xvii
RESUMO-----	xvii
ABSTRACT-----	xx
INTRODUÇÃO -----	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	3
CAPÍTULO I - CARACTERIZAÇÃO FOTOSSINTÉTICA DE PLANTAS JOVENS DE JATOBÁ NAS ESTAÇÕES SECA E CHUVOSA EM AMBIENTE DE CERRADO -----	6
RESUMO -----	7
ABSTRACT -----	8
I. INTRODUÇÃO -----	9

2. MATERIAL E MÉTODOS -----	10
2.1. <i>Local de estudo</i> -----	10
2.2. <i>Dados climáticos</i> -----	12
2.3. <i>Caracterização das plantas no ambiente de ocorrência</i> -----	12
2.4. <i>Detalhamento dos procedimentos para avaliação das plantas</i> -----	13
2.4.1. <i>Trocas gasosas</i> -----	13
2.4.2. <i>Potencial hídrico foliar e conteúdo de água no solo</i> -----	14
2.4.3. <i>Fluorescência da clorofila a</i> .....	14
2.4.4. <i>Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos</i> -----	15
3. RESULTADOS -----	15
3.1. <i>Dados climáticos</i> -----	15
3.2. <i>Trocas gasosas</i> -----	17
3.3. <i>Potencial hídrico e conteúdo de água no solo</i> -----	18
3.4. <i>Fluorescência da clorofila a</i> -----	20
3.5. <i>Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos</i> -----	21
4. DISCUSSÃO -----	24
4.1. <i>Dados climáticos</i> -----	24
4.2. <i>Trocas gasosas</i> -----	24
4.3. <i>Potencial hídrico e conteúdo de água no solo</i> -----	26
4.4. <i>Fluorescência da clorofila a</i> -----	27
4.5. <i>Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos</i> -----	28
5. CONCLUSÕES -----	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS -----	30

CAPÍTULO II - EFEITO DA IRRADIÂNCIA E DA RESTRIÇÃO HÍDRICA NAS  
CARACTERÍSTICAS FOTOSSINTÉTICAS DE PLANTAS JOVENS DE JATOBÁ

----- 36

RESUMO -----	37
ABSTRACT -----	38
1. INTRODUÇÃO -----	39
2. MATERIAL E MÉTODOS -----	41
2.1. <i>Material vegetal</i> -----	41
2.1.1. <i>Obtenção de mudas e plantio</i> -----	41
2.2. <i>Condições experimentais</i> -----	42
2.2.1. <i>Estresse luminoso</i> -----	42
2.3. <i>Combinação de estresse luminoso e estresse hídrico</i> -----	44
2.4. <i>Detalhamento dos procedimentos para avaliação das plantas</i> -----	45
a) <i>Avaliação das trocas gasosas</i> -----	45
b) <i>Avaliação das relações hídricas, conteúdo relativo de água e taxa de liberação de eletrólitos</i> -----	45
c) <i>Avaliação da fluorescência da clorofila a</i> -----	46
d) <i>Avaliação do conteúdo de pigmentos cloroplastídicos</i> -----	47
e) <i>Caracterização morfológica e do crescimento</i> -----	48
3. RESULTADOS -----	48
3.1. <i>Características visuais das plantas</i> -----	48
3.2. <i>Características fisiológicas das plantas sob condições de estresse luminoso</i> -----	50
3.2.1. <i>Trocas gasosas</i> -----	50
3.2.2. <i>Fluorescência da clorofila a</i> -----	51
3.3. <i>Características morfofisiológicas das plantas sob condições de estresse luminoso combinado com regime hídrico</i> -----	54
3.3.1. <i>Trocas gasosas</i> -----	54
3.3.2. <i>Potencial hídrico, conteúdo relativo de água e taxa de liberação de eletrólitos</i> -----	57
3.3.3. <i>Fluorescência da clorofila a</i> -----	61
3.3.4. <i>Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos</i> -----	63

3.3.5. <i>Características do crescimento</i> .....	66
4. DISCUSSÃO .....	69
4.1. <i>Trocas gasosas</i> .....	69
4.2. <i>Potencial hídrico, conteúdo relativo de água e taxa de liberação de eletrólitos</i> ---	71
4.3. <i>Fluorescência da clorofila a</i> .....	72
4.4. <i>Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos</i> .....	76
4.5. <i>Características do crescimento</i> .....	77
5. CONCLUSÕES .....	79
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80
CONCLUSÃO GERAL .....	89

## ÍNDICE DE TABELAS

## PÁGINA

## CAPÍTULO I

Tabela 1. Dados da precipitação (mm) do local de estudo, nos meses de janeiro de 2011 a janeiro de 2012-----	16
--	----

## CAPÍTULO II

Tabela 1. Razão $F_v/F_m$ de plantas jovens de jatobá submetidas aos diferentes níveis de irradiância no ambiente de crescimento avaliadas às 12h00min, horário de maior intensidade luminosa e no dia seguinte às 8h00min. Os dados são médias de ( $n=10$ ) --	64
--	----

Tabela 2. Resumo da Análise de Variância dos dados de crescimento de plantas jovens de jatobá, sendo: altura, número de folhas ( $N^\circ$ folhas) área foliar (AF), área foliar específica (AFE), comprimento de raiz e caule, número de entrenós ( $N^\circ$ de entrenós), massa seca de caule (MSC) e massa seca de raiz (MSR)-----	67
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

### PÁGINA

### CAPÍTULO I

Figura 1. Localização da área de estudo da Universidade de Rio Verde (FESURV) Rio Verde – Goiás -----	11
Figura 2. Imagens do local de estudo em duas estações distintas. A) estação seca, B) estação chuvosa -----	13
Figura 3. Umidade Relativa (UR%) e temperatura (T°C) máxima e mínima do local de estudo, durante os meses de janeiro de 2011 a janeiro de 2012 -----	16
Figura 4. Dados do déficit de pressão de vapor (DPV) do local de estudo, durante os meses de janeiro de 2011 a janeiro de 2012 -----	17
Figura 5. Trocas gasosas de plantas de jatobá nas estações seca e chuvosa, sendo A) Taxa de assimilação de CO <sub>2</sub> (A $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), B) Condutância estomática ( $g_s$ $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), C) Relação $C_i/C_a$ e D) Taxa transpiratória ( $E$ $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Os dados são médias e desvio padrão de ( $n=10$ ) -----	18
Figura 6. Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) de plantas jovens de jatobá nas estações seca e chuvosa. Os dados são médias e desvio padrão de ( $n=10$ ) -----	19
Figura 7. Conteúdo de água no solo ( $\text{g g}^{-1}$ ) do local de estudo, nas estações seca e chuvosa -----	20
Figura 8. Características da fluorescência da clorofila <i>a</i> em plantas jovens de jatobá, nas estações seca e chuvosa, sendo A) Rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), B) Rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Delta F/F_m'$ ), C) Taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) e D) Coeficiente de extinção não fotoquímica (NPQ). Os dados são médias e desvio padrão de ( $n=10$ ) -----	21
Figura 9. Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos em folhas de plantas jovens de jatobá, nas estações seca e chuvosa, sendo A) Conteúdo de clorofila <i>a</i> (Cl <i>a</i> ), B) clorofila <i>b</i> (Cl <i>b</i> ), C) Carotenoides e D) Clorofila total (Cl <i>t</i> ) de plantas jovens de jatobá nas estações seca e chuvosa. Os dados são médias e desvio padrão de ( $n=10$ ) -----	22

Figura 10. Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos em folhas de plantas jovens de jatobá nas estações seca e chuvosa, sendo A) Razão clorofila *a/b* (Cl<sub>a</sub>/Cl<sub>b</sub>), B) Razão carotenoides/clorofila total (Car/Cl<sub>t</sub>) e C) Índice de feofitinação (IF) em plantas jovens jatobá na estações seca e chuvosa. Os dados são médias e desvio padrão de (*n*=10) ----- 23

## CAPÍTULO II

Figura 1. Ambientes de crescimento de plantas jovens de jatobá, submetidas a diferentes irradiâncias (A - 45  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , B - 230  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , C - 510  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , D - 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ /pleno sol) ----- 43

Figura 2. Plantas jovens de jatobá submetidas a condições crescentes de irradiância no ambiente de crescimento. A) 45  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , B) 230  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , C) 510  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e D) 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (pleno sol) ----- 49

Figura 3. Plantas jovens de jatobá submetidas a condições crescentes de irradiância combinadas com duas tensões hídricas no solo. A) 45  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , B) 230  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , C) 510  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , D) 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (pleno sol)----- 50

Figura 4. A) Taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A -  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), B) Condutância estomática ( $g_s$  -  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), C) relação  $C_i/C_a$  e D) Taxa transpiratória ( $E$  -  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em plantas jovens de jatobá em função da irradiância de crescimento e dos dias após imposição dos tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre os dias e minúscula entre irradiâncias, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados em 4B são médias e desvio padrão de (*n*=10) ----- 51

Figura 5. A) Rendimento quântico máximo do fotossistema II (F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>), B) Rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Delta F/F_m'$ ), C) Taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) e D) Coeficiente de extinção não fotoquímica (NPQ) em plantas jovens de jatobá em função da irradiância de crescimento e dos dias após a imposição dos tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre os dias e minúscula entre irradiâncias, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de (*n*=10) ----- 53

Figura 6. Taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) em plantas jovens de jatobá em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de (*n*=10)--- 54

Figura 7. A) Taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A -  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), B) Condutância estomática ( $g_s$  -  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), C) relação  $C_i/C_a$  e D) Taxa transpiratória ( $E$  -  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em plantas jovens de jatobá, em função da irradiância de crescimento e do período (dias) de tratamento. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre os dias e minúscula entre as irradiâncias, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de (*n*=10) ----- 55

Figura 8. A) Taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> ( $A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), B) Condutância estomática ( $g_s - \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) C) Relação  $C_i/C_a$  e D) Taxa transpiratória ( $E - \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em plantas jovens de jatobá em função do regime hídrico. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n=60$ ) ----- 56

Figura 9. Potencial Hídrico ( $\Psi_w$ ) em plantas jovens de jatobá, em função do regime hídrico. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n=60$ ) ----- 57

Figura 10. Potencial Hídrico ( $\Psi_w$ ) em plantas jovens de jatobá, em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n=40$ ) ----- 58

Figura 11. Conteúdo relativo de água (CRA%) em plantas jovens de jatobá, em função da irradiância de crescimento e do regime hídrico. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre o regime hídrico e minúscula entre as irradiâncias, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n=60$ ) ----- 59

Figura 12. Taxa de liberação de eletrólitos (TLE%) em plantas jovens de jatobá, em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n=40$ )--- 60

Figura 13. A) Rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), B) Rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Delta F/F_m'$ ), C) Taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) e D) Coeficiente de extinção não fotoquímica (NPQ), em plantas jovens de jatobá em função da irradiância de crescimento e do período (dias) de tratamento. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre os dias e minúscula entre as irradiâncias, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n=10$ ) ----- 62

Figura 14. A) Conteúdo de clorofila  $a$ , B) carotenoides, C) clorofila  $b$  e D) razão clorofila  $a/b$  de plantas jovens de jatobá em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n=10$ ) ----- 64

Figura 15. A) Conteúdo de clorofila total (Cl $t$ ), B) razão carotenoides/clorofilas (Car/Cl $t$ ) e C) índice de feofitinação (IF) de plantas jovens de jatobá, em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias ( $n=10$ ) ----- 65

Figura 16. A) Altura, B) área foliar e C) área foliar específica de plantas jovens de jatobá em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias ( $n=10$ ) ----- 67

----- 67



Figura 17. A) Comprimento de raiz e B) massa seca de raiz (MSR), de plantas jovens de jatobá em função da irradiância de crescimento e regime hídrico. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias ( $n=60$ ) ----- 68

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS E ABREVIATURAS

$\Delta F/F_m'$	-----	Rendimento quântico efetivo
$A$	-----	Taxa fotossintética ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
$AF$	-----	Área foliar ( $\text{cm}^2$ )
$AFE$	-----	Área foliar específica ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ )
$\text{CaCO}_3$	-----	Carbonato de cálcio
$Car$	-----	Carotenoides ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )
$CC$	-----	Capacidade de Campo (%)
$Cl_a$	-----	Clorofila $a$ ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )
$Cl_b$	-----	Clorofila $b$ ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )
$Cl_t$	-----	Clorofilas totais ( $\mu\text{g cm}^{-2}$ )
$CRA$	-----	Conteúdo relativo de água (%)
$DFD$	-----	Densidade de Fluxo de Fótons ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
$DMSO$	-----	Dimetilsulfóxido
$DPV$	-----	Déficit de pressão de vapor (KPa)
$E$	-----	Taxa Transpiratória ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
$ETR$	-----	Taxa relativa de transporte de elétrons ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
$F_m$	-----	Fluorescência máxima
$F_o$	-----	Fluorescência mínima
$FS I$	-----	Fotossistema I
$FS II$	-----	Fotossistema II
$F_v$	-----	Fluorescência variável
$F_v/F_m$	-----	Rendimento Quântico Máximo do Fotossistema II
$IF$	-----	Índice de feofitinação
$MSC$	-----	Massa seca caule (mg)
$MSR$	-----	Massa seca de raiz (mg)
$NPQ$	-----	Coefficiente de extinção não fotoquímica
$PAR$	-----	Radiação fotossinteticamente ativa ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
$qP$	-----	Coefficiente de extinção fotoquímica
$T^\circ\text{C}$	-----	Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )
$TLE$	-----	Taxa de liberação de eletrólitos (%)
$UR$	-----	Umidade Relativa (%)
$\Psi_w$	-----	Potencial hídrico (MPa)

## RESUMO

REZENDE, L. Sueisla, M.Sc., Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO, Fevereiro de 2012. **Alterações fotossintéticas de plantas jovens jatobá em condições contrastantes de irradiância e disponibilidade hídrica.** Orientador: Dr. Alan Carlos Costa. Coorientadores: Clarice Aparecida Megguer e Fabiano Guimarães Silva.

O cerrado é caracterizado por um mosaico de paisagens que varia de acordo com a predominância e o porte dos elementos lenhosos. A intensidade de luz e o regime hídrico são os fatores que podem afetar a atividade fotossintética das plantas, em que a combinação, de altas irradiâncias e deficiência hídrica, promovem decréscimos no rendimento quântico, acarretando a fotoinibição. Objetivou-se com este estudo, caracterizar respostas da eficiência fotossintética de plantas jovens de jatobá (*Hymenaea stigonocarpa* Mart) em três condições distintas: em ambiente natural de ocorrência nas estações seca e chuvosa; e em condições impostas com diferentes irradiâncias de crescimento; e combinação de diferentes irradiâncias de crescimento com déficit hídrico. Foram realizadas avaliações das trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, potencial hídrico e o conteúdo de pigmentos cloroplastídicos das plantas, no monitoramento das plantas no ambiente natural nas estações seca e chuvosa. A caracterização do efeito da irradiância e da combinação com déficit hídrico nos processos fotossintéticos das plantas de jatobá foi realizada em quatro condições de irradiância, sendo: 45, 230, 510 e 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , e em dois níveis de água, 90% e 50% da capacidade de campo. Foram avaliadas as trocas gasosas, potencial hídrico, CRA, TLE, fluorescência da clorofila *a*, conteúdo de pigmentos e acúmulo de matéria

seca. Os resultados obtidos demonstram que plantas jovens de jatobá mantêm o aparato fotossintético funcional mesmo na estação seca. As irradiâncias de 230 e 510  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , proporcionaram maiores valores de taxa fotossintética e maiores alturas de plantas. A irradiância de 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , promoveu fotoinibição da fotossíntese, evidenciada pela baixa razão  $F_v/F_m$ , menor  $\Delta F/F_m'$  e menor ETR seguido por um maior NPQ. Além disso, decréscimos nos valores de taxa fotossintética, condutância estomática, relação  $C_i/C_a$  e taxa transpiratória, bem como redução no conteúdo de clorofilas *a*, *b*, *total* e no IF. O regime hídrico imposto, não influenciou as características da fluorescência da clorofila *a* e o conteúdo de pigmentos, no entanto promoveu uma limitação estomática, evidenciada pela redução nas características das trocas gasosas.

**Palavras-chave:** fotossíntese, fluorescência, irradiância, *Hymenaea stigonocarpa* Mart

## ABSTRACT

REZENDE, L. Sueisla, M.Sc., Goiano Federal Institute – *Campus* Rio Verde – GO, February 2012. **Photosynthetic changes of young plants of jatoba in contrasting conditions of irradiance and water availability.** Advisor: Dr. Alan Carlos Costa. Co-advisors: Clarice Aparecida Megguer and Fabiano Guimarães Silva.

The Brazilian savanna is characterized by a mosaic of landscapes that vary with predominance of grasses and woody elements. The light intensity and hydric conditions are factors that could affect the photosynthetic activity of plants. So combining high irradiance and hydric deficit can reduce quantum yield, leading to photoinhibition. This study was carried out to characterize responses of photosynthetic efficiency of young plants of jatoba (*Hymenaea stigonocarpa* Mart) under three different conditions: in the natural environment during dry and rainy season; imposed different growth irradiances; combining different growth irradiances with hydric deficit. During dry and rainy season the plants were evaluated the gas exchange, chlorophyll fluorescence, hydric potential and content of chloroplastidic pigment. To characterize the effects of irradiance and combination irradiance with hydric deficit in the photosynthetic processes the experiment was carried out with jatoba under different irradiances: 45, 230, 510 and 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , and to water levels, 90 and 50% of yield capacity. Were evaluated gas exchange, hydric potential, RWC, TLE, chlorophyll fluorescence, pigment content and dry matter accumulation. The results show that photosynthetic apparatus remained functional even in the dry season. Irradiance of 230 and 510  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  provided the highest values of photosynthetic rate and greater heights of plants. Irradiance of 1700

$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , promote photoinhibition of photosynthesis, as evidenced by low Fv/Fm, radio, low  $\Delta\text{F}/\text{Fm}'$  and low ETR followed by highest NPQ. Furthermore, were verified decreases on photosynthetic rate, stomatal conductance, relation Ci/Ca and transpiration rate, as reduction in content of chlorophyll *a*, *b*, total and IF index. Hydric condition did not influence the fluorescence characteristics and pigments content, however promoted a stomatal limitation, as evidenced by reduction in gas exchange.

**Key words:** Photosynthesis, fluorescence, irradiance, *Hymenea stagnocarpa* Mart.

## INTRODUÇÃO

O cerrado brasileiro é a maior região de savana neotropical do mundo, ocupando aproximadamente  $2 \times 10^6$  Km<sup>2</sup> do território brasileiro, posicionado na porção central da América do Sul e apresenta áreas de transição com outros biomas desse continente: a Mata Atlântica, a Floresta Amazônica, a Caatinga e o Pantanal (RIBEIRO & WALTER, 1998; RONQUIM et al., 2009; PALHARES et al., 2010). Esta posição contribui para que o cerrado seja destaque como grandes centros de biodiversidade, com uma flora diversificada e rica em espécies endêmicas, apresentando grande diversidade fisionômica e florística em seus domínios (RONQUIM et al., 2009; PALHARES et al., 2010). Diversidade controlada por fatores bióticos e abióticos que determinam mudanças qualitativas e quantitativas na composição florística (RIBEIRO & WALTER, 1998; REYNOLDS-HENNE et al., 2010) e conseqüentemente ditam o estabelecimento, crescimento e sobrevivência das plantas (TAKAHASHI et al., 2010).

Os fatores ambientais bióticos são resultantes das interações com outros organismos, como infecção ou danos mecânicos por herbivoria. Os fatores ambientais abióticos incluem temperatura, umidade, intensidade de luz, o fornecimento de água, sais minerais e de CO<sub>2</sub>, sendo esses os parâmetros e recursos que determinam o crescimento de uma planta (LICHTENTHALER et al., 1999; CRAMER et al., 2011).

Assim fatores de estresse combinado ocorrem simultaneamente em ambientes naturais, de modo que independente do lugar que as plantas cresçam, elas estão frequentemente expostas a condições de múltiplos estresses, como por exemplo, alta luminosidade em combinação com déficit de água no campo (ALVES et al 2002). Além disso, o nível e a duração do estresse podem ter um significativo efeito sobre a complexidade da resposta (PINHEIRO et al., 2011).

Na região do cerrado, principalmente nas formações abertas, as plantas sofrem com os processos denominados fotoinibição e fotoxidação no período compreendido entre outono e primavera em razão da exposição às condições de alta intensidade luminosa, temperatura elevada e baixa umidade relativa, fatores estes que, quando associados ao estresse hídrico, prejudicam grandemente o crescimento e desenvolvimento das plantas (POWLES, 1984). Segundo Takahashi (2010), a disponibilidade de luz e o regime de chuvas influenciam marcadamente o estabelecimento e sobrevivência de plantas na savana.

A intensidade de luz e a restrição hídrica são os fatores que podem afetar a atividade fotossintética das plantas, por promover efeito no processo de abertura e fechamento dos estômatos. A combinação de altas irradiâncias e estresse hídrico severo pode promover um decréscimo significativo do rendimento quântico, causando uma significativa redução na eficiência da fotossíntese (VALLADARES & PEARCY, 2002; ARAÚJO & DEMINICIS, 2009). A planta para se adaptar à disponibilidade de luz disponível durante seu crescimento, necessita promover ajustes no seu aparato fotossintético a fim de adquirir uma maneira eficiente de utilizar a luz disponível (SILVA et al., 2007; RUGER et al., 2011).

A compreensão dos processos fisiológicos envolvidos nos mecanismos de adaptação e aclimação de plantas sob condição de estresses ambientais é de grande importância para a agricultura e o meio ambiente (LARCHER, 2006; TAIZ & ZEIGER, 2009). Desta forma, as espécies arbóreas brasileiras têm despertado o interesse de vários pesquisadores em demonstrar comportamentos adaptativos às condições do ambiente (NASCIMENTO et al., 2011).

Objetivou-se com este estudo, caracterizar a eficiência fotossintética de plantas jovens de jatobá (*Hymenaea stigonocarpa* Mart) em três condições distintas, sendo: em ambiente natural de ocorrência nas estações seca e chuvosa; em condições impostas com diferentes irradiâncias de crescimento; e combinação de diferentes irradiâncias de crescimento com déficit hídrico.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, P.L.C.A.; MAGALHAES, A.C.N.; BARJA, P.R. The phenomenon of photoinhibition of photosynthesis and its importance in reforestation. **The Botanical Review**, v. 68, n.2, p.193 - 208, 2002.

CARVALHO, M. Variações morfofisiológicas e eficiência do uso da água em *Ricinus communis* L. submetida ao déficit hídrico regulado. **Dissertação** (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus – Bahia, 2010.

CRAMER, G. R.; URANO, K.; DELROT, S.; PEZZOTTI, M.; SHINOZAKI, K. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. **BMC Plant Biology**, v.11, 166 p, 2011.

FAVARETTO, V.F. Estudo comparativo dos mecanismos de defesa contra radicais livres em espécies arbóreas pioneiras e não pioneiras de Mata Mesófila Semidecidual. **Tese**. (Doutorado em Biologia Comparada) Ribeirão Preto, 2009.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006. 531p.

LICHTENTHALER, H. K.; BURKART, S. Photosynthesis and high light stress. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, v. 25, n.3–4, p. 3–16,1999.

NASCIMENTO, H.H.C.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; SILVA, E.C.; SILVA, M.A. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) Em diferentes níveis de água no solo. **Revista Árvore**, v.35, n.3, Edição Especial, p.617-626, 2011.

PALHARES, D.; FRANCO, A.C, ZAIDAN, L.B.P. Respostas fotossintéticas de plantas de cerrado nas estações seca e chuvosa. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 213-220, 2010.

PINHEIRO C; CHAVES. M.M: Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal Experiment Botanic**, v. 62, n.3, p.869- 882, 2011.

POWLES, S.B. Photoinhibition of photosynthesis by visible light. **Annual Review of Plant Physiology**, v.35, p. 15-44, 1984.

REYNOLDS-HENNE, C. E.; LANGENEGGER. A.; MANI. J.; SCHENK. N, ANITA, Z. A.; FELLER, U. Interactions between temperature, drought and stomatal opening in legumes. **Environmental and Experimental Botany**, v.68, p. 37 - 43, 2010.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma cerrado. In: SANO, M. S.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa/CPAC, p. 89-168, 1998.

RONQUIM, C.C.; PRADO, C.H.B.A.; SOUZA, J.P. Growth, photosynthesis and leaf water potential in Young plants of *Capaifera langsdorffii* Desf. (Caesalpinaceae) under contrasting irradiances. **Brazilian Society of Plant Physiology**, v.21, n.3, p.197- 208, 2009.

RUGER, N. BERGER U, HUBBELL SP, VIEILLEDENT G, CONDIT R. Growth Strategies of Tropical Tree Species: Disentangling Light and Size Effects. **Plos One**, v. 6, n.9, 2011.

SHARMA, A. D., M.; KAUR, P. Combined effect of drought stress and heat shock on cyclophilin protein expression in *Triticum aestivum* generaland applied. **Plant Physiology**, v. 35, n.1-2, p. 88 – 92, 2009.

SILVA, R.R.; FREITAS.G.A.; SIEBENEICHLER. S.C.; MATA J.F.; CHAGAS.J.R. Desenvolvimento inicial de plântulas de *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum sob influência de sombreamento. **Acta Amazonica**, Manaus, v.37, n. 3, p. 365-370, 2007.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. Los Angeles: Sinauer Associates Inc. 792 p.1998.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre, Artmed (2004). 719p.

TAKAHASHI, F. S. C. Atributos e tipos funcionais de espécies lenhosas no cerrado. **Tese** (Doutorado em Ecologia) Universidade de Brasília, 2010.

VALLADARES, F; PEARCY, R.W. Drought can be more critical in the shade than in the sun: a field study of carbon gain and photo-inhibition in a Californian shrub during a dry El Niño year. **Plant Cell Environment**, v. 25, p. 749-756, 2002.

VALLADARES. F & PEARCY, R.W. Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the *Sclerophyll Heteromeles arbutifolia*. **Plant Cell and Environment**, v. 20, p.25-36, 1997.

## **CAPÍTULO I**

### **CARACTERIZAÇÃO FOTOSSINTÉTICA DE PLANTAS JOVENS DE JATOBÁ NAS ESTAÇÕES SECA E CHUVOSA EM AMBIENTE DE CERRADO**

## RESUMO

O cerrado possui duas estações bem definidas, uma seca que ocorre de maio a setembro, e outra chuvosa, de outubro a abril. O período de seca é geralmente acompanhado por uma maior radiação solar, com pouca ou nenhuma precipitação. Neste período as plantas estão sujeitas a sofrerem fotoinibição. A combinação de maior demanda evaporativa e baixa precipitação durante a estação seca torna o cerrado um ambiente estressante para as plantas. Objetivou-se com este estudo caracterizar as respostas fotossintéticas de indivíduos jovens de jatobá (*Hymenaea stigonocarpa* Mart) em condições naturais de ocorrência em duas condições distintas de sazonalidade no ambiente, sendo a estação seca e estação chuvosa. Foram feitas avaliações das trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, potencial hídrico, conteúdo de água no solo e conteúdo de pigmentos cloroplastídicos em dois períodos distintos, na estação seca no mês de agosto de 2011 e na estação chuvosa em janeiro de 2012. Durante a estação seca foram observados os maiores valores de DPV, menor umidade do ar e menor precipitação. Contudo, os altos valores de déficit pressão vapor do ar, as maiores temperaturas e menor umidade e precipitação, exerceram influência nas características das trocas gasosas. Os resultados obtidos demonstram que mesmo na estação seca, plantas jovens de jatobá mantêm o aparato fotossintético funcional. A estação seca promoveu um menor potencial hídrico foliar, conteúdo de água do solo e menores conteúdos de clorofilas *a*, *b* e *total*.

**Palavras-chave:** *Hymenaea stigonocarpa* Mart., trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*.

## ABSTRACT

Savanna has two defined seasons, a drought that happen from May to September and a rainy season, from October to April. The dry period is usually accompanied by a higher solar radiation, with little or no precipitation. During this period plants may suffer photoinhibition. Combining higher evaporative demand and low precipitation during the dry season makes the savanna a stressful environment for plants. This study was carried out to characterize photosynthetic responses of young plants of jatoba (*Hymenaea stigonocarpa* Mart.) under natural conditions occurring in two different conditions, dry and rainy season. Gas exchange, fluorescence of chlorophyll *a*, soil water content and chloroplastic pigments content were made in two distinct periods, dry season – August 2011, and rainy season – January 2012. However, high values of air vapor pressure deficit, higher temperatures and lower humidity and precipitation promoted influence on gas exchange characteristics. The results show that even in dry season, young plants of 'jatoba' keep functional photosynthetic apparatus. Dry season promoted a lower leaf water potential, soil water content and lower content of chlorophyll *a*, *b* and total.

**Key words:** *Hymenaea stigonocarpa* Mart., gas exchange, fluorescence of chlorophyll *a*.

## 1. INTRODUÇÃO

O cerrado é caracterizado por um mosaico de paisagens que varia de acordo com a predominância e o porte dos elementos lenhosos, apresentando vários tipos fisionômicos, entre eles estão o campo limpo, campo sujo, cerrado *sensu stricto* e cerradão (NAVES-BARBIERO et al., 2000). É destaque como um dos grandes centros de biodiversidade, com uma flora diversificada e rica em espécies endêmicas, apresentando grande diversidade fisionômica e florística em seus domínios (RONQUIM et al., 2009; PALHARES et al., 2010). O cerrado possui duas estações bem definidas, uma seca que ocorre de maio a setembro, e outra chuvosa, de outubro a abril, com precipitação média anual em torno de 1.500 mm, variando de 700 a 2.000 mm (WALTER, 2006).

Ocorrendo neste ambiente dinâmico e contrastante, encontra-se o jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex. Hayne (Leguminosae: Caesalpinoideae)). A espécie é classificada, de acordo com o grupo sucessional, como uma espécie secundária tardia (DURIGAN, NOGUEIRA, 1990), comum nas formações abertas do cerrado *sensu stricto* e campo cerrado, encontrada em terrenos bem drenados. A árvore possui altura entre 6 a 9 m e 30 a 50 cm de diâmetro (LORENZI, 1998; CARVALHO, 2007). A árvore tem um grande potencial de uso na recuperação de áreas degradadas, por causa de seu porte e a necessidade de expansão de suas raízes, é recomendada para a arborização de parques, grandes jardins e como quebra-vento em pastagens, podendo ser plantada em monocultura ou sistemas agroflorestais (LORENZI, 2000).

O período de seca é geralmente acompanhado por uma maior radiação solar, com pouca ou nenhuma precipitação. Neste período as plantas estão sujeitas a sofrerem fotoinibição e fotoxidação exposição às condições de alta irradiância, temperatura elevada e baixa umidade relativa, fatores estes que associados ao déficit hídrico, prejudicam o crescimento e o desenvolvimento das plantas (POWLES, 1984). A combinação de maior demanda evaporativa e baixa precipitação durante a estação seca torna o cerrado um ambiente estressante para as plantas vasculares (BUCCI et al., 2008). Segundo Palhares et al., (2010) a seca é o principal fator anual de estresse ambiental no cerrado.

A fluorescência da clorofila *a* é uma importante ferramenta no estudo de estresse em plantas, sendo um indicador da eficiência fotoquímica e da ocorrência da fotoinibição em plantas (BJÖRKMAN & DEMMIG, 1987; KRAUSE & WEIS, 1991). O parâmetro  $F_v/F_m$  representa o rendimento quântico máximo do fotossistema II, e está relacionado ao quanto de luz absorvida pelo FSII que é utilizada para reduzir o *pool* de  $Q_A$  e induzir o processo fotoquímico (SILVA, 2010). Seus valores podem variar entre 0,75 a 0,85 em plantas não submetidas ao estresse (RONQUIM et al., 2009; BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989), entretanto o decréscimo na eficiência quântica potencial do FSII é um indicativo de estresse do ambiente (ARAÚJO & DEMINICIS, 2009).

Objetivou-se neste estudo caracterizar as respostas fotossintéticas de indivíduos jovens de jatobá (*Hymenaea stigonocarpa* Mart) em condições distintas de sazonalidade no ambiente, sendo a estação seca e estação chuvosa.

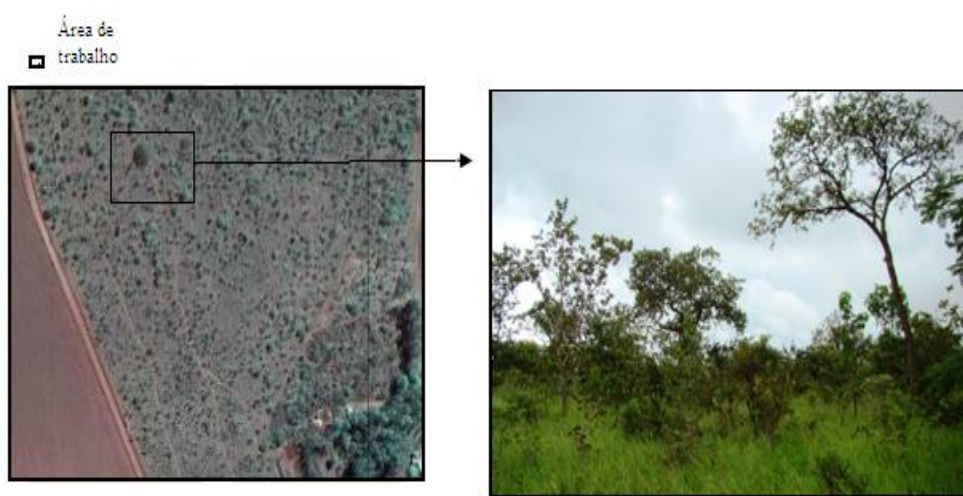
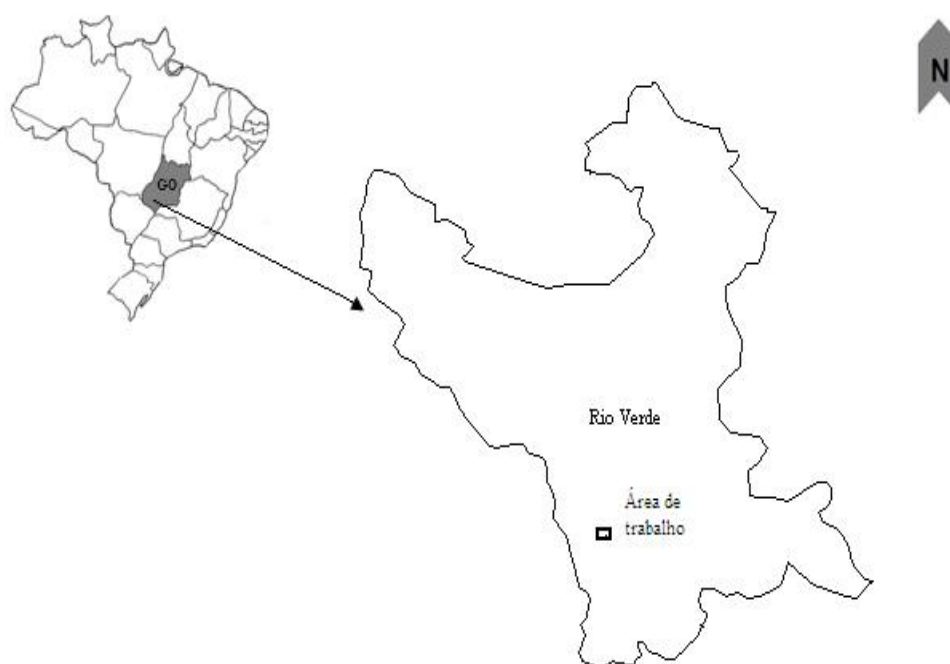
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Local de estudo

O local de estudo compreende um fragmento de cerrado, com fitofisionomia do tipo *sensu stricto*, localizado em uma área experimental da Universidade de Rio Verde (FESURV) nas coordenadas latitude de 17°47'24"S e longitude de 50°56'31" W, situada na cidade de Rio Verde, Estado de Goiás (Figura 1).



O clima do município de Rio Verde, de acordo com a Köppen, é do tipo Aw (clima tropical úmido) com inverno seco e verão chuvoso. A estação chuvosa ocorre de outubro a abril e a estação seca de maio a setembro, com temperatura média anual de 15°C a 30°C; precipitação média anual de 15 mm (meses de julho e agosto) a 300 mm (mês de janeiro) (CASTRO et al., 2009); umidade relativa do ar de aproximadamente 75% no verão e abaixo de 30% no inverno seco (SEVERIANO et al., 2011).



**Figura 1.** Localização da área de estudo da Universidade de Rio Verde (FESURV) Rio Verde - Goiás.

## 2.2. Dados climáticos

Foram obtidos os dados climáticos da área de estudo, compreendendo a temperatura máxima e mínima, umidade relativa (UR%) e precipitação. Os dados foram coletados durante os meses de janeiro de 2011 a janeiro de 2012 e são originados da estação meteorológica da Universidade de Rio Verde (FESURV). O déficit de pressão de vapor do ar ( $DPV_{ar}$ ) foi calculado, segundo a equação proposta por JONES, (1992).

$$DPV_{ar} \quad (\text{kPa}) \quad = \quad 0,61137e^t \quad * \quad (1-UR/100)$$

Eq. [1]

Em que  $t$  é calculado pela equação:

$$t \quad = \quad 17,502 \quad * \quad (T_{arec}) \quad / \quad (240,97 \quad + \quad T_{arec})$$

Eq. [2]

UR é a umidade relativa do ar em % e  $T_{arec}$  é a temperatura do ar em °C.

## 2.3. Caracterização das plantas no ambiente de ocorrência

Foram utilizados indivíduos jovens de jatobá (*Hymenaea stigonocarpa* Mart), crescendo sob condições naturais na área experimental da Universidade de Rio Verde. Dez indivíduos foram selecionados com altura variando entre 50 a 150 cm, cujo aspecto morfológico não indicasse estresse biótico ou abiótico.

Em dois períodos distintos, estação seca (agosto de 2011) (Figura 2A) e na estação chuvosa (janeiro de 2012) (Figura 2B), foram feitas as avaliações das trocas gasosas, potencial hídrico, fluorescência da clorofila *a*, conteúdo de pigmentos cloroplastídicos e conteúdo de água no solo. As avaliações de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* foram feitas em dias ensolarados, foram escolhidas a quarta ou quinta folha do ápice para a base, totalmente expandidas e sem diagnóstico fitossanitário para as avaliações.



**Figura 2.** Imagens do local de estudo em duas estações distintas. A) estação seca, B) estação chuvosa.

#### *2.4. Detalhamento dos procedimentos para avaliação das plantas*

##### *2.4.1. Trocas gasosas*

As trocas gasosas das plantas jovens de jatobá foram avaliadas para registro da taxa fotossintética ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), taxa transpiratória ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e a relação entre a concentração interna e externa de  $\text{CO}_2$  ( $C_i/C_a$ ). Estas avaliações foram realizadas utilizando um sistema portátil de fotossíntese equipado com uma fonte de luz LCI Light Systems (ADC Bioscientific, Herts, England), a qual consiste de um suporte com ventilação contendo uma lâmpada halógena dicróica de 20 W, incidindo uma densidade de fluxo de fótons igual a  $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

#### 2.4.2. *Potencial hídrico foliar e conteúdo de água no solo*

O potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) foi avaliado por meio de uma câmara de pressão do tipo Scholander. Para as medições foram escolhidas a quarta ou quinta folha do ápice para a base, totalmente expandidas e sem diagnóstico fitossanitário, semelhantes às utilizadas para as avaliações das trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*. Para evitar a perda de água por transpiração, as folhas foram cortadas na inserção do pecíolo, envoltas em saco plástico e acondicionadas em caixa de isopor. As avaliações foram realizadas logo em seguida no período da antemanhã, entre as 4h00min e 6h00min, para evitar a perda de turgescência.

O conteúdo de água no solo, foi avaliado por meio de coletas de amostras de solo na área de estudo, posteriormente as mesmas foram pesadas para obtenção do peso úmido e logo após, secas em estufa a 105 °C por 48 horas para determinar o conteúdo de água, seguindo a metodologia proposta pela Embrapa (1997).

#### 2.4.3. *Fluorescência da clorofila a*

A fluorescência da clorofila *a* foi avaliada, utilizando um fluorômetro modulado modelo MINI-PAM (Walz, Effeltrich, Germany). As análises foram feitas segundo a metodologia proposta por Bilger et al., (1995) e Rascher et al., (2000). Inicialmente as folhas foram adaptadas ao escuro por 30 minutos, após este período os tecidos foliares foram expostos a um pulso fraco de luz vermelha ( $0,03 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) obtendo a fluorescência inicial ( $F_0$ ). Seguiu-se a aplicação de um pulso de 0,8s de luz actínica saturante ( $>6000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e determinou a fluorescência máxima ( $F_m$ ). Com estes dados estimou-se o rendimento quântico potencial do fotossistema II, utilizando a equação  $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ . O rendimento quântico efetivo do fotossistema II (GENTY et al., 1989) foi determinado por meio da sobreposição de um pulso de saturação em folhas previamente adaptadas à luz ambiente, sendo calculado como  $\Delta F/F_m' = (F_m' - F)/F_m'$ , em que  $F$  é o rendimento da fluorescência máxima durante o pulso de saturação. O  $\Delta F/F_m'$  foi utilizado para estimar a taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) de acordo com Bilger et al., (1995), mediante o uso da equação  $\text{ETR} = \Delta F/F_m' \times \text{DFF} \times 0,5 \times 0,84$ , onde DFF é a densidade de fluxo de fótons ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) incidente sobre a folha; 0,5 é o valor correspondente à fração da energia de excitação distribuída para o FSII (LAISK & LORETO, 1996) e 0,84 é o valor correspondente à

fração de luz incidente que é absorvida pelas folhas (EHLEINGER,1981). O coeficiente de extinção não fotoquímica de Stern-Volmer foi calculado como  $NPQ = (F_m - F_m')/F_m'$  (BILGER & BJORKMAN, 1990).

#### 2.4.4. *Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos*

O conteúdo de pigmentos cloroplastídicos foi determinado por meio da extração com dimetilsulfóxido (DMSO) mediante ajustes da metodologia descrita por Kuki et al., (2005). Três discos foliares, de folhas completamente expandidas, com 5 mm de diâmetro foram incubados em tubos vedados e envolvidos com papel alumínio contendo 5 mL de DMSO saturado com  $CaCO_3$ , por um período de 48 horas a 65°C. A determinação da absorbância do extrato foi efetuada após este período por meio de um espectrofotômetro UV – VIS, modelo Evolution 60S (Thermo Fisher Scientific, Madison – USA). Os comprimentos de onda, as equações e os cálculos para a determinação do conteúdo de clorofilas *a*, *b* e carotenoides foram baseados na metodologia de Wellburn (1994). A degradação da clorofila também foi avaliada por espectrofotometria, adotando o índice de feofitinação ( $IF = A_{435}/A_{415}$ ), segundo Ronen & Galun (1984).

Para a caracterização das plantas jovens de jatobá no ambiente de ocorrência, nas estações seca e chuvosa, foram utilizados 10 repetições, sendo cada repetição uma planta. Os dados obtidos foram submetidos à estatística descritiva para obtenção da média e do desvio-padrão.

### 3. RESULTADOS

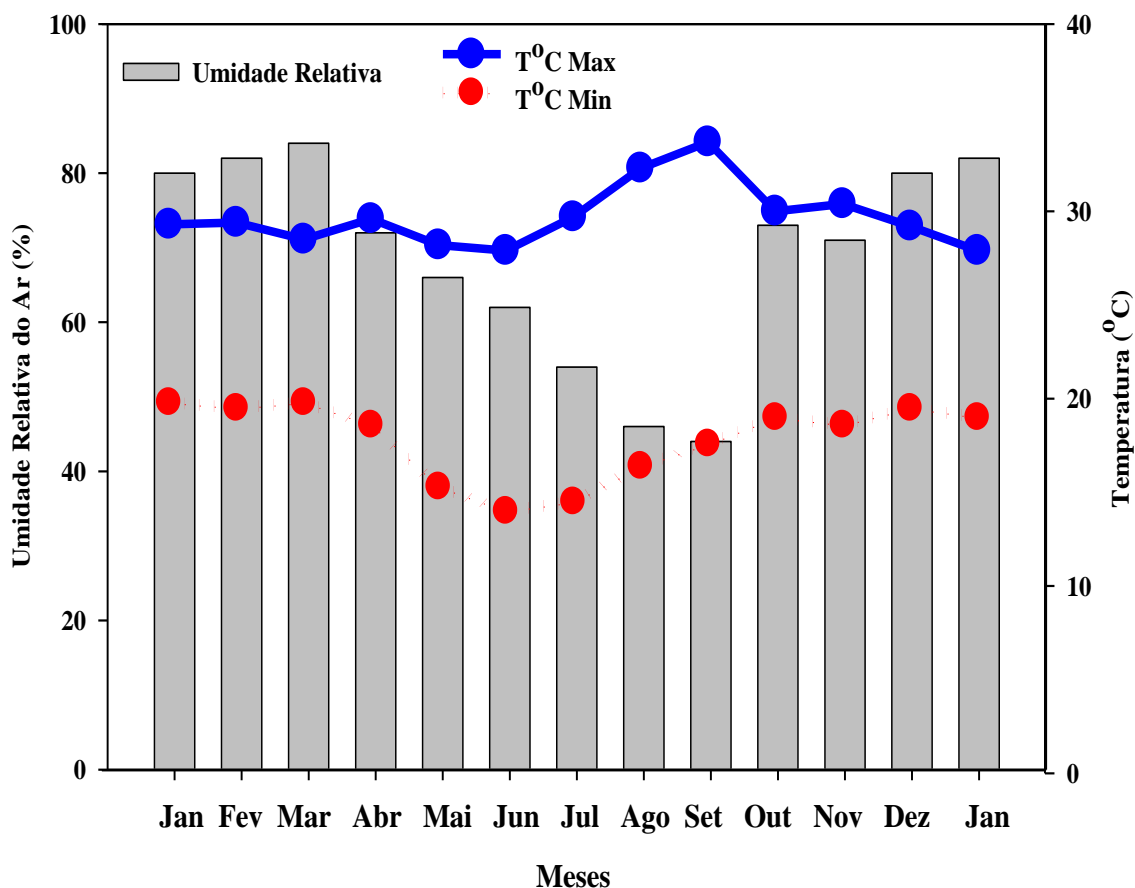
#### 3.1. *Dados climáticos*

Os menores índices de precipitação e umidade relativa do ar (UR%) ocorreram nos meses de maio a setembro de 2011, caracterizando a estação seca (Tabela 1 e Figura 3).

**Tabela 1.** Dados da precipitação (mm) do local de estudo, nos meses de janeiro de 2011 a janeiro de 2012.

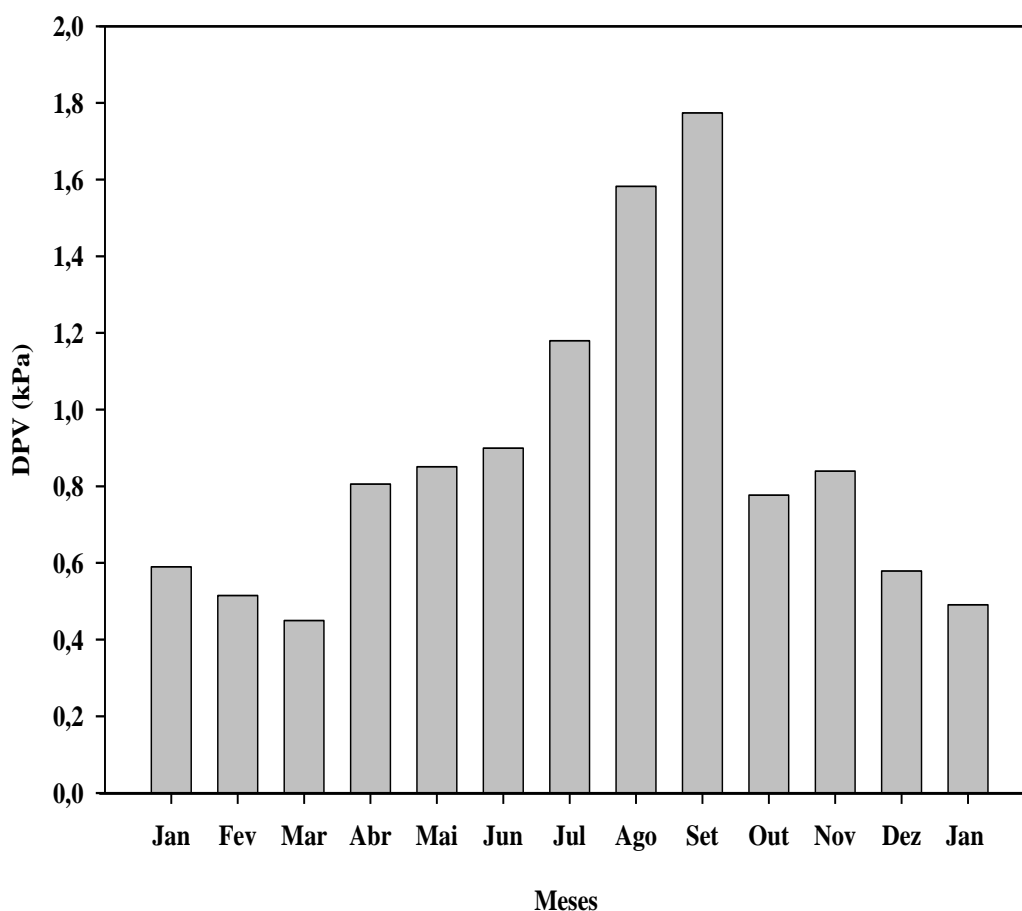
		MESES												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan
<b>Precipitação (mm)</b>		257	262	416	70	0,7	63	0,0	4	10	273	136	165	210

Dentro da estação seca, os meses mais críticos foram agosto e setembro em que a UR (%) foi de aproximadamente 45% em contraste com o mês de janeiro de 2012 em que se verifica valores próximos a 80% (Figura 3).



**Figura 3.** Umidade Relativa (UR%) e temperatura (T°C) máxima e mínima do local de estudo, durante os meses de janeiro de 2011 a janeiro de 2012.

A temperatura máxima com média de 33 °C foi constatada nos meses de agosto e setembro e a mínima nos meses de maio, junho e julho, com valores próximos a 15°C. Maiores valores de déficit de pressão de vapor (DPV), acima de 1,5 KPa, foram observados nos meses de agosto e setembro de 2011 (Figura 4). Enquanto os valores abaixo de 0,6 KPa ocorreram nos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro de 2011 e no mês de janeiro de 2012 (Figura 4).

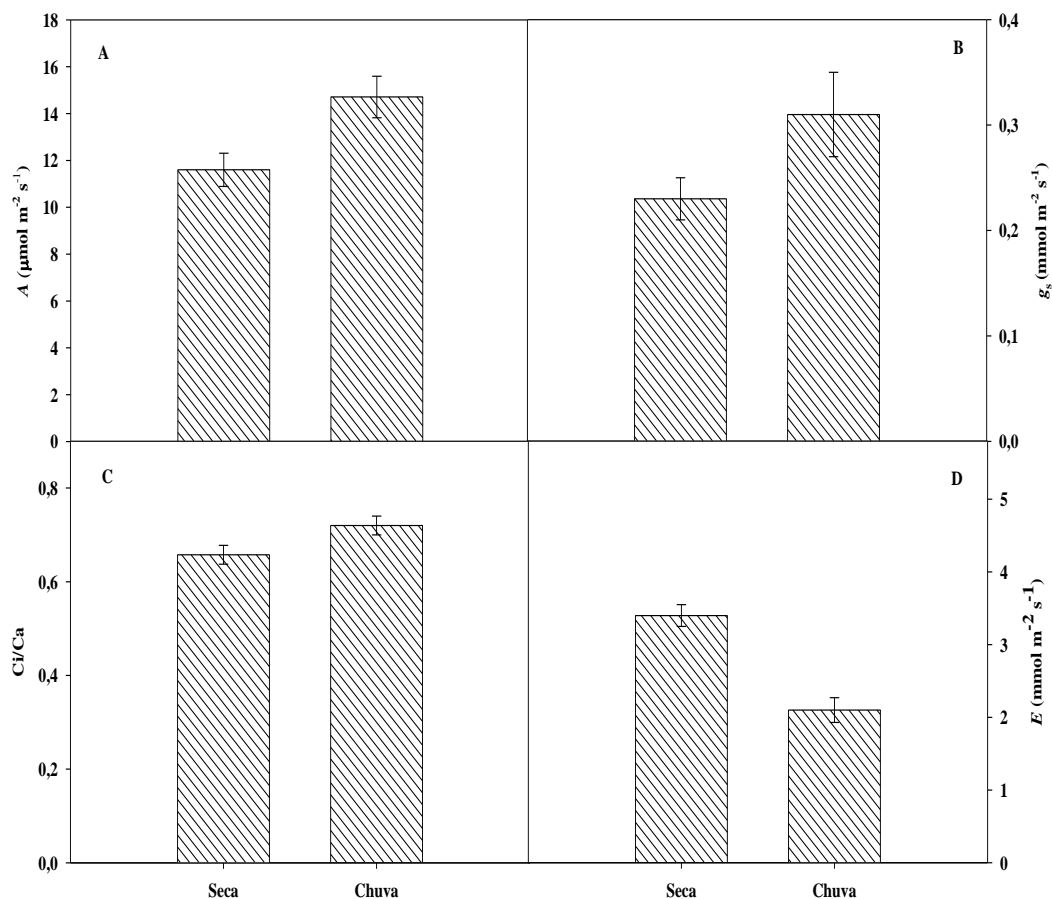


**Figura 4.** Dados do déficit de pressão de vapor (DPV) do local de estudo, durante os meses de janeiro de 2011 a janeiro de 2012.

### 3.2. Trocas gasosas

A sazonalidade do ambiente afetou as trocas gasosas das plantas jovens de jatobá. Os menores valores de  $A$  (Figura 5A),  $g_s$  (Figura 5B) e  $C_i/C_a$  (Figura 5C) foram

encontrados na estação seca quando comparados com a estação chuvosa. No entanto, maiores valores da  $E$  foram observados justamente na estação seca (Figura 5D).

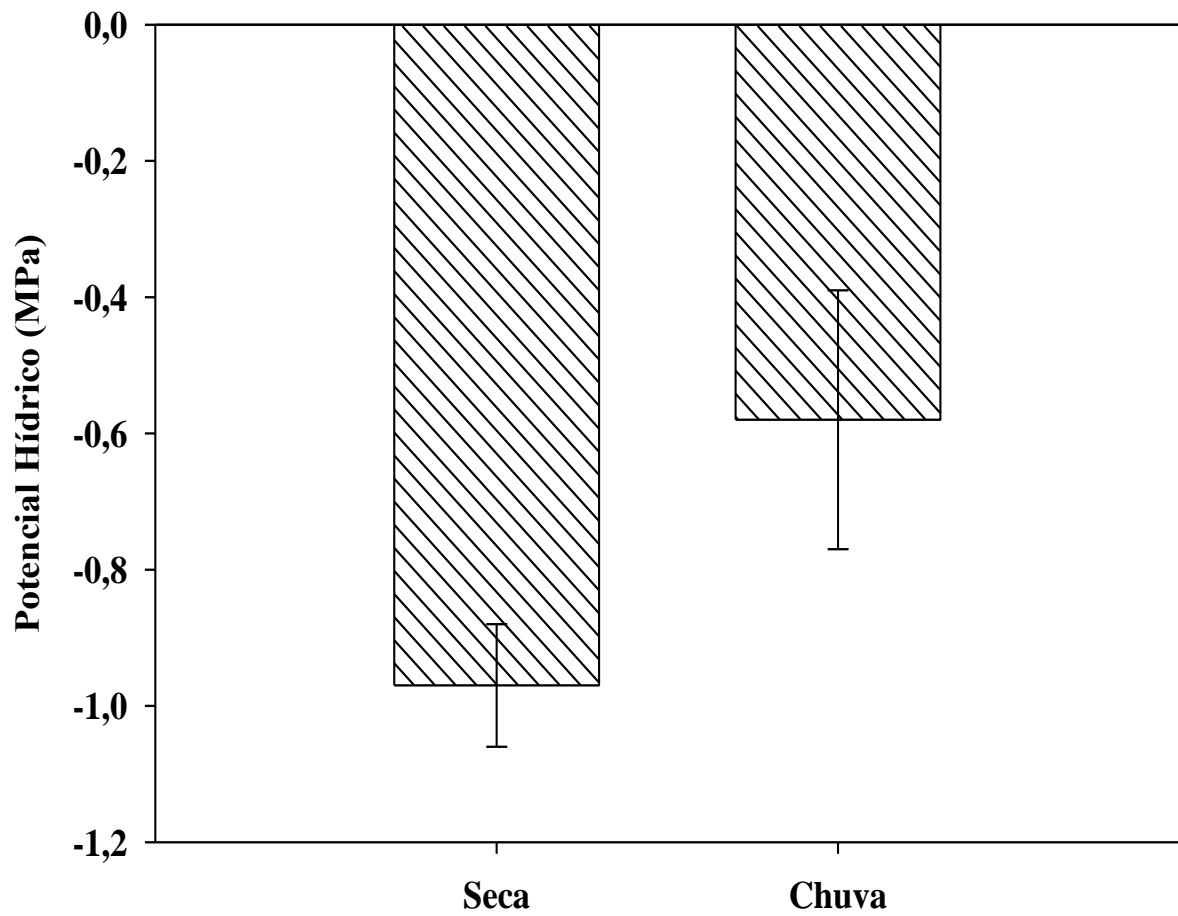


**Figura 5.** Trocas gasosas de plantas de jatobá nas estações seca e chuvosa, sendo A) Taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  ( $A \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), B) Condutância estomática ( $g_s \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), C) Relação  $C_i/C_a$  e D) Taxa transpiratória ( $E \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Os dados são médias e desvio padrão de ( $n = 10$ ).

### 3.3. Potencial hídrico foliar e conteúdo de água no solo

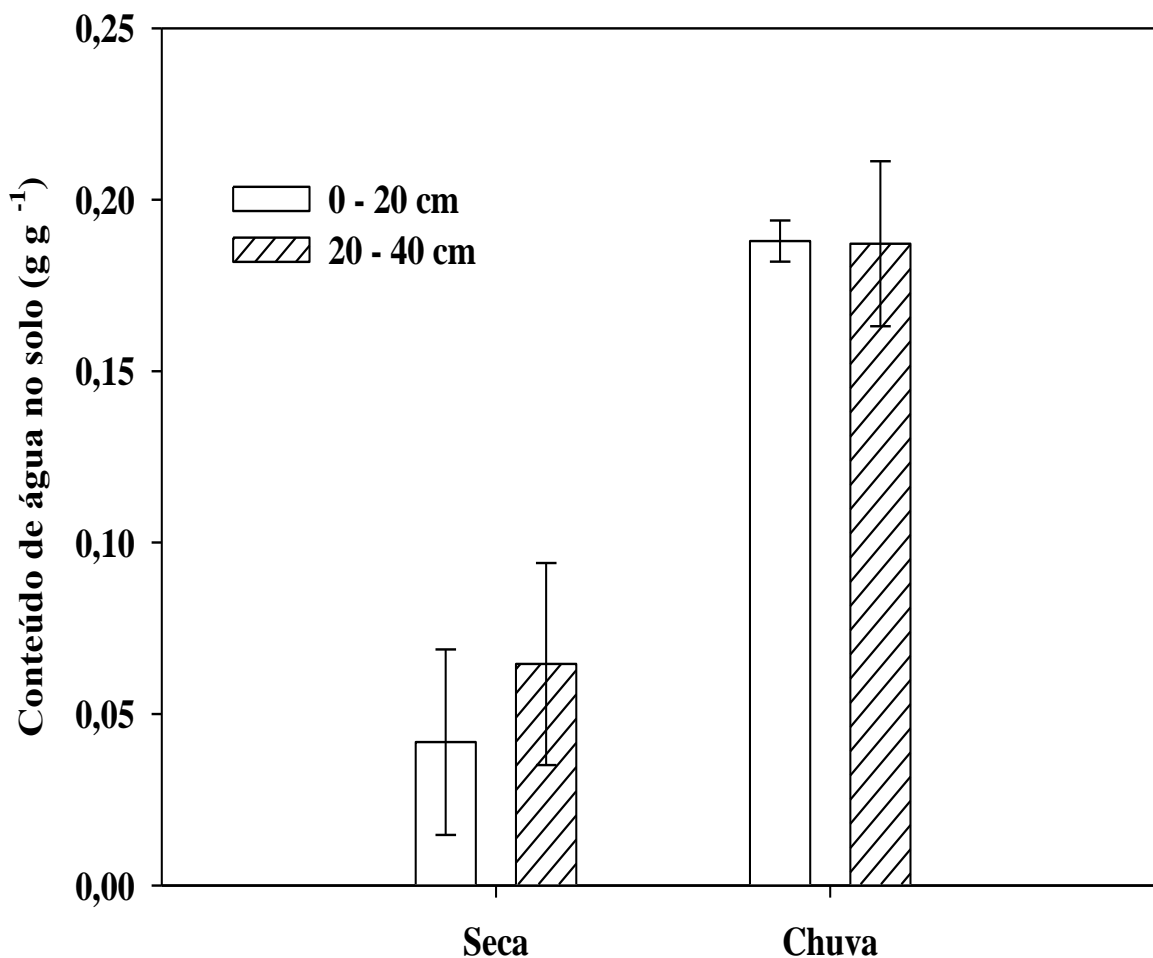
Como esperado, os menores valores do potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) das plantas foi verificado na estação seca, com média de  $-0,97 \text{ MPa}$ . Já na estação chuvosa o valor médio de  $\Psi_w$  foi de  $-0,58 \text{ MPa}$  (Figura 6).





**Figura 6.** Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) de plantas jovens de jatobá nas estações seca e chuvosa. Os dados são médias e desvio padrão de ( $n = 10$ ).

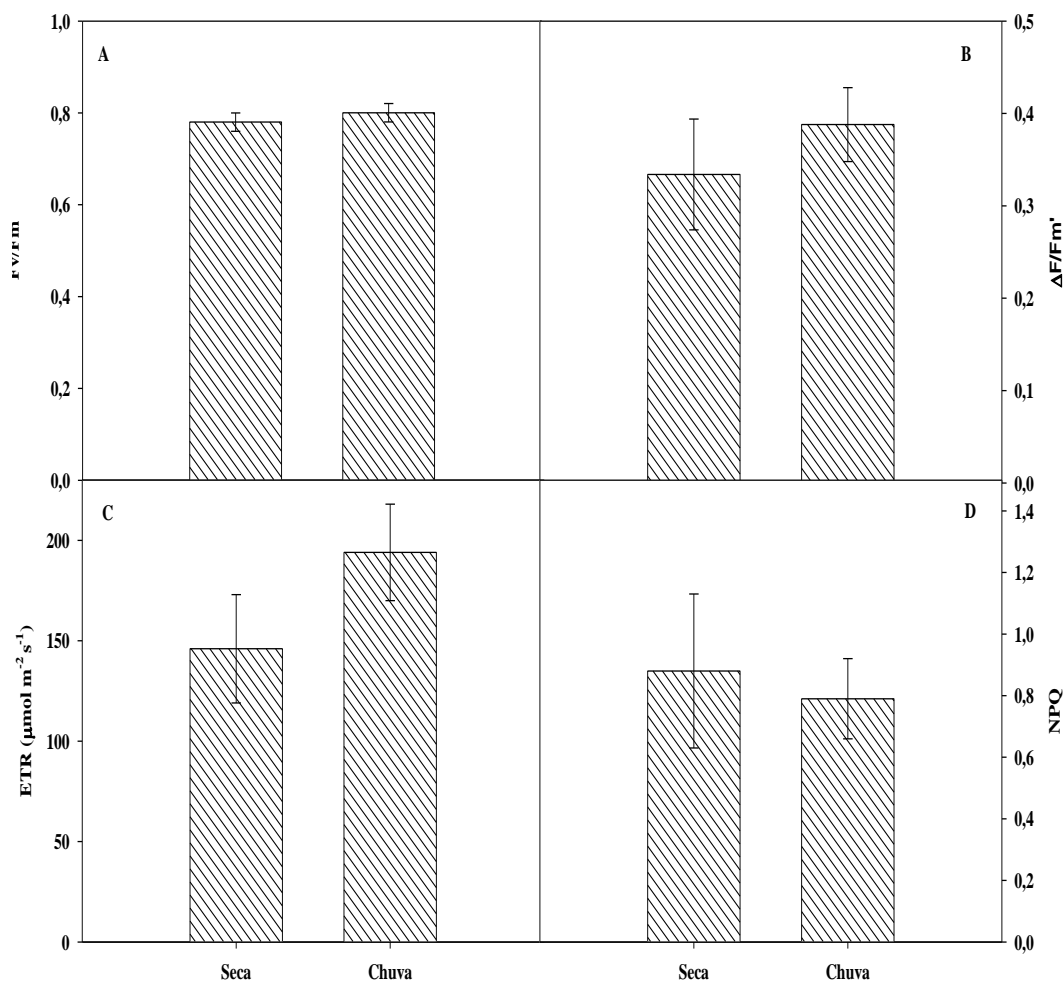
De um modo geral a seca reduziu a disponibilidade de água na planta. Também como esperado o maior conteúdo de água no solo foi verificado na estação chuvosa. No entanto, em cada estação, ao longo do perfil do solo até 40 cm de profundidade, não se observou diferença significativa no conteúdo de água (Figura 7).



**Figura 7.** Conteúdo de água no solo (g g<sup>-1</sup>) do local de estudo, nas estações seca e chuvosa.

#### 3.4. Fluorescência da clorofila *a*

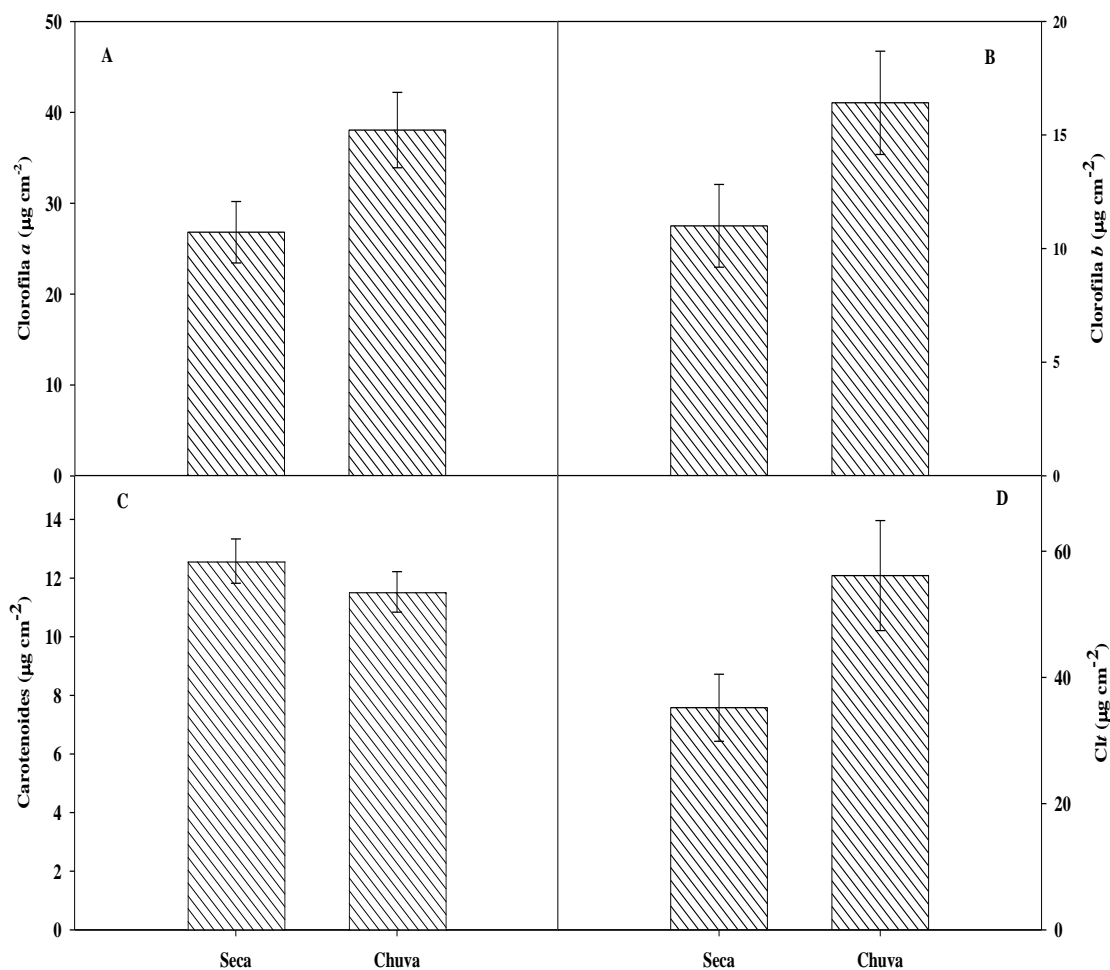
De modo geral, as características da fluorescência da clorofila *a* não variaram entre as duas estações. Independente se a estação era seca ou chuvosa, a razão  $F_v/F_m$  se manteve estável com valores próximos a 0,80 (Figura 8A). Comportamento semelhante à  $F_v/F_m$  foi observado na  $\Delta F/F_m'$  (Figura 8B), na ETR (Figura 8C) e no NPQ (Figura 8D).



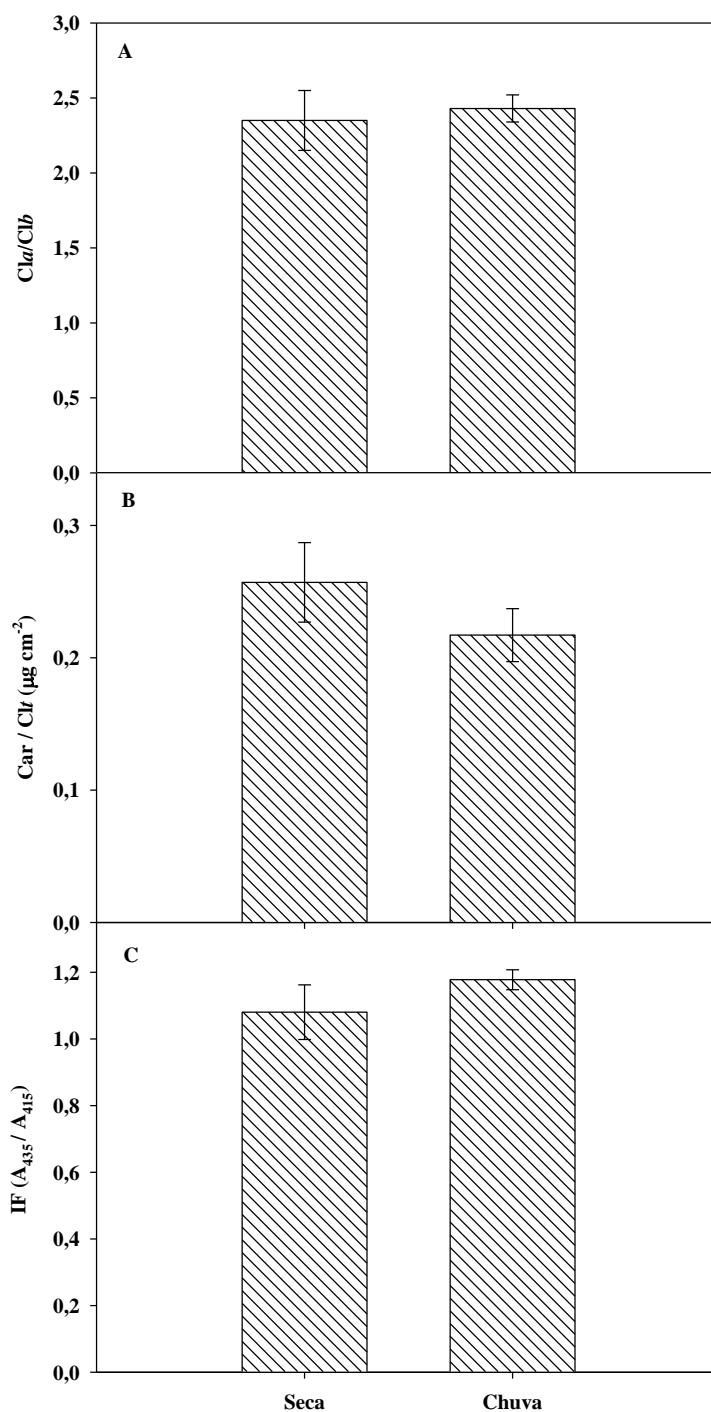
**Figura 8.** Características da fluorescência da clorofila *a* em plantas jovens de jatobá nas estações seca e chuvosa, sendo A) Rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), B) Rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Delta F/F_m'$ ), C) Taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) e D) Coeficiente de extinção não fotoquímica (NPQ). Os dados são médias e desvio padrão de ( $n = 10$ ).

### 3.5. Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos

Para a clorofila *a* (*Cl<sub>a</sub>*) (Figura 9A), clorofila *b* (*Cl<sub>b</sub>*) (Figura 9B) e clorofila total (*Cl<sub>t</sub>*) (Figura 9D) foram observados maiores valores na estação chuvosa quando comparada à estação seca. No entanto, o conteúdo de carotenoides (Figura 9C), razão clorofila *a/b* (*Cl<sub>a</sub>/Cl<sub>b</sub>*) (Figura 10A), razão carotenoides/clorofila total (Figura 10B) e o índice de feofitinação (IF) (Figura 10C) não diferiram entre as estações seca e chuvosa.



**Figura 9.** Conteúdo de pigmentos cloroplásticos em folhas de plantas jovens de jatobá nas estações seca e chuvosa, sendo A) Conteúdo de clorofila *a* (*Cl<sub>a</sub>*), B) clorofila *b* (*Cl<sub>b</sub>*), C) Carotenoides e D) Clorofila total (*Cl<sub>t</sub>*) de plantas jovens de jatobá nas estações seca e chuvosa. Os dados são médias e desvio padrão de ( $n = 10$ ).



**Figura 10.** Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos em folhas de plantas jovens de jatobá nas estações seca e chuvosa, sendo A) Razão clorofila *a/b* (Cl<sub>a</sub>/Cl<sub>b</sub>), B) Razão carotenoides/clorofila total (Car/Cl<sub>t</sub>) e C) Índice de feofitinação (IF) em plantas jovens jatobá na estações seca e chuvosa. Os dados são médias e desvio padrão de ( $n = 10$ ).

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. *Dados climáticos*

Os altos valores de DPV, as maiores temperaturas, a baixa precipitação e umidade, verificados nos meses de agosto e setembro, são características de um ambiente estressante para as plantas vasculares durante a estação seca (BUCCI et al., 2008). A vegetação do cerrado é influenciada pela sazonalidade de precipitação, altas temperaturas e baixa umidade relativa, que impõe alta demanda evaporativa durante a estação seca (SCHOLZ et al. 2010). Os valores de DPV entre 0,5 a 1,8 KPa encontrados neste estudo são próximos com as variações encontradas por Bucci et al., (2008) em ambiente de cerrado, variando entre 0,2 a 2,3 KPa. Segundo Filho, (2006) os valores de DPV entre 0,2 e 1,0 KPa exercem pouco efeito nos processos fisiológicos das plantas como exemplo o processo fotossintético. Na estação seca neste estudo, o DPV foi maior que estes valores, evidenciando os efeitos do DPV sob as características das trocas gasosas em especial efeito da condutância estomática. O déficit de pressão de vapor d'água entre o interior da folha e o ar externo é um importante fator ambiental que afeta o funcionamento estomático (STRECK, 2003).

### 4.2. *Trocas gasosas*

Os menores valores da  $A$ , acompanhados pela redução da  $g_s$  e da razão  $C_i/C_a$  observados na estação seca, demonstram que o efeito da redução da disponibilidade de água no solo esteve relacionado com uma limitação estomática o fechamento parcial dos estômatos, e não a danos metabólicos no ciclo de Calvin. Por outro lado, a diminuição da abertura estomática não foi suficiente para diminuir a perda de água por meio da transpiração. A perda de água no processo transpiratório é um fenômeno físico, governado principalmente pelo déficit de pressão de vapor, mas também fisiológico, governado pelas células estomáticas (SCHULZE et al., 2005).

Apenas uma redução parcial na condutância estomática pode não ser suficiente para diminuir a taxa transpiratória, em situações em que o DPV esteja muito elevado, como verificado na estação seca neste estudo. Segundo Streck, (2003), quando existe

resposta estomática ao DPV, o mecanismo que causa esta resposta não é bem entendido, sendo levantadas duas hipóteses contrastantes, em que a primeira se refere ao “*feedforward*” em que a  $g_s$  diminui diretamente com o aumento do DPV, com o ácido abscísico sendo o sinal para a resposta. A segunda hipótese é a de “*feedback*” ou retroalimentação, em que a  $g_s$  diminui com o aumento do DPV em razão do aumento na transpiração da folha, o que abaixa o potencial de água na folha.

Existem algumas espécies do cerrado que, durante a estação seca, mantêm, deprimem ou mesmo aumentam a  $E$ . As espécies *Andira humilis*, *Caryocar brasiliense*, *Didymopanax vinosum* (Cham. & Schltdl.) March, *Kielmeyera coriacea* (Spr.) Mart, *Qualea parviflora* Mart e *Styrax ferrugineus* Ness et Mart, aumentam a  $E$  durante a estação seca no cerrado (PALHARES et al., 2010). Bucci et al, (2008) observou uma maior transpiração de plantas do cerrado na estação seca quando comparada com a estação chuvosa.

Para espécies arbóreas tropicais, há um efeito sazonal na abertura dos estômatos, que é fortemente controlado por fatores ambientais como o déficit de pressão de vapor do ar, temperatura e umidade, que podem afetar a transpiração (LARCHER, 2006; AZEVEDO, 2009; SOUZA et al, 2011 ). A maior  $E$  observada na estação seca quando comparada com a estação chuvosa, esta relacionada a menor UR (%) e a ao maior DPV, encontrado no ambiente na estação seca. A  $E$  das plantas tende a aumentar quando o gradiente de pressão de vapor entre a folha e o ar atmosférico se eleva (SILVA et al., 2003).

Além dos fatores ambientais, a abertura estomática também é controlada por fatores internos, como concentração do ácido abscísico (ABA), condutividade do xilema e status hídrico foliar (CARVALHO, 2010). Plantas da savana exercem controle estomático sobre a transpiração, portanto as perdas por transpiração podem ser elevadas mesmo durante a estação seca, pois a transpiração das espécies lenhosas depende mais das condições atmosféricas do que da disponibilidade de água no solo (SARMIENTO et al., 1985). Ferri (1979) relata que as plantas lenhosas do cerrado, de maneira geral, não restringem a transpiração mesmo na estação seca. O DPV é um importante fator ambiental que pode afetar o funcionamento dos estômatos (STRECK, 2003). A  $g_s$  é por si só mais sensível à temperatura e ao DPV do que a porcentagem de PAR incidente (LOBOS et al, 2012). Nas condições deste estudo, a baixa UR (%) na estação seca, e consequentemente a maior demanda evaporativa da atmosfera, possivelmente foram os

principais fatores que contribuíram para a maior taxa transpiratória das plantas na estação seca.

#### 4.3. Potencial hídrico foliar e conteúdo de água no solo

A deficiência hídrica provocada pela baixa precipitação pluviométrica na estação seca promoveu um menor  $\Psi_w$  foliar e menor conteúdo de água no solo, sugerindo que o potencial hídrico das plantas jovens de jatobá foi sensível à variação do conteúdo de água no solo. Reduções no  $\Psi_w$  em resposta ao déficit hídrico têm sido observadas em plantas de cerrado (SILVA et al., 2003). As espécies *Swietenia macrophylla* King, e *Inga edulis* Mart, apresentaram no decorrer do dia menores valores do potencial hídrico na estação seca quando comparada a chuvosa (SILVA, 2001). O decréscimo do  $\Psi_w$  dos tecidos foliares durante a estação seca, também pode ter sido provocado pela alta demanda evaporativa do ar (SILVA e LEMOS – FILHO, 2001). *Rapanea guianensis* uma espécie do cerrado sofreu um maior déficit hídrico no cerradão nos momentos de maior demanda evaporativa da atmosfera (NAVES-BARBIERO, 2000).

Os valores de  $\Psi_w$  para plantas lenhosas do cerrado na estação chuvosa estão entre -1,0 e -3,0; já na estação seca entre -2,0 e -4,0 MPa (FRANCO, 2000), entretanto esses valores variam em função da espécie e da idade das plantas. Para o jatobá nas condições deste estudo os valores de  $\Psi_w$  foram de -0,58 MPa e -0,97 MPa durante a estação chuvosa e seca, respectivamente. Estes resultados sugerem que o déficit hídrico não promoveu um estresse tão severo nas plantas.

Estas respostas podem estar relacionadas a alta condutividade hidráulica das raízes destas plantas, o que permite absorção de água de camadas mais profundas do solo por longos períodos de estiagem, demonstrando poucas alterações nas trocas gasosas nas folhas. Plantas com alta condutividade hidráulica podem mostrar pequenas mudanças no potencial hídrico da folha (TURNER, 1986).

Outro fator importante de ser considerado é o módulo de elasticidade das folhas de plantas do cerrado. Segundo DaMatta e Rena (2001) o ajuste elástico é analisado pelo módulo global de elasticidade ( $\epsilon$ ) e expressa a relação entre as variações no potencial de pressão e variações no volume de água do simplasma, sendo que quanto maior esse módulo maior a rigidez da parede celular. Assim pelas características da



folha do jatobá ser coriácea, a elasticidade pode ser baixa e o módulo de elasticidade alto durante a fase adulta, no entanto não foram encontrados estudos que comprovassem esta hipótese, havendo a necessidade desta caracterização. No presente estudo, no entanto, os altos valores do potencial hídrico podem estar correlacionados a idade das plantas, pois sendo jovens, as folhas possuem menor rigidez e, portanto, um baixo módulo de elasticidade e assim o potencial hídrico não diminui tanto em condições de déficit hídrico. Wenhui e Prado (1998) trabalhando com trinta plantas do cerrado, durante a estação seca, observou que um dos mecanismos de algumas plantas lenhosas para manter o equilíbrio hídrico foi diminuir o potencial osmótico e aumentar a elasticidade da parede, como uma estratégia para manter os tecidos foliares túrgidos. Porém, estudos sobre o papel de ajustes do módulo de elasticidade volumétrico nas relações hídricas de folhas de espécies de cerrado são escassos (FRANCO, 2008).

#### 4.4. Fluorescência da Clorofila *a*

A estação sazonal não causou diferenças nas características da fluorescência da clorofila *a*. Os valores de  $F_v/F_m$  mantiveram-se em torno de 0,80 tanto na estação seca quanto na chuvosa, o que indica um bom funcionamento do aparato fotossintético. Quando as plantas estão em condições não estressantes, os valores de  $F_v/F_m$  estão entre 0,75 e 0,85, entretanto decréscimos nestes valores indicam a ocorrência de fotoinibição (MAXWELL & JOHNSON, 2000). A razão  $F_v/F_m$  pouco é afetada em condições de déficit hídrico, pois o FSII das plantas é muito resistente a este fator do ambiente (LU e ZHANG, 1998; CORNIC, 1994).

Em plantas do cerrado em condições controladas, observou-se que o déficit hídrico (50% da capacidade de campo) não foi capaz de reduzir a razão  $F_v/F_m$  das folhas (FAVARETTO, 2009). A razão  $F_v/F_m$  para *Bertholletia excelsa* e *Dipteryx odorata* espécies da Amazônia, não mostraram diferentes na razão  $F_v/F_m$  entre os períodos chuvosos e seco (MORAES et al., 2007). O  $\Delta F/F_m'$ , ETR e NPQ, também mantiveram estáveis entre a estação seca e chuvosa. Os resultados obtidos evidenciam que a deficiência hídrica ocasionada pela estação seca não foi severa o suficiente para provocar danos no complexo coletor de luz do fotossistema II, não ocorrendo, portanto fotoinibição.

#### 4.5. Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos

A Cla, Clb e carotenoides estão intimamente ligados a eficiência fotossintética e a adaptabilidade das plantas em diversos ambientes (ENGEL E POGGIANI, 1991). Os maiores conteúdos de clorofilas *a*, *b* e *cltotal* na estação chuvosa quando comparados com a estação seca, indicam que o déficit hídrico promove uma redução no conteúdo destes pigmentos. Em condições de estresse hídrico os teores de clorofila nas folhas podem ser reduzidos e assim afetar a fotossíntese (JALEEL et al., 2009). Espécies lenhosas do cerrado aberto (*Qualea parviflora* Mart., *Byrsonima coccolobifolia* H.B. & K., *Roupala montana* Aubl., *Sclerolobium paniculatum* Vog. e *Kielmeyera coriacea* Spreng. Mart) no final da estação seca apresentaram uma redução no conteúdo da Cla e Clb, enquanto na estação chuvosa, as concentrações dos pigmentos tenderam a aumentar (CARVALHO et al., 2007). Espécies arbóreas da Amazônia *Bertholletia excelsa*, *Carapa guianenses* e *Dipteryx odorata* exibiram maiores concentrações de Cla, Clb e Cltotal no período chuvoso, em comparação como o período seco (MORAES et al., 2007).

A razão cla/clb, razão carotenoides/clorofila total e IF, não variaram nas duas estações avaliadas. Os valores da razão cla/clb obtidos neste trabalho estão de acordo com os valores sugeridos por MORISHIGE e DREYFUSS, (1998) e BUCHANAN et al., (2000) em que a razão clorofila *a/b* varia entre 2,0 a 4,4 para o FSI e entre 1,5 a 4,0 para o FSII.

Os teores mais elevados de pigmentos cloroplastídicos na estação chuvosa são coerentes com o aumento da taxa fotossintética nesta mesma estação. Os maiores conteúdos de clorofilas na estação chuvosa podem estar relacionados a maior capacidade de absorção dos nutrientes minerais do solo e de sua translocação pela planta, especialmente do macronutriente nitrogênio, elemento constituinte de todas as enzimas e das clorofilas (GONÇALVES et al., 2001; BARLETO, 2011).

Embora tenha se observado menores valores no conteúdo de clorofilas não houve diminuição do conteúdo de carotenoides nem da razão carotenoides/clorofilas totais na estação seca, possivelmente pela tendência de declínio mais rápido das clorofilas em relação aos carotenoides quando as plantas estão sob condições de estresse ou durante a fase de senescência da folha (CARVALHO et al., 2007).

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que plantas jovens de jatobá mantêm o aparato fotossintético funcional mesmo na estação seca, embora com menor eficiência. As reduções observadas na taxa fotossintética são decorrentes de uma menor condutância estomática, que sofreu influência de um maior déficit de pressão de vapor, maior temperatura e menor umidade.

Os altos valores de déficit pressão vapor do ar, maiores temperaturas, menores umidade e precipitação, exerceram influência nas características das trocas gasosas das plantas jovens de jatobá na estação seca.

A seca sazonal promoveu um menor potencial hídrico foliar e conteúdo de água do solo.

O conteúdo de clorofilas foi menor na estação seca, no entanto não houve diminuição do conteúdo de carotenoides, da razão carotenoides/clorofilas totais, razão *cla/clb* e do IF.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.7, n.4, p. 463-472, 2009.

AZEVEDO, G.F.C. Ecofisiologia em mudas de Acariquara (*Minquartia guianensis* Aubl.) e Mogno (*Swietenia macrophylla* King) Aclimatadas à campos abertos. **Dissertação** (Mestrado em Botânica) Instituto de Pesquisas da Amazônia – INPA, Manaus, 2009.

BILGER, W.; BJÖRKMAN, O. Role of xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. **Photosynthesis Research**, v.25, p.173-185, 1990.

BILGER, W.; SCHEREIBER, U.; BOCK, M. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. **Oecologia**, n.102, p.425-432, 1995.

BJORKMAN, O., DEMMIG, B. Photon yield of O<sub>2</sub> evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, v.170, p.489-504, 1987.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R.; LONG, S.P., BAKER, N.R., et al. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. **Functional Ecology**, n.3, p.497-514, 1989.

BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W. JONES, R. L. Photosynthesis. 2000 In: BUCHANAN B. B; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (Eds.) **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. Rockville American Society of Plant Physiologists. p.568-629.

BUCCI, S.J.; SCHOLZ, FG.; GOLDSTEIN, G.; HOFFMANN, WA.; MEIZER, FC.; FRANCO, AC.; GIAMBELLUCA, T.; MIRALLES-WILHELM, F. Control on stand transpiration and soil water utilization along tree density gradient in a neotropical savanna. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, n. 6-7, p. 839-849, 2008.

CARVALHO, A.P.F; BUSTAMANTE, M.; MALESSANDRA R.; KOZOVITS, G.P.A. Variações sazonais nas concentrações de pigmentos e nutrientes em folhas de espécies

de cerrado com diferentes estratégias fenológicas. **Revista Brasileira de Botânica**. v. 30, n.1, p.19-27, 2007.

CARVALHO, M. Variações morfofisiológicas e eficiência do uso da água em *Ricinus communis* L. submetida ao déficit hídrico regulado. **Dissertação** (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus – Bahia, 2010.

DAMATTA, F.M.; RENA, A.B. Tolerância do café à seca. In: Zambolim L (Ed.). **Tecnologias de Produção de Café com Qualidade**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. p. 65-100, 2001.

DURIGAN, G.; NOGUEIRA, J. C. B. Recomposição de matas ciliares. São Paulo: **Instituto Florestal**, p.14, 1990. (IF. Série registros, 4)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Brasília, Produção de Informação, 1997. 212 p.

EHLERINGER, J. Leaf absorptances of Mohave and Sonoran desert plants. **Oecologia** n.102, p. 366-370, 1981.

FAVARETTO, V.F. Estudo comparativo dos mecanismos de defesa contra radicais livres em espécies arbóreas pioneiras e não pioneiras de Mata Mesófila Semidecidual. **Tese**. (Doutorado em Biologia Comparada) Ribeirão Preto, 2009.

FERRI, M.G. **Transpiração nos principais ecossistemas brasileiros e em espécies cultivadas no Brasil**. In Fisiologia Vegetal, (M. G. Ferri, ed.). EDUSP/EPU, São Paulo, v. 1, p.25-73, 1979.

FILHO, J.A.M.; CAMPOSTRINI, E.; YAMANISHI, O.K.; FAGUNDES, G.R. Variação sazonal das trocas gasosas em folhas de mamoeiro cultivado em condições de campo. **Bragantia**, v.65, n.2, p.185-196, 2006.

FRANCO, A.C. **Water and light use strategies by cerrado wood plants**. In Tópicos Atuais em Botânica: Palestras convidadas do 51º Congresso Nacional de Botânica (T.B. Cavalcanti & B.M.T. Walter, eds.). EMBRAPA-Recursos Genéticos e Sociedade Botânica do Brasil, Brasília, p.292-298, 2000.

FRANCO, A.C. 2008. Relações hídricas em plantas do cerrado: **As plantas lenhosas do cerrado transpiram livremente?** In: Prado, C.H.B.A.; Casali, C.A. Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral. Barueri, editora Manole, 2006. Disponível em <http://fisiologiavegetal.manole.com.br/textos%20corrigidos/rhcerrado.pdf>.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta**, n. 990, p.87–92, 1989.

JALEEL, C.A., MANIVANNAN, P., WAHID, A., FAROOQ, M., ALJUBURI, H.J., SOMAUNDARAM, R., PANNEERSELVAM, R. Drought Stress in Plants: A Review on Morphological Characteristics and Pigments Composition. **International Journal Agricultural Biology**, v.11, p.100-105, 2009.

JONES, H. What is water use efficiency? In: BACON, M.A. (Ed.). **Water use efficiency in plant biology**. Boca Raton: CRC Press, p.27-40, 2004.

KRAUSE G.H., WEIS E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** v.42, p.313-349, 1991.

KUKI, K. N.; OLIVA, M. A.; GOMES F. P.; COSTA, A. C. Avaliação da eficiência do dimetilsulfóxido na extração de pigmentos foliares de *Schinus terebenthifolius* e *Cocos nucifera*. In: X Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal e XII Congresso Latino-Americano de Fisiologia Vegetal, Recife. **Anais**, SBFV. CD Rom, 2005.

LAISK, A.; LORETO, F. Determining photosynthetic parameters from leaf CO<sub>2</sub> exchange and chlorophyll fluorescence. **Plant Physiologists**, n.110, p.903-91, 1996.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, Rima, 2006, 550p.

LOBOS, G. A.; RETAMALES, J. B.; HANCOCK, J. F.; FLORE, J. A.; COBO, N.; POZO, A. Spectral irradiance, gas exchange characteristics and leaf traits of *Vaccinium corymbosum* L. ‘Elliott’ grown under photo-selective nets. **Environmental and Experimental Botany**, n.75, p.142– 149, 2012.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Ed. Nova Odessa: **Editora Plantarum**, v.1, 384 p, 2000.

LORENZI, H. Árvores brasileiras. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, Nova Odessa, v.2., 1998.

LU, C.; ZHANG, J. Effects of water stress on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition in wheat plants. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 25, p. 883- 892, 1998.

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

MORAIS, R.R.; GONÇALVES, J.F.C.; SANTOS, U.M.; DIINISCH. O.; SANTOS, D.L.W. Chloroplastid pigment contents and chlorophyll a fluorescence in amazonian tropical three species. **Revista Árvore**, Viçosa - MG, v.31, n.5, p.959 – 966, 2007.

MORISHIGE, D. T.; DREYFUSS, B. W. Light-harvesting complexes of higher plants. In: Raghavendra, A.S (Ed.) **Photosynthesis: A comprehensive treatise**. Cambridge, Cambridge University Press. p. 18-28, 1988.

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

PALHARES, D.; FRANCO, A.C.; ZAIDAN, L.B.P. Respostas fotossintéticas de plantas de cerrado nas estações seca e chuvosa. *Revista Brasileira de Biociências*. Porto Alegre, v.8, n.2, p.213-220, 2010.

POWLES S.B. Photoinhibition of photosynthesis by visible light. **Annual Review of Plant Physiology**. v.35, p.15-44, 1984.

RASCHER, U.; LIEBIG, M.; LÜTTGE, U. Evaluation of instant light-responses curves of chlorophyll parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field. **Plant Cell and Environment**, v.23, n.12, p.1397-1405, 2000.

RONEN, R.; GALUN, M. Pigment extraction from lichens with dimethyl sulfoxide (DMSO) and estimation of chlorophyll degradation. **Environmental and Experimental Botany**, 24(3), p. 239-245, 1984.

RONQUIM, C.C.; PRADO, C.H.B.A.; SOUZA, J.P. Growth, photosynthesis and leaf water potential in Young plants of *Capaifera langsdorffii* Desf. (Caesalpinaceae) under contrasting irradiances. **Brazilian Society of Plant Physiology**, v.21, n.3, p.197- 208, 2009.

SARMIENTO, G.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. Adaptative strategies of woody species in neotropical savanas. **Biological Review**, v. 60, p. 315-355, 1985.

SCHULZE, E.D; HOHENSTEIN-MULLER, KLAUS; PFLANZENOKOLOGIE. **Plant Ecology**. 2005, 702p.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.O.; JÚNIOR, M.S.D.; COSTA, K.A.P.; SILVA, F.G.; FILHO, S.M.F. Structural changes in latosols of the cerrado region: i – relationships between soil physical properties and least limiting water range. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 35 p.773-782, 2011.

SILVA, A. S., OLIVEIRA, J. G., CUNHA, M. C., VITÓRIA, A. P. Photosynthetic performance and anatomical adaptations in *Byrsonima sericea* DC. under contrasting light conditions in a remnant of the Atlantic forest. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 22 n. 4, p. 245-254, 2010.

SILVA, B.G.; LEMOS-FILHO, J.P. Relações hídricas em espécies lenhosas no campus Pampulha/UFMG, Belo Horizonte, MG. **Revista Brasileira de Botânica**. v.24, n.4, p. 519 – 525, 2001.

SILVA, S. C. da; SANTANA, N. M. P. de; PELEGRINI, J. C. **Caracterização Climática do Estado de Goiás**. GOIÁS: Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração, 2006.

SOUZA, C.D.; FERNANDES, D.P.; BARROSO, M.R.; PORTES, T.A. Transpiração de espécies típicas do cerrado medida por transpirômetro de equilíbrio e porômetro. **Cerne**, lavras, v. 17, n. 4, p. 509-515, 2011.



STRECK, N. A. Stomatal response to water vapor pressure deficit: an unsolved issue. **Revista Brasileira Agrobiologia**, v. 9, n. 4, p. 317-322, 2003.

TURNER, N.C. Adaptation to water deficits: A changing perspective. **Australian Journal of Plant Physiology**, p.175-190, 1986.

WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. **Tese** (Doutorado em Ecologia) Universidade de Brasília, Março 2006.

WELLBURN, A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal Plant Physiology**, v.144, n.3, p. 307-313, 1994.

WENHUI, Z; PRADO, C.H.B.A. Water relations balance parameters of 30 woody species from cerrado vegetation in the wet and dry season. **Journal of Forestry Research**, v.9, n.4, p.1-7, 1998.

## **CAPÍTULO II**

### **EFEITO DA IRRADIÂNCIA E DA RESTRIÇÃO HÍDRICA NAS CARACTERÍSTICAS FOTOSSINTÉTICAS DE PLANTAS JOVENS DE JATOBÁ**

## RESUMO

Em ambiente natural de ocorrência as plantas estão sujeitas a vários tipos de estresses que podem ocorrer simultaneamente. A combinação, de altas irradiâncias e estresse hídrico severo, promovem decréscimo significativo do rendimento quântico, causando redução na eficiência da fotossíntese. Objetivou-se com este estudo caracterizar a capacidade fotossintética de plantas jovens de jatobá em condições contrastantes de irradiância e na combinação da irradiância com o déficit hídrico. A caracterização do efeito da irradiância e da combinação com déficit hídrico nos processos fotossintéticos das plantas de jatobá foi realizada em quatro condições de irradiância, sendo: 45, 230, 510 e 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , e em dois níveis de água, 90% e 50% da capacidade de campo. Foram avaliadas as trocas gasosas, potencial hídrico, CRA, TLE, fluorescência da clorofila *a*, conteúdo de pigmentos e acúmulo de matéria seca. Os maiores valores de taxa fotossintética e as maiores alturas das plantas foram observados, nas irradiâncias de 230 e 510  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . A irradiância de 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , promoveu fotoinibição da fotossíntese, evidenciada pela baixa razão  $F_v/F_m$ , menor  $\Delta F/F_m'$  e menor ETR seguido por um maior NPQ. Além disso, foram observados decréscimos nos valores de taxa fotossintética, condutância estomática, relação  $C_i/C_a$  e taxa transpiratória, bem como redução no conteúdo de clorofilas *a*, *b*, *total* e no IF. O regime hídrico imposto, não influenciou as características da fluorescência da clorofila *a* e o conteúdo de pigmentos, no entanto promoveu uma limitação estomática, evidenciada pela redução nas características das trocas gasosas.

**Palavras-chaves:** *Hymenaea stigonocarpa* Mart., fotossíntese, potencial hídrico, luminosidade, fotoinibição.

## ABSTRACT

In natural environment plants are subject to different stress that can occur simultaneously. High irradiances and severe water stress when combined promote a significant decrease in quantum yield, causing a reduction in photosynthesis efficiency . This study was carried out to characterize the photosynthetic capacity of young plants of jatoba growing at different conditions of irradiance and the combination of irradiance with hydric deficit. Effect of irradiance and hydric deficit was characterized in plants submitted to four conditions of irradiance: 45, 230, 510 and 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , and two water levels, 90 and 50% of field capacity. Were evaluated gas exchange, water potential, RWC, TLE, fluoresce of chlorophyll *a*, pigment content and dry matter accumulation. The highest values of photosynthetic rate and greater heights of plants were observed in the irradiance of 230 and 510  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . The irradiance of 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , promoted photoinhibition of photosynthesis, as evidenced by low  $F_v/F_m$ , ratio, lower  $\Delta F/F_m'$  and lower ETR followed by a higher NPQ. Moreover, decreases were observed in the values of photosynthetic rate, stomatal conductance, ratio  $C_i/C_a$  and transpiratory rate, and decrease content of chlorophyll *a*, *b* and chlorophyll total and reduction on IF. Hydric conditions did not influence characteristics of fluorescence of chlorophyll *a* and pigment content, however promoted a stomatal limitation, as evidenced by reduction in gas exchange characteristics.

**Key words:** *Hymenaea stigonocarpa* Mart., photosynthesis, hydric potential, lightness, photoinhibition.

## 1. INTRODUÇÃO

O ambiente natural de ocorrência das plantas é constituído de um conjunto de fatores de estresses bióticos e abióticos. O estresse abiótico é definido, como as condições ambientais que reduzem o crescimento e rendimento da planta abaixo do nível ideal (CRAMER et al., 2011). Plantas expostas a condições de múltiplos estresses podem apresentar limitação no crescimento, comprometendo sua sobrevivência (CARVALHO et al., 2010).

No ambiente natural as plantas estão sujeitas a vários tipos de estresses que podem ocorrer simultaneamente (SHARMA et al., 2009). O nível e a duração do estresse têm efeito significativo sobre a complexidade da resposta (PINHEIRO, 2011). A região do cerrado apresenta duas estações bem definidas, uma seca, que tem início no mês de maio se estendendo a setembro, e outra chuvosa, que vai de outubro a abril, com precipitação média anual em torno de 1.500 mm, variando de 700 a 2.000 mm (WALTER, 2006). O período de seca no ambiente de cerrado é geralmente acompanhado por alta intensidade luminosa, com pouca ou nenhuma precipitação. Esta condição limita a assimilação de carbono pelas plantas e promove a fotoinibição do aparato fotossintético. Segundo Krause et al., (2012) árvores tropicais expostas a irradiância a pleno sol, são submetidas a níveis de radiação fotossinteticamente (PAR) em torno de 2000 a 2300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , o que é muito acima da assimilação de saturação de  $\text{CO}_2$  para muitas espécies.

A combinação de altas irradiâncias e déficit hídrico severo promove decréscimos significativos do rendimento quântico, causando uma significativa redução na eficiência da fotossíntese (ARAÚJO & DEMINICIS, 2009; VALLADARES & PEARCY, 2002). A avaliação da fluorescência da clorofila *a*,

fornece informações sobre o estado fotossintético de plantas submetidas a condições de alta luminosidade, o que a torna uma ferramenta importante para avaliar o efeito da fotoinibição (MENGARDA et al., 2009; BENERAGAMA et al., 2010).

A fotoinibição ocorre quando o excesso de luz está acima da capacidade de utilização no processo fotossintético, podendo ter uma recuperação rápida (fotoinibição dinâmica) ou lenta (fotoinibição crônica). A fotoinibição dinâmica ocorre sob excesso moderado de luz, e sugere que plantas sob esta condição têm capacidade de se ajustar fotossinteticamente às condições ambientais prevalentes, sem danos a maquinaria fotossintética. Por outro lado, a fotoinibição crônica resulta da exposição a altos níveis de luz, que danificam o sistema fotossintético e diminuem a eficiência quântica e a taxa fotossintética máxima (ARAÚJO & DEMINICIS, 2009; TAIZ & ZEIGER, 2009).

O valor da relação  $F_v/F_m$  reflete a eficiência quântica potencial do PSII, podendo variar numa faixa de 0,75 a 0,85 em plantas em condições ambientais ótimas (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989) a diminuição da relação  $F_v/F_m$  é um excelente indicador de efeito fotoinibitório em plantas submetidas a qualquer tipo de estresse (ARAÚJO & DEMINICIS 2009; MENGARDA et al., 2009). A ocorrência de fotoinibição crônica pode ser analisada através da medição da razão  $F_v/F_m$  no período antemanhã (ISHIDA et al., 1999).

O déficit hídrico pode interagir não só com o excesso de luz, mas também com a limitação de luz em ambientes sombreados. O sombreamento pelo estrato arbóreo reduz a capacidade de assimilação de carbono pelas plantas (KANEGAE et al., 2000). Segundo Ronquim et al, (2009), distintos regimes de luz nas fisionomias de cerrado promovem o estabelecimento de diferentes espécies ou tipos funcionais ao longo da paisagem. As espécies arbóreas podem ser pioneiras ou secundárias com base na característica de crescimento e adaptação aos níveis de luz (RIBEIRO et al., 2005).

Espécies tolerantes a sombra, também ditas secundárias, são encontradas em ambientes com o dossel fechado (formações florestais) em que há uma diminuição na incidência luminosa sobre a vegetação (KANEGAE et al., 2000). As espécies pioneiras ou heliófitas predominam em ambientes abertos (clareiras), onde os altos níveis de irradiação solar estão presentes, o que indica que essas espécies podem apresentar maior plasticidade fotossintética do que espécies secundárias, sugerindo a presença de mecanismos eficientes para tolerar ou amenizar os efeitos potenciais de fotoinibição (FAVARETTO, 2009; PORTES et al., 2010).

O jatobá (*Hymenaea stigonocarpa* Mart) é uma espécie secundária tardia comum nas formações abertas do cerrado *sensu stricto* e campo cerrado. Têm uma vasta distribuição geográfica, ocorrendo naturalmente, em solos secos e, em solos de fertilidade química baixa, mas sempre em terrenos bem drenados (CARVALHO, 2007). Demonstrando assim uma espécie com grande potencial de uso na recuperação de áreas degradadas (LORENZI, 2000).

Objetivou-se com este estudo caracterizar a capacidade fotossintética de plantas jovens de jatobá em condições constranges de irradiância e na combinação da irradiância com o déficit hídrico.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas dependências do Laboratório de Ecofisiologia e Produtividade Vegetal do Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde. O estudo foi realizado tendo como fontes de variação a irradiância no ambiente de crescimento e o regime hídrico em plantas jovens de jatobá (*Hymenaea stigonocarpa* Mart).

### 2.1. Material vegetal

#### 2.1.1. Obtenção das mudas e plantio

Para obtenção das mudas de jatobá, os frutos foram coletados a partir de um único indivíduo em um fragmento de cerrado, com fitofisionomia do tipo *sensu stricto*, na fazenda Fontes do Saber, localizada na região da cidade de Rio Verde, nas coordenadas latitude de 17°47'24"S e longitude de 50°56'31" W, sudoeste do estado de Goiás. Os frutos foram quebrados e por método de lavagem rápida retirou-se a polpa que recobre as sementes. As sementes foram secas em local sombreado e ventilado. O teste de germinação foi realizado segundo a metodologia descrita por De-Carvalho

(2005), utilizando a escarificação mecânica das sementes com esmeril elétrico de rotação contínua e posterior imersão em água destilada por 24 horas. Após este período as sementes foram colocadas para germinar sobre três folhas de papel absorvente tipo “germitest” umedecido com volume de água igual a 2,5 vezes o peso do substrato seco, em germinador tipo “Mangelsdorf”, com temperatura regulada em 30°C. As sementes foram consideradas germinadas quando ocorreu a protusão da radícula. Após a germinação, as plântulas foram transferidas para vasos com capacidade para cinco litros, contendo solo coletado na área de ocorrência da planta matriz. Posteriormente os vasos foram mantidos em ambiente com sombreamento natural por 60 dias até a formação de dois pares de folhas completamente expandidas. Após este período as plantas foram alocadas nas condições experimentais descritas adiante.

## 2.2. *Condições experimentais*

### 2.2.1. *Estresse Luminoso*

O estudo foi realizado tendo como fontes de variação a irradiância do ambiente de crescimento em plantas jovens de jatobá. Estes fatores foram escolhidos na tentativa de reproduzir as condições naturais encontradas no ambiente de cerrado. Nesse sentido, na área experimental foram instaladas três estruturas nas dimensões de 2,10 m de comprimento, 1,60 m de largura e 2,10 m de altura. Cada uma das estruturas foi coberta com diferentes camadas de sombrite, na parte superior e nas laterais objetivando a obtenção de diferentes níveis de irradiância. Um quarto ambiente foi estabelecido a pleno sol sem nenhuma estrutura que amenizasse a irradiância natural.

A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em cada ambiente foi avaliada diariamente, durante o desenvolvimento do experimento, às 8, 12 e 18 horas, por meio de um sensor de radiação modelo (Decagon Devices, Pullman – USA). A partir destas medidas, determinou-se a atenuação da radiação em cada ambiente experimental coberto pelas camadas de sombrite. Medições diárias da PAR foram obtidas em cada um desses ambientes durante todo o desenvolvimento do experimento e os valores obtidos utilizados na correlação com as características morfofisiológicas avaliadas.

As irradiâncias estabelecidas como referência neste trabalho foram os da PAR no horário do meio-dia por ser de maior intensidade luminosa incidente. Assim, foram



obtidos quatro ambientes com diferentes níveis de irradiância incidente ao meio-dia, sendo: a) 45; b) 230; c) 510 e d) 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 1). Estes valores de irradiância foram utilizados na correlação com as características morfofisiológicas avaliadas durante o período experimental.

Após a montagem das estruturas, dez vasos contendo plantas homogêneas quanto à altura, foram transferidos para cada um dos ambientes com diferentes níveis de irradiância para a condução do experimento sob estresse luminoso. As plantas permaneceram nestas condições por um período de 54 dias, mantendo o solo dos vasos em capacidade de campo.



**Figura 1.** Ambientes de crescimento de plantas jovens de jatobá, submetidas a diferentes irradiâncias (A - 45  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , B - 230  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , C - 510  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , D - 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ /pleno sol).

Com o intuito de avaliar a condição de estresse luminoso isolado foram realizadas sete avaliações fisiológicas de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*. O experimento teve duração de 54 dias, com a primeira avaliação realizada doze dias após a imposição do tratamento, a partir daí as avaliações foram realizadas semanalmente. Os resultados mostrados são dados da primeira (12 dias) e última avaliação (54 dias). A

metodologia para as avaliações das trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* serão detalhadas posteriormente.

O estudo foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial 4 x 7, sendo quatro condições diferentes de irradiância no ambiente de crescimento e sete épocas de avaliação. Foram utilizadas dez repetições para cada tratamento.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), por meio do Sistema de Análises Estatísticas Gerais (SAEG) versão 9.0. Para a confecção dos gráficos foi utilizado o software SigmaPlot V.10 (SPSS Inc., USA).

### *2.3. Combinação de estresse luminoso e estresse hídrico*

Após 54 dias sob as condições de estresse luminoso descritas anteriormente, as plantas foram submetidas ao déficit hídrico em combinação ao estresse luminoso.

Metade dos vasos, em cada ambiente de crescimento, foram mantidos em 50% da capacidade de campo (CC), enquanto a outra metade foi mantida com 90% da CC sendo consideradas como plantas controle. Os vasos foram pesados diariamente e a irrigação foi realizada de forma a manter as tensões hídricas experimentais necessárias. As tensões hídricas no solo foram controladas por meio da pesagem e aplicação de água em quantidade suficiente para manutenção diária da capacidade de campo desejada. As plantas permaneceram nas condições experimentais durante 14 dias.

Durante o período experimental foram realizadas três avaliações para determinação das trocas gasosas e da fluorescência da clorofila *a*. As avaliações foram realizadas sempre em dias ensolarados.

Ao final dos 14 dias sobre os tratamentos, foram realizadas mais duas medidas das características da fluorescência da clorofila *a*, objetivando avaliar a dinâmica da fotoinibição das plantas. A primeira medida foi realizada ao meio-dia (12h00min) e a segunda, no dia seguinte às 8h00min. As medidas foram realizadas na mesma folha em cada planta, sendo escolhida a quarta ou quinta folha do ápice para a base, totalmente expandidas e sem diagnóstico fitossanitário.

No final do período experimental foram realizadas as avaliações de conteúdo de pigmentos cloroplastídicos, potencial hídrico, conteúdo relativo de água (CRA), taxa de liberação de eletrólitos (TLE) e análise de crescimento.

O estudo foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial 4 x 2 x 3, sendo quatro condições diferentes de irradiância no ambiente de crescimento, duas tensões de água no solo (90% e 50% CC) e três épocas de avaliação. Foram utilizadas cinco repetições para cada tratamento.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), por meio do Sistema de Análises Estatísticas Gerais (SAEG) versão 9.0. Para a confecção dos gráficos foi utilizado o software SigmaPlot V.10 (SPSS Inc., USA).

#### 2.4. *Detalhamento dos procedimentos para avaliação das plantas*

##### a) *Avaliação das trocas gasosas*

As trocas gasosas das plantas de jatobá foram avaliadas para registro da taxa fotossintética ( $A$  mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), taxa transpiratória ( $E$  mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), condutância estomática ( $g_s$  mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e a relação entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub> ( $C_i/C_a$ ). Estas avaliações foram realizadas utilizando um sistema portátil de fotossíntese equipado com uma fonte de luz LCI Light Systems (ADC Bioscientific, Herts, England), a qual consiste de um suporte com ventilação contendo uma lâmpada halógena dicrômica de 20 W, incidindo uma densidade de fluxo de fótons igual a 1000 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

##### b) *Avaliação das relações hídricas, conteúdo relativo de água e taxa de liberação de eletrólitos*

O potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) foi avaliado por meio de uma câmara de pressão do tipo Scholander. Para medições foram utilizadas folhas completamente expandidas semelhantes às utilizadas para medições de trocas gasosas e fluorescência da

clorofila *a*. Para evitar a perda de água por transpiração, as folhas foram cortadas na inserção do pecíolo, envoltas em saco plástico e acondicionadas em caixa de isopor. As avaliações foram realizadas logo em seguida no período da antemanhã, entre as 4 e 6 horas da manhã, para evitar a perda de turgescência. Para a determinação do CRA as folhas foram coletadas entre 6 e 7 horas da manhã, posteriormente depositadas em sacos plásticos e mantidas em caixa de isopor para imediata avaliação.

O CRA foi avaliado segundo a metodologia descrita por Barrs & Weatherley (1962), mediante a pesagem da massa fresca (MF), túrgida (MT) e seca (MS) dos discos foliares. Os valores de porcentagem de CRA foram obtidos pela fórmula:  $CRA = (MF - MS) / (MT - MS) \times 100$ . Para a determinação do CRA foram retirados 15 discos (5mm de diâmetro) da porção intermediária de cada folha, evitando a nervura central. Estes discos foram pesados para obtenção da massa fresca (MF). Em seguida, estas amostras foram colocadas em placas de Petri cobertas com papel filtro e então submersos em 10 mL de água deionizada por 24 horas para reidratação. Após esse período, retirando-se o excesso de água com papel toalha, obteve-se a massa túrgida (MT) das amostras, as quais foram levadas a estufa ( $T^{\circ}C \approx 65^{\circ}C$  até peso constante) para obtenção da massa seca (MS). A massa fresca, túrgida e seca foram obtidas por meio de uma balança de precisão 0,0001 g.

A tolerância protoplasmática foliar à seca foi avaliada pela taxa de liberação de eletrólitos em 10 discos foliares (5 mm de diâmetro) por repetição. Os discos foram lavados previamente com água e então submersos em 30 mL de água deionizada, em frascos âmbar, por um período de 24 horas. Após esse período foi medida a condutividade livre ( $CL, \mu S/cm$ ), utilizando um condutivímetro de bancada Tecnal – Tec – 4MP (Instrutherm, São Paulo, Brasil). Em seguida os mesmos vidros, foram colocados em estufa a  $100^{\circ}C$  por 1 hora e medida a condutividade total ( $CT, \mu S/cm$ ) segundo a metodologia descrita por (VASQUEZ-TELLO et al.,1990) e (PIMENTEL et al., 2002). Para evitar erro nos resultados, o sensor foi lavado entre cada leitura com água deionizada. A fórmula para obtenção da taxa de liberação de eletrólitos:  $TLE (\%) = CL/CT \times 100$ .

*c) Avaliação da fluorescência da clorofila a*

A fluorescência da clorofila *a* foi avaliada na mesma folha, paralelamente às medições de trocas gasosas, utilizando um fluorômetro modulado modelo MINI-PAM (Walz, Effeltrich, Germany). As análises foram feitas segundo a metodologia proposta por Bilger et al., (1995) e Rascher et al., (2000). Inicialmente as folhas foram adaptadas ao escuro por 30 minutos, após este período os tecidos foliares foram expostos a um pulso fraco de luz vermelha ( $0,03 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e mediu-se a fluorescência inicial ( $F_0$ ). Seguiu-se a aplicação de um pulso de 0,8s de luz actínica saturante ( $>6000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e determinou a fluorescência máxima ( $F_m$ ). Com estes dados estima-se o rendimento quântico potencial do fotossistema II, utilizando a equação  $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ . O rendimento quântico efetivo do fotossistema II (GENTY et al., 1989) foi determinado por meio da sobreposição de um pulso de saturação em folhas previamente adaptadas à luz ambiente, sendo calculado como  $\Delta F/F_m' = (F_m' - F)/F_m'$ , em que  $F$  é o rendimento da fluorescência máxima durante o pulso de saturação. O  $\Delta F/F_m'$  será utilizado para estimar a taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) de acordo com Bilger et al., (1995), mediante o uso da equação  $\text{ETR} = \Delta F/F_m' \times \text{DFF} \times 0,5 \times 0,84$ , em que DFF é a densidade de fluxo de fótons ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) incidente sobre a folha; 0,5 é o valor correspondente à fração da energia de excitação distribuída para o FSII (LAISK e LORETO, 1996); e 0,84 é o valor correspondente à fração de luz incidente que é absorvida pelas folhas (EHLERINGER, 1981). O coeficiente de extinção não fotoquímica de Stern-Volmer foi calculado como  $\text{NPQ} = (F_m - F_m')/F_m'$  (BILGER & BJORKMAN, 1990).

*d) Avaliação de pigmentos cloroplastídicos*

O conteúdo de pigmentos cloroplastídicos foi determinado por meio da extração com dimetilsulfóxido (DMSO) mediante ajustes da metodologia descrita por Kuki et al., (2005). Três discos foliares, de folhas completamente expandidas, com 5 mm de diâmetro (evitando-se a nervura central) foram incubados em tubos vedados e envolvidos com papel alumínio contendo 5 mL de DMSO saturado com  $\text{CaCO}_3$ , por um período de 48 horas a  $65^\circ\text{C}$ . A determinação da absorbância do extrato foi efetuada após

este período por meio de um espectrofotômetro UV – VIS, modelo Evolution 60S (Thermo Fisher Scientific, Madison – USA). Os comprimentos de onda, as equações e os cálculos para a determinação do conteúdo de clorofilas *a*, *b* e carotenoides foram baseados na metodologia de Wellburn (1994). A degradação da clorofila também foi avaliada por espectrofotometria, adotando-se o índice de feofitinação ( $IF = A_{435}/A_{415}$ ), segundo Ronen & Galun (1984).

### *e) Caracterização morfológica e do crescimento*

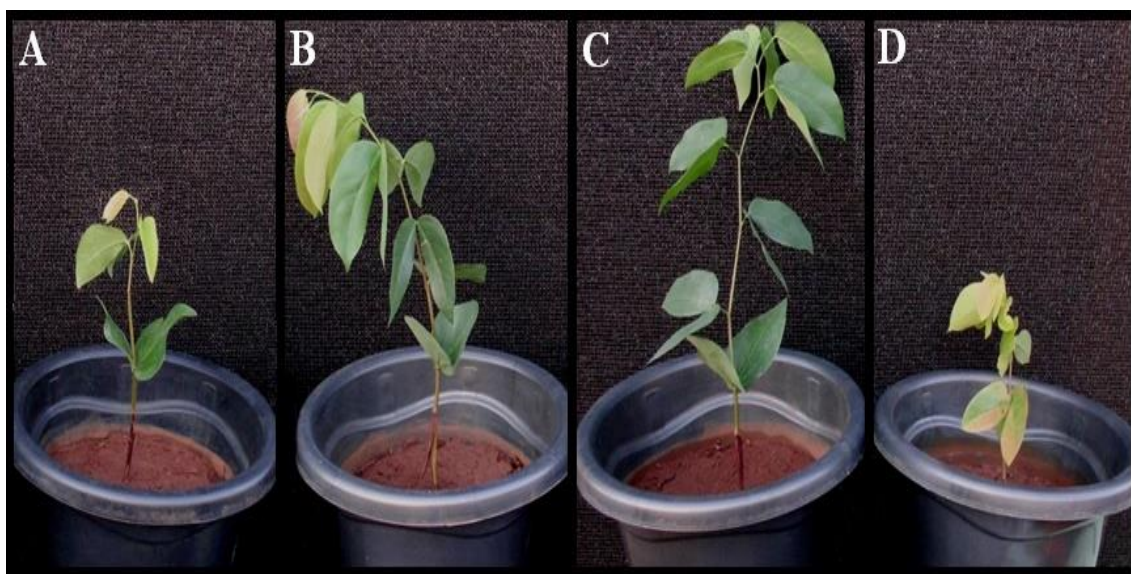
As medidas do crescimento e acúmulo de matéria seca foram avaliados por ocasião do encerramento do experimento. Foram obtidos, o número de folhas, a área foliar, área foliar específica (AFE), o diâmetro do caule, o número de entrenós, a altura da planta, o volume do sistema radicular, a massa seca de raízes e a massa seca do caule. As raízes foram lavadas em água corrente, sob uma peneira, até a completa remoção dos resíduos de solo. Então o volume do sistema radicular foi medido pelo deslocamento da coluna d'água em uma proveta graduada. Em seguida o material foi colocado em estufa de circulação de ar, a 65°C, até atingir peso constante para a obtenção da massa da matéria seca, expressa em g planta<sup>-1</sup>. A área foliar foi determinada mediante a obtenção da imagem digital da folha, integração e cálculo da área foliar utilizando um software. A área foliar específica (AFE) foi calculada por meio da relação entre a área de 15 discos foliares e sua massa correspondente (BEADLE, 1993), onde,  $AFE = \text{Área foliar} / \text{massa seca (m}^2 \text{ kg}^{-1})$ . A massa seca do caule foi obtida após a secagem em estufa de ventilação forçada à temperatura de 65°C, por aproximadamente 72 horas ou até peso constante.

## 3. RESULTADOS

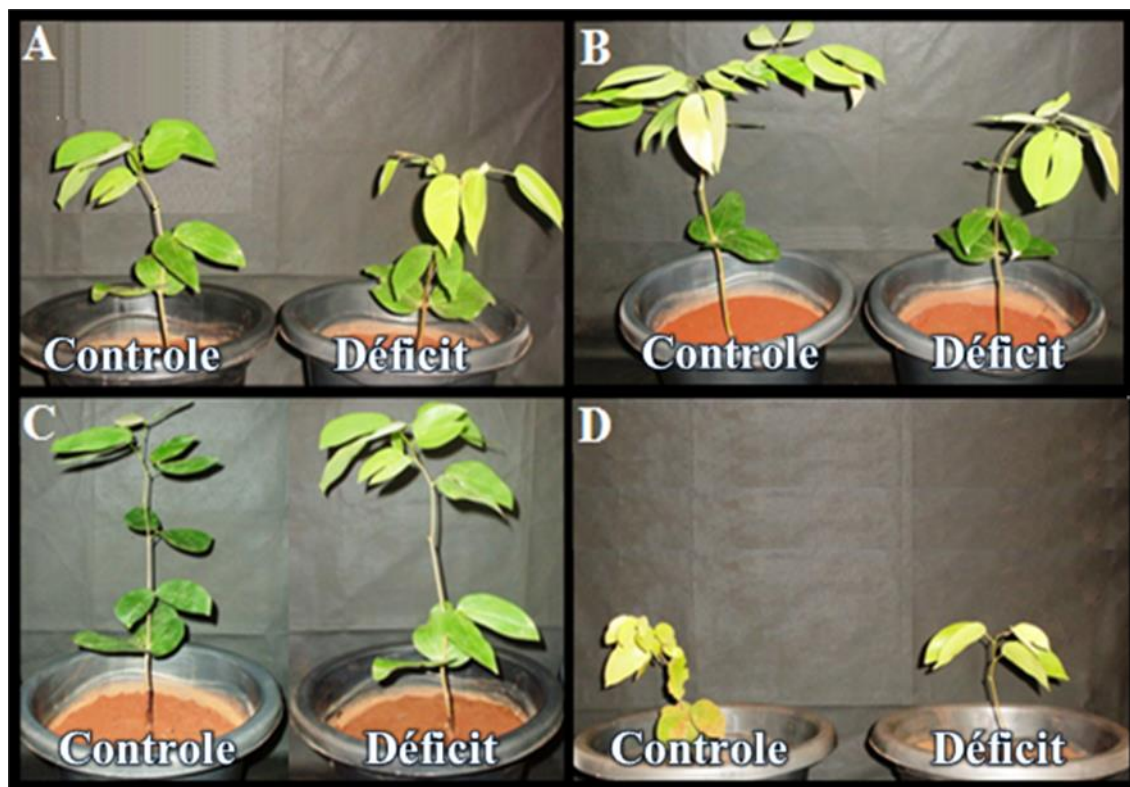
### *3.1. Características visuais das plantas*

Os diferentes ambientes de irradiância afetaram o desenvolvimento e crescimento das plantas jovens de jatobá, tanto nas diferentes condições de irradiância (Figura 2), bem como em condições combinadas entre os diferentes níveis de irradiância

com o regime hídrico (Figura 3). De um modo geral os extremos de irradiância afetaram negativamente o crescimento das plantas, proporcionando maiores alturas em irradiâncias intermediárias. A maior irradiância ( $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em comparação com a menor ( $45 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) inibiu em 40% o crescimento. Quando se compara a maior irradiância com as irradiâncias intermediárias (230 e  $510 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) a inibição foi de aproximadamente 60% no crescimento das plantas jovens de jatobá.



**Figura 2.** Plantas jovens de jatobá submetidas a condições crescentes de irradiância no ambiente de crescimento. A)  $45 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , B)  $230 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , C)  $510 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e D)  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (pleno sol).



**Figura 3.** Plantas jovens de jatobá submetidas a condições crescentes de irradiância combinadas com duas tensões hídricas no solo. A)  $45 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , B)  $230 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , C)  $510 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , D)  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (pleno sol).

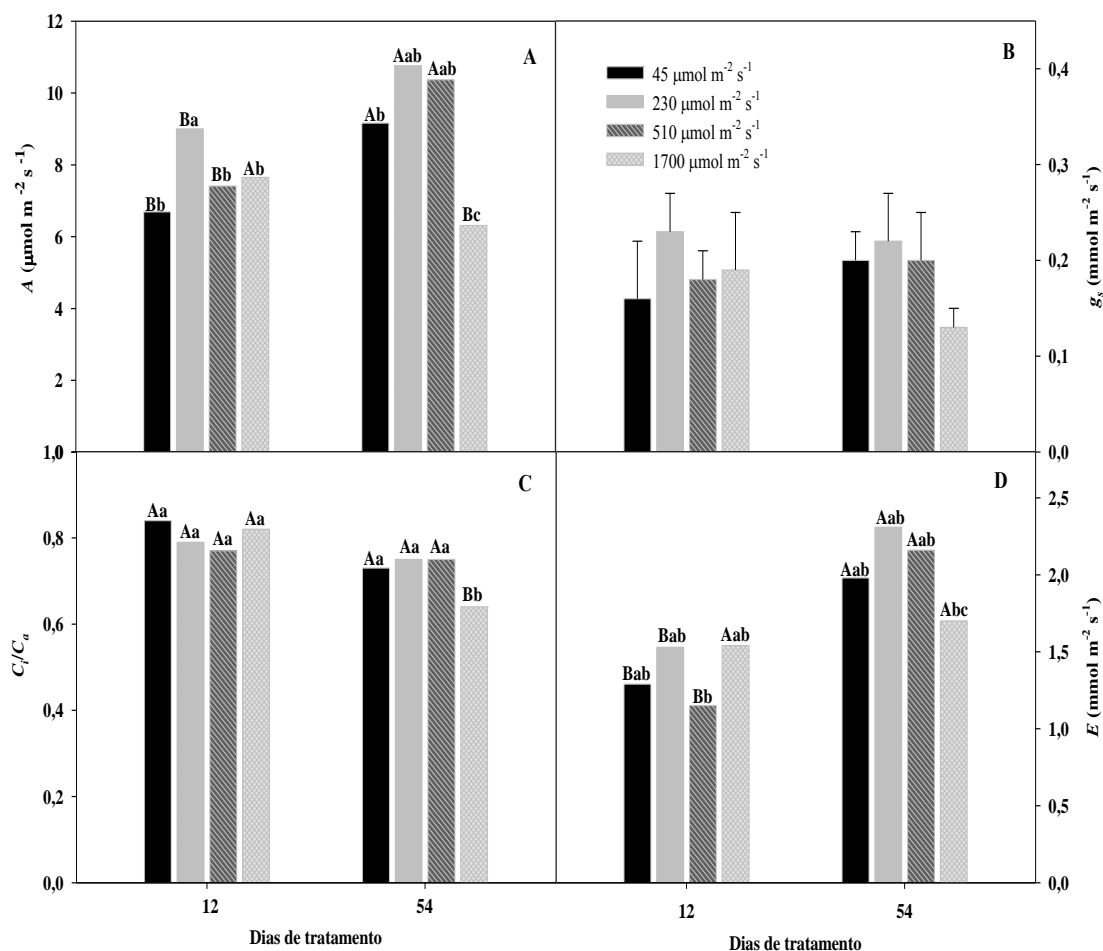
### 3.2. Características fisiológicas das plantas sob condições de estresse luminoso

#### 3.2.1. Trocas gasosas

Os resultados das trocas gasosas demonstram interação significativa entre a irradiância e os dias de tratamento nos diferentes ambientes de crescimento. Houve um incremento nos valores de taxa fotossintética durante o período de exposição às diferentes irradiâncias, ocorrendo as maiores taxas aos 54 dias após o início dos tratamentos, exceto para a maior irradiância em que foi observada redução significativa nesta característica (Figura 4A). As maiores taxas fotossintéticas ( $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) foram observadas em plantas crescidas em condições intermediárias de irradiância, ou seja, 230 e  $510 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 4A). Plantas crescidas na irradiância de  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$



$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  demonstraram os menores valores da  $g_s$  (Figura 4B), na relação  $C_i/C_a$  (Figura 4C) e da  $E$  (Figura 4D) ao final do período experimental.



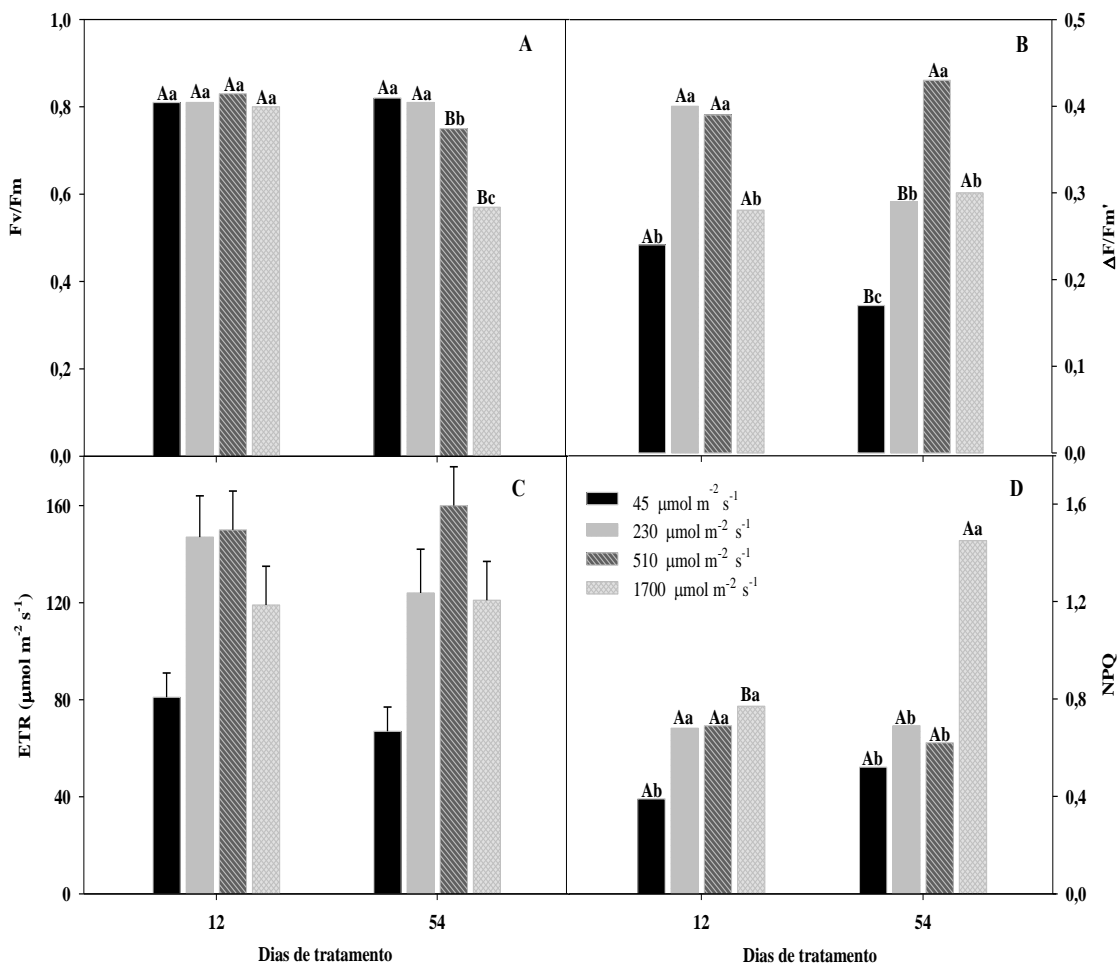
**Figura 4.** A) Taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A$  -  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), B) Condutância estomática ( $g_s$  -  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), C) relação  $C_i/C_a$  e D) Taxa transpiratória ( $E$  -  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em plantas jovens de jatobá em função da irradiância de crescimento e dos dias após imposição dos tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre os dias e minúscula entre irradiâncias, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados em 4B são médias e desvio padrão de ( $n = 10$ ).

### 3.2.2. *Fluorescência da clorofila a*

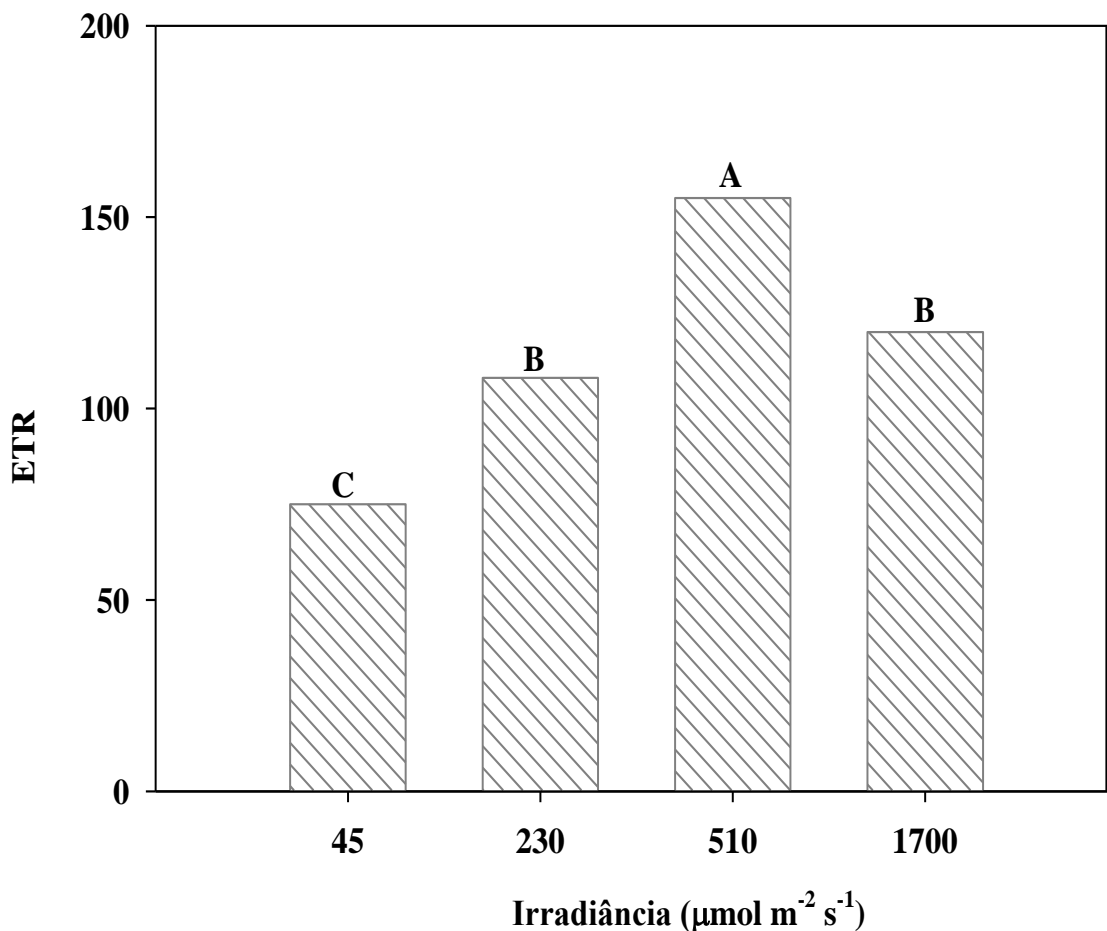
As características da fluorescência da clorofila *a* demonstraram alterações em função da interação entre as irradiâncias de crescimento e os dias de tratamento nos diferentes ambientes de crescimento. Na maior irradiância de crescimento, observou-se redução dos valores do rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) ao final do período de tratamento (Figura 5A). Aos 12 dias após a imposição do tratamento os valores do rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), mantiveram-se elevados, em média de 0,82. No entanto aos 54 dias, foi observado fotoinibição em plantas crescidas sob a irradiância de  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  com valores médios da razão  $F_v/F_m$  de 0,57 (Figura 5A).

O rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Delta F/F_m'$ ) foi maior em plantas crescidas nas irradiâncias de 230 e  $510 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , aos 12 dias após a imposição do tratamento. Aos 54 dias, houve decréscimo para plantas crescidas sob extremo de irradiância ( $45$  e  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (Figura 5B).

Não houve interação entre a irradiância de crescimento com o período de tratamento para a taxa de transporte de elétrons (ETR), cujo comportamento foi semelhante ao verificado para a  $\Delta F/F_m'$  (Figura 5C). A irradiância de crescimento promoveu aumento significativo na ETR, sendo a maior taxa verificada na irradiância de  $510 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 6). A extinção não fotoquímica (NPQ) foi significativamente maior aos 54 dias de tratamento para as plantas crescidas na irradiância de  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 5D).



**Figura 5.** A) Rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), B) Rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Delta F/F_m'$ ), C) Taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) e D) Coeficiente de extinção não fotoquímica (NPQ) em plantas jovens de jatobá em função da irradiância de crescimento e dos dias após a imposição dos tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre os dias e minúscula entre irradiâncias, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n = 10$ ).



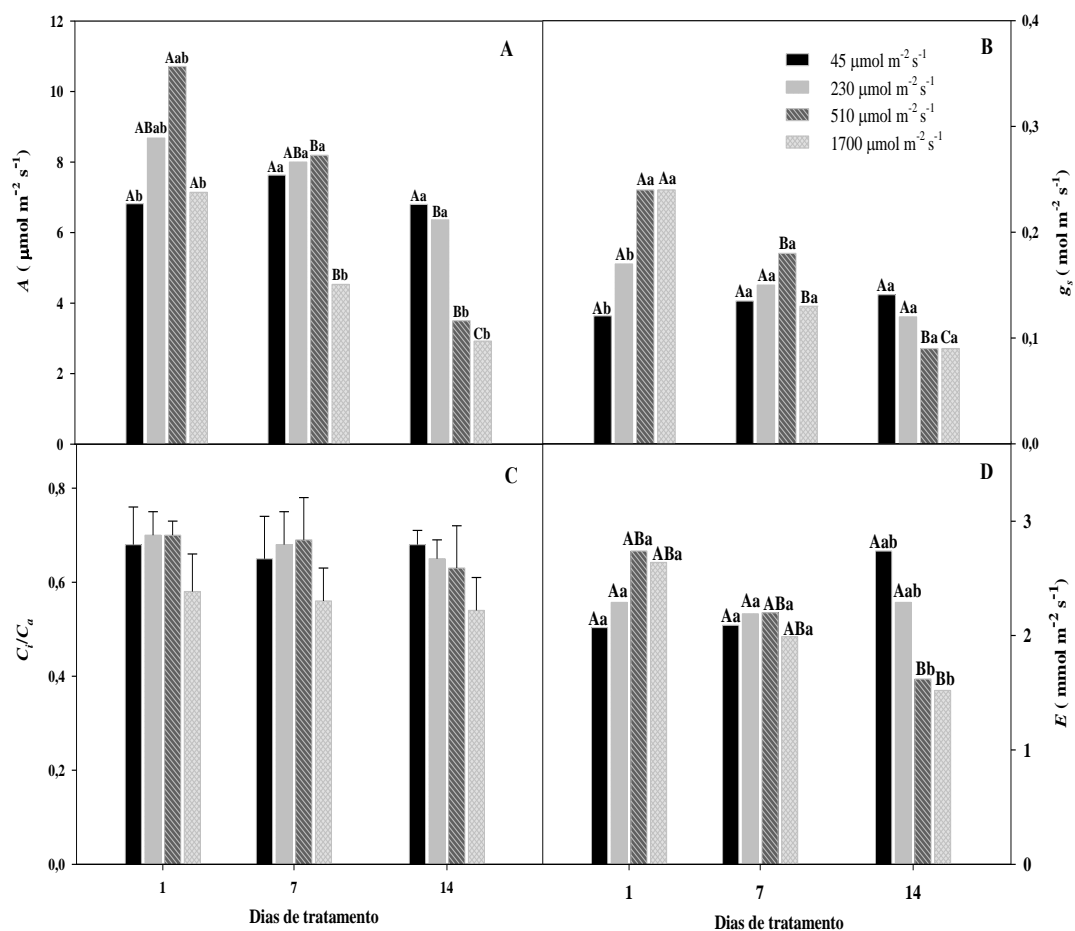
**Figura 6.** Taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) em plantas jovens de jatobá em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n = 10$ ).

### *3.3. Características morfofisiológicas das plantas sob condições de estresse luminoso combinado com regime hídrico*

#### *3.3.1. Trocas gasosas*

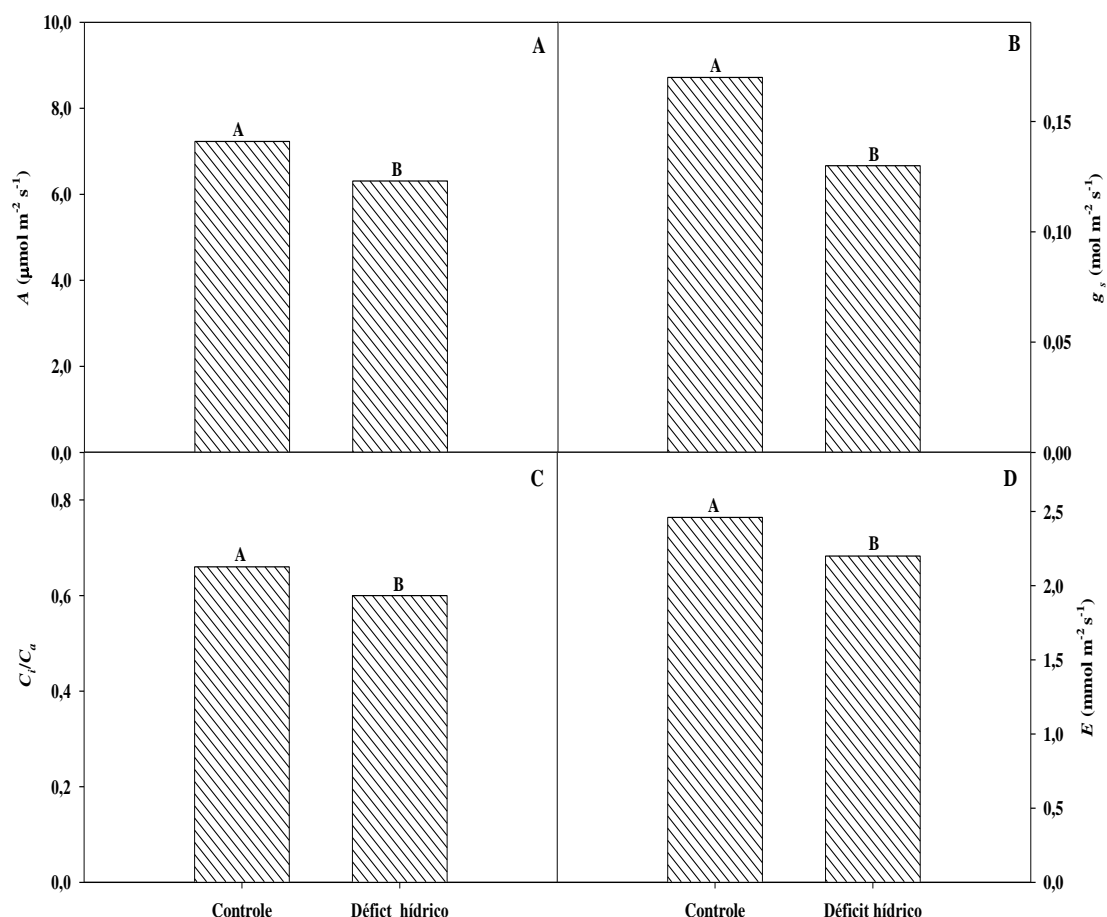
As trocas gasosas em plantas jovens de jatobá demonstraram apenas interação entre a irradiância de crescimento e os dias de tratamento sob os diferentes ambientes de

crescimento (Figura 7). Foi verificado efeito isolado do regime hídrico (Figura 8). A  $A$ ,  $g_s$ ,  $E$  e a  $C_i/C_a$  não demonstraram alterações significativas ao longo do período de avaliação em plantas crescidas nas irradiâncias de 45 e 230  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 7A a D). No entanto, com exceção da relação  $C_i/C_a$  (Figura 7C), as demais características das trocas gasosas das plantas crescidas nas irradiâncias de 510 e 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  diminuíram ao longo do período de avaliação, mas de forma mais proeminente na última avaliação (Figura 7A a D).



**Figura 7.** A) Taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A$  -  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), B) Condutância estomática ( $g_s$  -  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), C) relação  $C_i/C_a$  e D) Taxa transpiratória ( $E$  -  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em plantas jovens de jatobá, em função da irradiância de crescimento e do período (dias) de tratamento. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre os dias e minúscula entre as irradiâncias, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n = 10$ ).

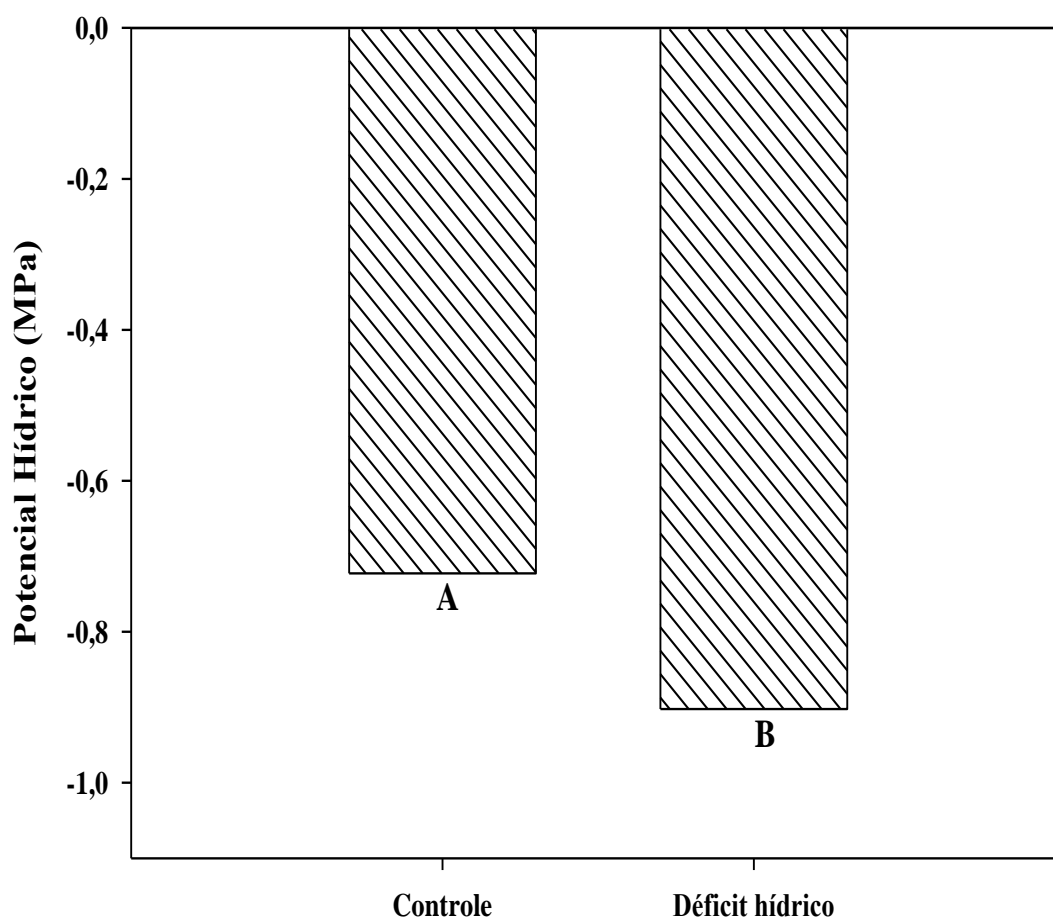
O déficit hídrico reduziu significativamente a  $A$  (Figura 8A), a  $g_s$  (Figura 8B), a relação  $C_i/C_a$  (Figura 8C) e a  $E$  (Figura 8D) de plantas jovens de jatobá em relação às plantas controle.



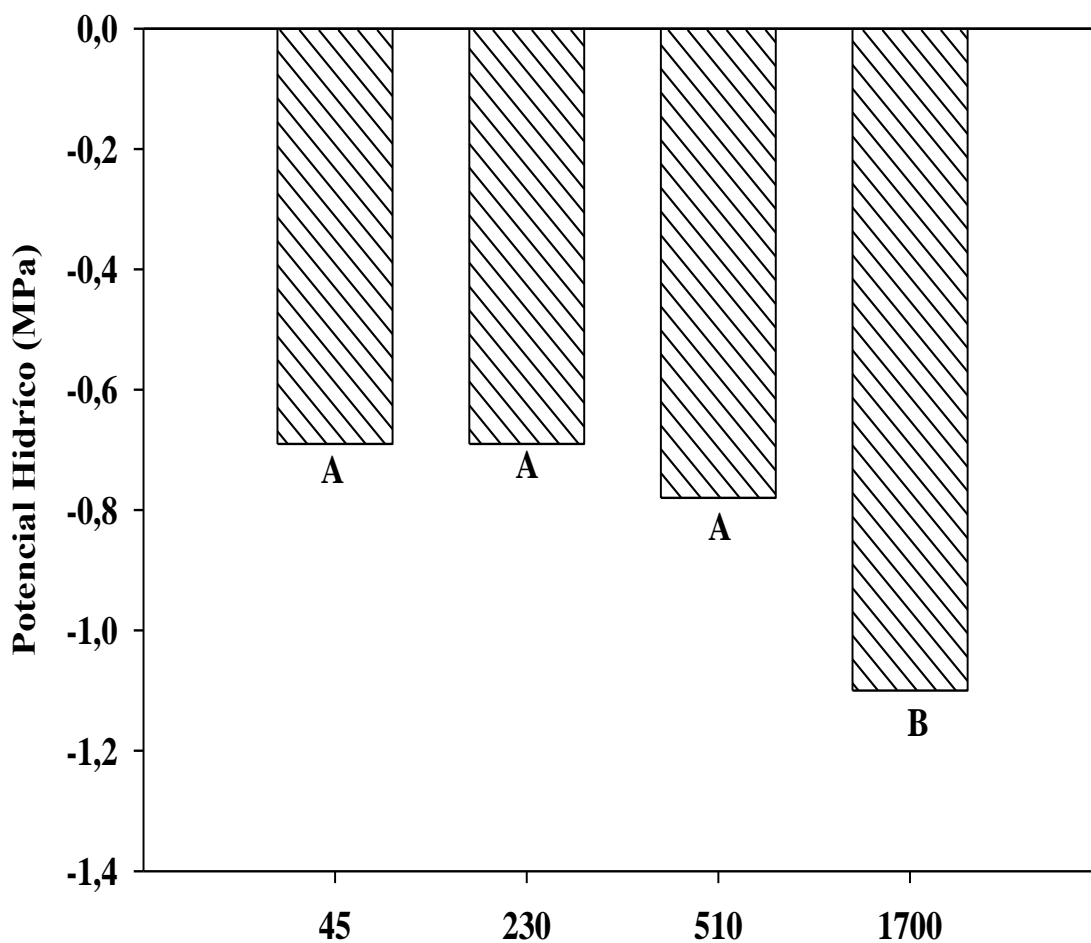
**Figura 8.** A) Taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A$  -  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), B) Condutância estomática ( $g_s$  -  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) C) Relação  $C_i/C_a$  e D) Taxa transpiratória ( $E$  -  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em plantas jovens de jatobá em função do regime hídrico. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n = 60$ ).

### 3.3.2. Potencial hídrico, conteúdo relativo de água e taxa de liberação de eletrólitos

O potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) de plantas jovens de jatobá foi influenciado tanto pela irradiância de crescimento quanto pelo regime hídrico imposto, mas de forma independente. O potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) foi significativamente menor, em plantas submetidas ao déficit hídrico (Figura 9) e em plantas crescidas sob a irradiância de 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 10), representando uma redução de aproximadamente 60% em relação às plantas crescidas na irradiância de 45  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .



**Figura 9.** Potencial Hídrico em plantas jovens de jatobá, em função do regime hídrico. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n = 60$ ).

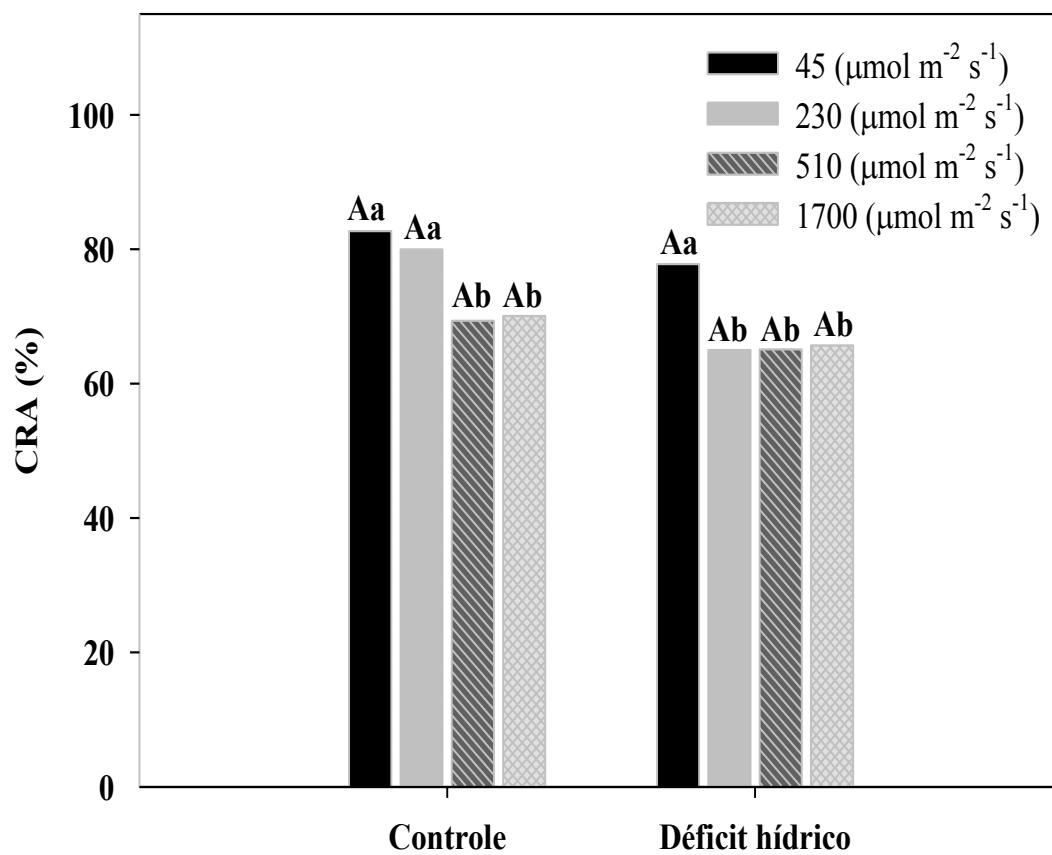


**Figura 10.** Potencial Hídrico ( $\Psi_w$ ) em plantas jovens de jatobá, em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n = 40$ ).

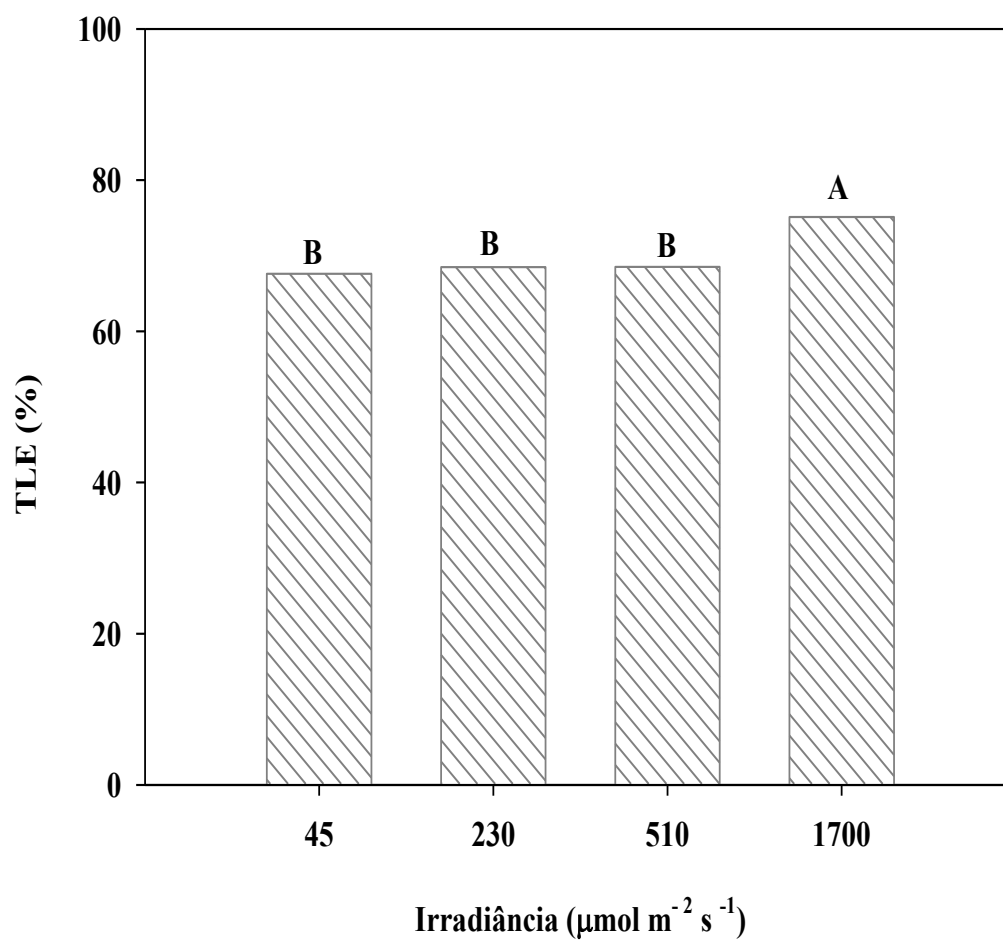
Para o conteúdo relativo de água (CRA%), houve interação da irradiância de crescimento com o regime hídrico. Os dados demonstram que plantas de jatobá crescidas sob irradiância maior do que  $510 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  possuem menor CRA mesmo quando bem irrigadas. Em condições de déficit hídrico, esta diminuição no CRA já é observada em plantas crescidas em irradiâncias superiores a  $230 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 11).

Maior taxa de liberação de eletrólitos foi observada em plantas crescidas sob a irradiância de  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 12).





**Figura 11.** Conteúdo relativo de água (CRA%) em plantas jovens de jatobá, em função da irradiância de crescimento e do regime hídrico. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre o regime hídrico e minúscula entre as irradiâncias, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n = 60$ ).



**Figura 12.** Taxa de liberação de eletrólitos (TLE%) em plantas jovens de jatobá, em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n = 40$ ).

### 3.3.3. Fluorescência da clorofila *a*

As características da fluorescência da clorofila *a* não foram afetadas significativamente pelo regime hídrico aplicado. No entanto houve interação entre a irradiância de crescimento e o período (dias) de tratamento.

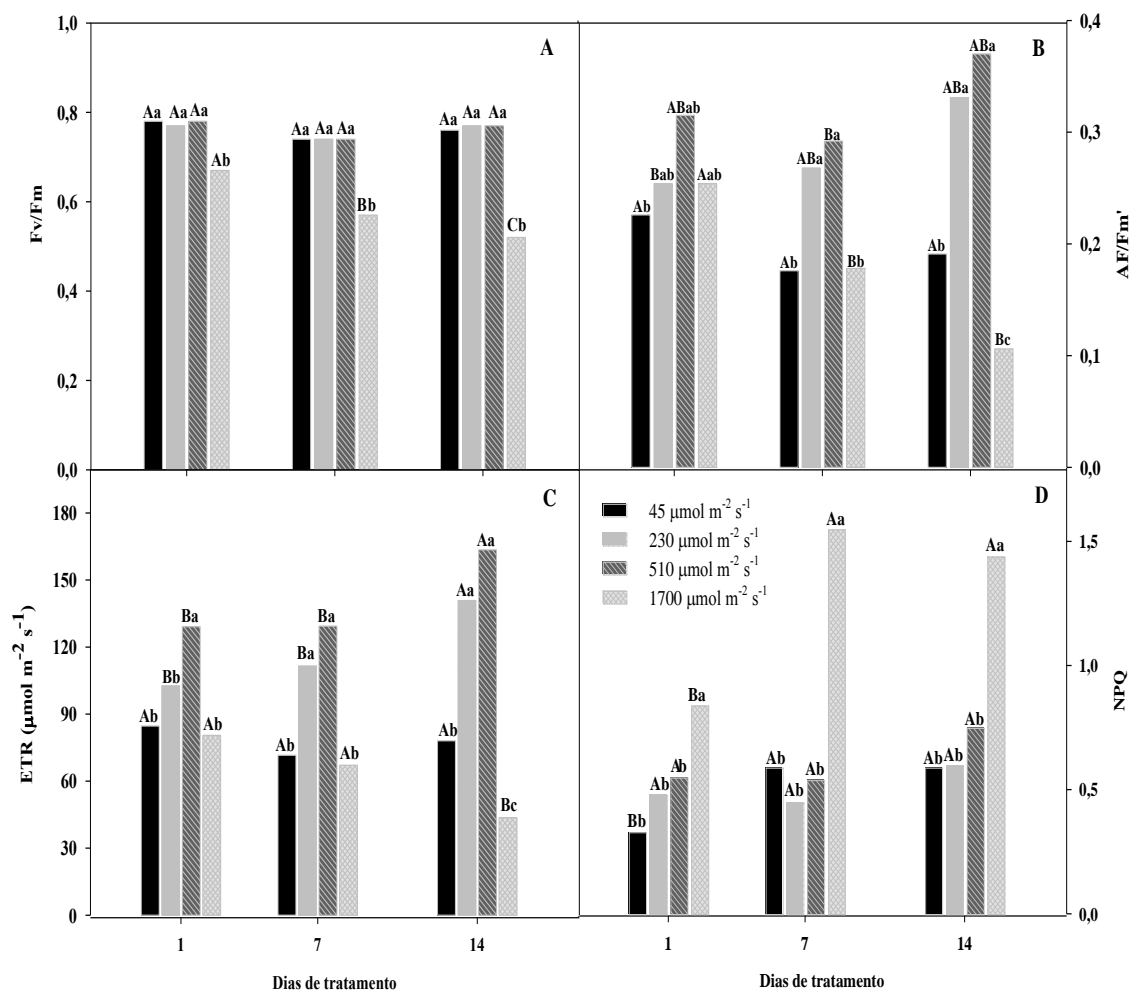
O rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm) reduziu significativamente no decorrer do período sob os tratamentos nas plantas crescidas na irradiância de 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , ocorrendo em torno de 0,59. Nas irradiâncias de 45, 230 e 510  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  os valores de Fv/Fm ficaram em torno de 0,8 durante todas as avaliações realizadas no período experimental (Figura 13A).

A avaliação adicional do rendimento quântico máximo do fotossistema II (Fv/Fm), realizada no final do período experimental ao meio dia (12h00min) e repetida às 08h:00min da manhã do dia seguinte, não mostrou recuperação dos valores de Fv/Fm para plantas crescidas na irradiância de 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Os valores de Fv/Fm verificados foram de 0,59 às 12h00min e 0,69 às 08h00min do dia seguinte. Estes dados sugerem que as plantas jovens de jatobá em condição de pleno sol, 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , foram susceptíveis a fotoinibição crônica (Tabela 1).

Houve uma redução no rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Delta F/Fm'$ ) para plantas cultivadas a pleno sol (1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) ao longo do período de tratamento (Figura 13B). No entanto, reduções mais proeminentes foram observadas nos extremos de irradiâncias (45 e 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) em todos os dias avaliados (Figura 13B).

A ETR aos 29 dias de tratamento foi menor cerca de 2,5 vezes, em plantas submetidas aos extremos de irradiância (45 e 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), quando comparadas com aquelas crescidas sob irradiâncias intermediárias (Figura 13C).

Diferente da ETR o NPQ aumentou de 0,9 para 1,5 ao longo do período de tratamento em plantas submetidas na irradiância de 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Estes valores representam um aumento maior do que 65% em relação às plantas crescidas sob condição de menores irradiâncias (Figura 13D).



**Figura 13.** A) Rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ), B) Rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $\Delta F/F_m'$ ), C) Taxa relativa de transporte de elétrons (ETR) e D) Coeficiente de extinção não fotoquímica (NPQ), em plantas jovens de jatobá em função da irradiância de crescimento e do período (dias) de tratamento. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre os dias e minúscula entre as irradiâncias, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n = 10$ ).

**Tabela 1.** Razão Fv/Fm de plantas jovens de jatobá submetidas aos diferentes níveis de irradiância no ambiente de crescimento avaliadas às 12h00min, horário de maior intensidade luminosa e no dia seguinte às 8h00min. Os dados são médias de ( $n = 10$ ).

Irradiância ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Fv/Fm	
	Horário de medição	
	12h00min	8h00min
45	0,82 Aa*	0,82 Aa
230	0,81 Aa	0,81 Aa
510	0,79 Bb	0,80 Ab
1700	0,59 Bc	0,69 Ac

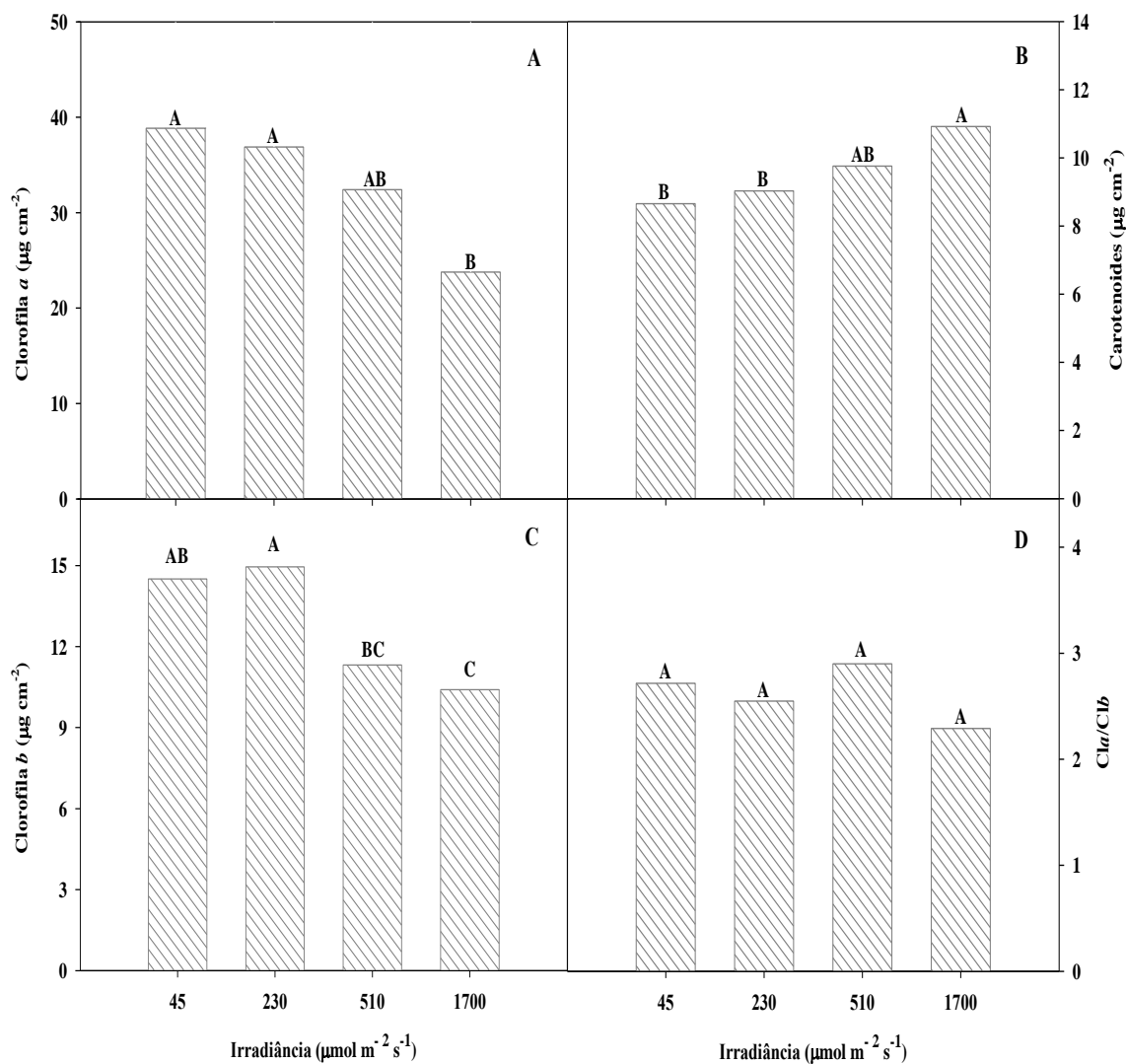
\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula entre os horários de medição e de letras minúscula entre as irradiâncias em cada horário não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 3.3.4. Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos

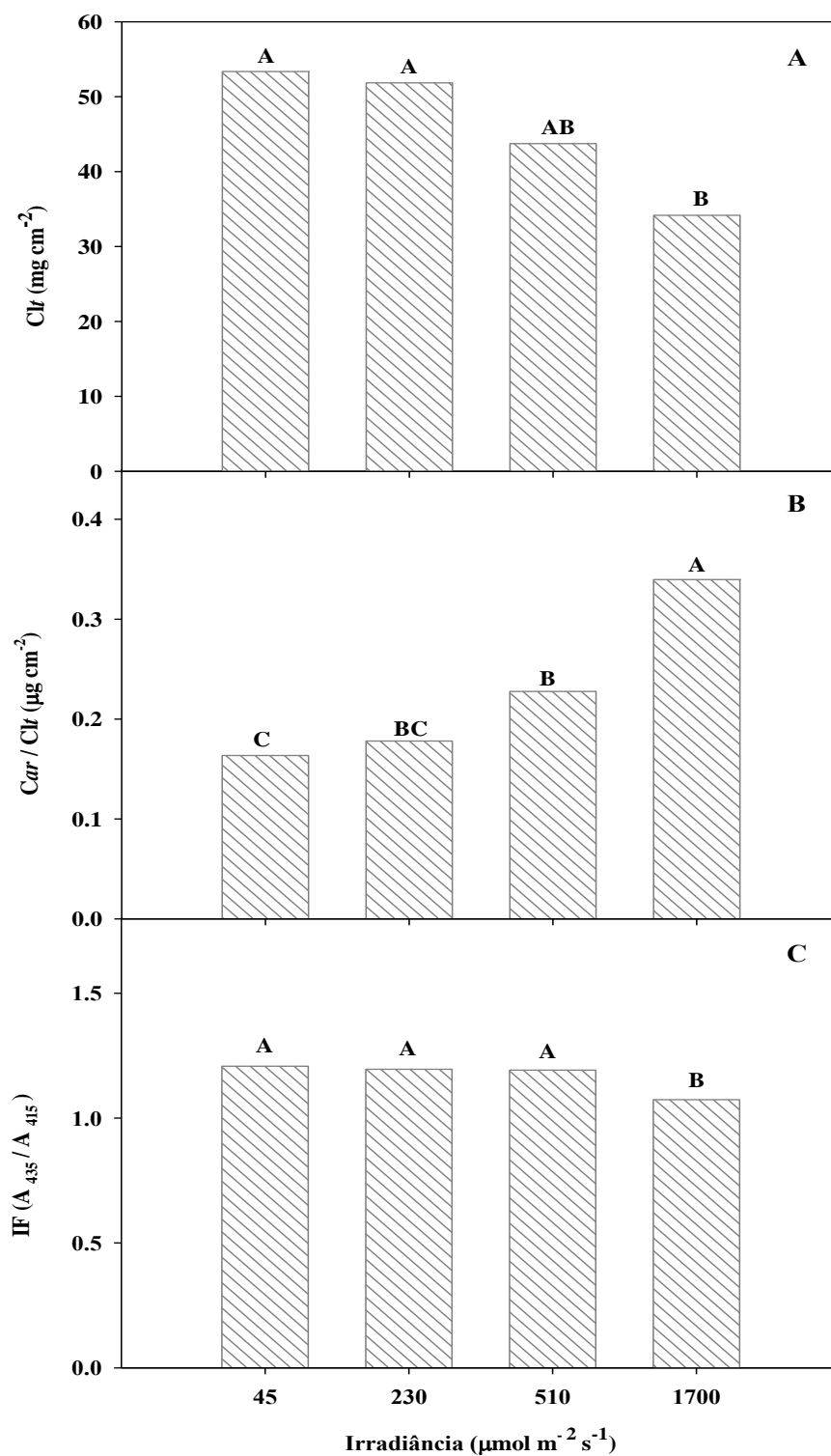
Os resultados do conteúdo de pigmentos cloroplastídicos de plantas jovens de jatobá revelaram que as condições de irradiância teve efeito significativo sobre o conteúdo de clorofilas e carotenoides, clorofila total, razão carotenoides/clorofilas e índice de feofitinação, mas não alterou a razão clorofila *a/b* (Figura 14). Já o regime hídrico não afetou estas características.

O conteúdo de clorofila *a* (Cl<sub>a</sub>) (Figura 14A), clorofila *b* (Cl<sub>b</sub>) (Figura 14C), clorofila total (Cl<sub>t</sub>) (Figura 15A) e o índice de feofitinação (IF) (Figura 15C) reduziram com o aumento da irradiância. Decréscimos mais pronunciados foram observados em

1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . O conteúdo de carotenoides (Figura 14B) e a razão carotenoides/clorofilas (Figura 15B) aumentaram significativamente em função do aumento da irradiância. Por outro lado a razão clorofila *a/b* permaneceu inalterada entre as diferentes irradiâncias de crescimento (Figura 14D).



**Figura 14.** A) Conteúdo de clorofila *a*, B) carotenoides, C) clorofila *b* e D) razão clorofila *a/b* de plantas jovens de jatobá em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias de ( $n = 10$ ).



**Figura 15.** A) Conteúdo de clorofila total (Cl<sub>t</sub>), B) razão carotenoides/clorofilas (Car/Cl<sub>t</sub>) e C) índice de feofitinação (IF) de plantas jovens de jatobá, em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias ( $n = 10$ ).

### 3.3.5. Características do crescimento

Na Tabela 2, é apresentado o resumo da análise de variância dos dados de crescimento. Observa-se que a maioria destas características foi afetada apenas pela irradiância no ambiente de crescimento.

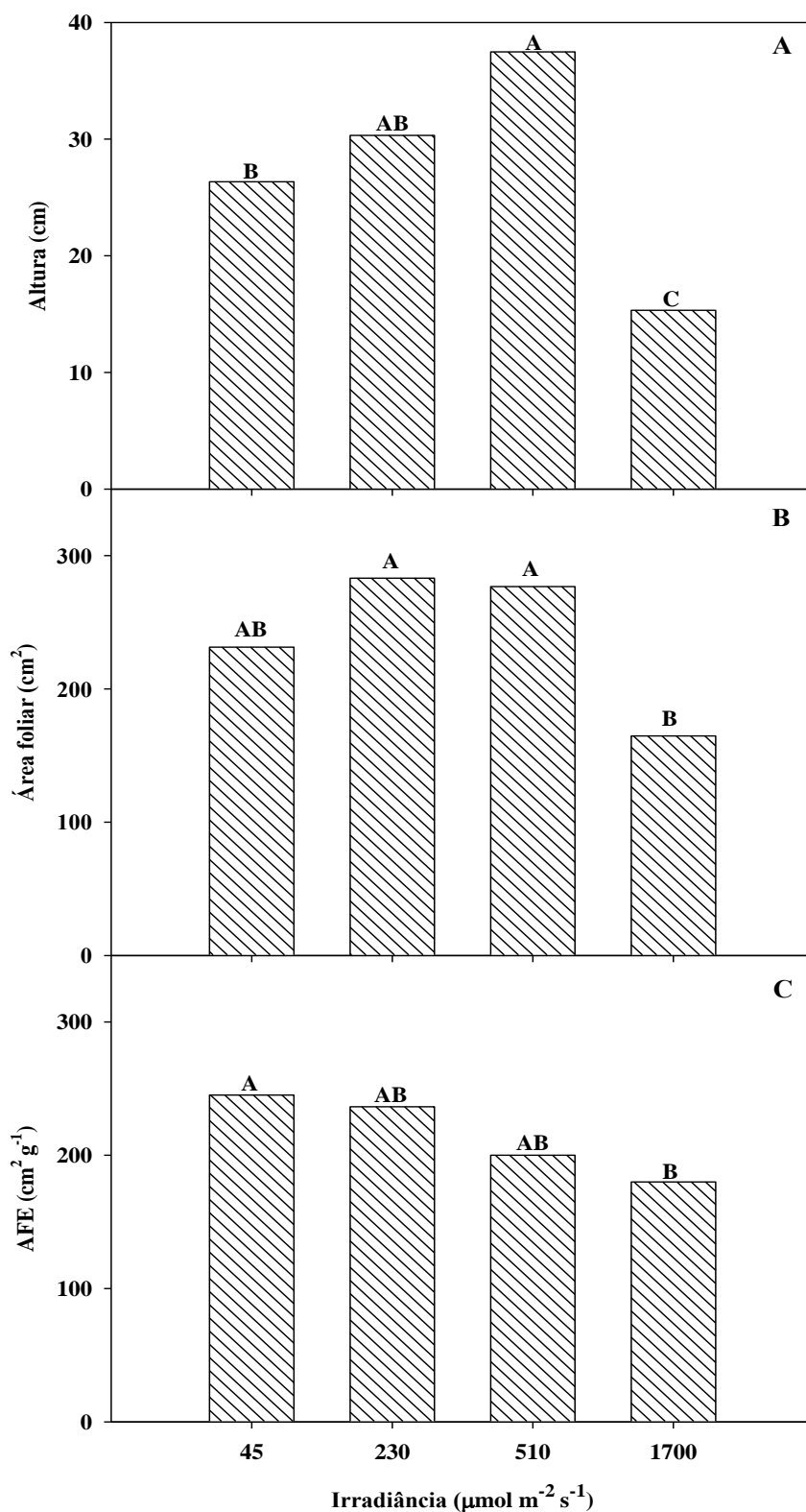
A altura (Figura 16A) e a área foliar (Figura 16B) diminuíram em plantas crescidas nos extremos de irradiâncias testadas (45 e 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), mas de forma mais proeminente na irradiância de 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Já a área foliar específica sofreu decréscimos com o aumento das irradiâncias de crescimento (Figura 16C).

**Tabela 2.** Resumo da Análise de Variância dos dados de crescimento de plantas jovens de jatobá, sendo: altura, número de folhas (Nº folhas) área foliar (AF), área foliar específica (AFE), comprimento de raiz e caule, número de entrenós (Nº de entrenós), massa seca de caule (MSC) e massa seca de raiz (MSR).

Fonte de variação	Altura	Nº folhas	AF	AFE	Raiz	Caule	Entrenós	MSC	MSR
Irradiância	**	ns	**	*	*	ns	ns	ns	**
Níveis de água	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Irradiância x Níveis de água	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	**

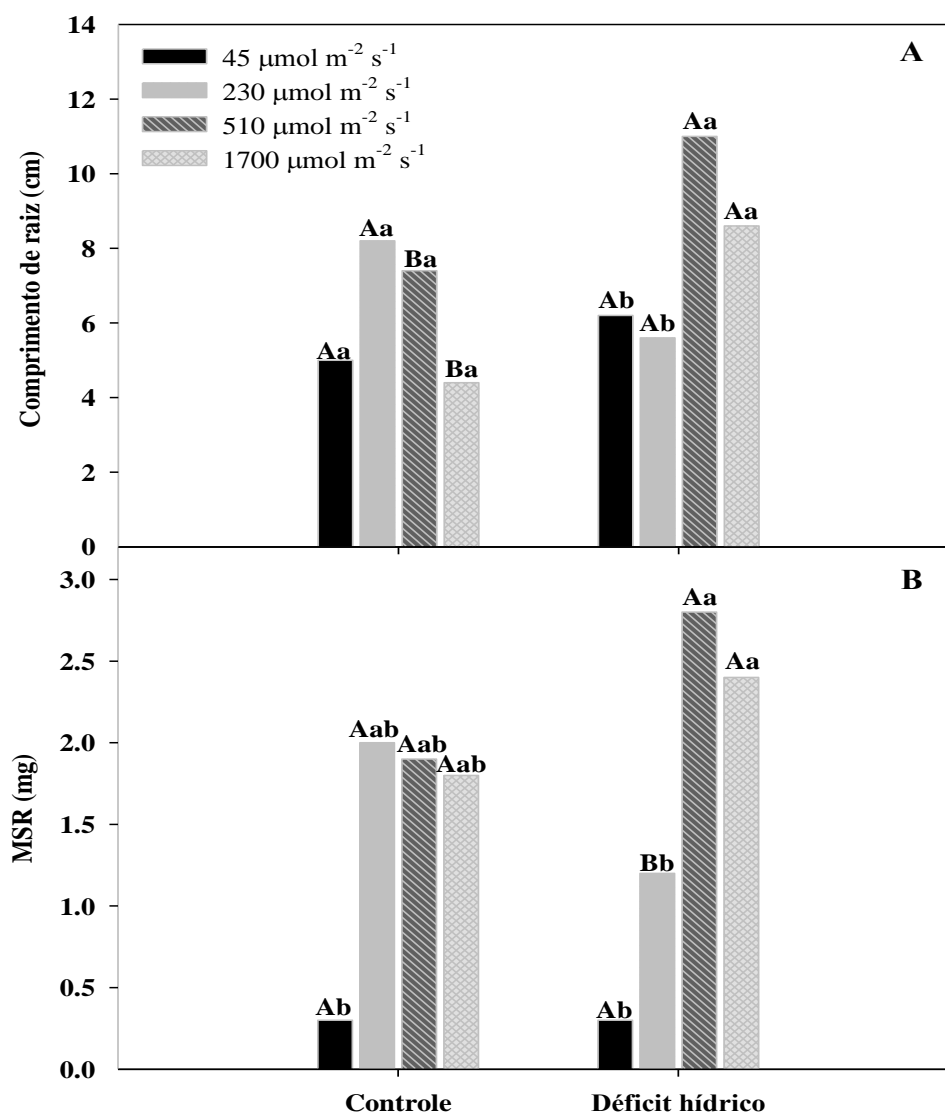
ns, não significativo; \*\* significativo ao nível de 1%, \* significativo ao nível de 5% pelo teste de *F*.





**Figura 16.** A) Altura, B) área foliar e C) área foliar específica de plantas jovens de jatobá em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias ( $n = 10$ ).

O comprimento de raiz e a MSR tiveram interação significativa entre os níveis de irradiância e o regime hídrico (Figura 17A e 17B). Plantas submetidas ao déficit hídrico e em irradiâncias de 510 e 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  tiveram maior crescimento do sistema radicular (Figura 17A) e uma maior MSR (Figura 17B).



**Figura 17.** A) Comprimento de raiz e B) massa seca de raiz (MSR), de plantas jovens de jatobá em função da irradiância de crescimento e regime hídrico. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados são médias ( $n = 60$ ).

## 4. DISCUSSÃO

Ao longo do período experimental as plantas jovens de jatobá responderam aos tratamentos contrastantes das irradiâncias de crescimento, demonstrando alterações nas características fisiológicas e morfológicas avaliadas. Houve efeito diferenciado das irradiâncias de crescimento, do regime hídrico e das interações entre esses fatores em diversas características avaliadas.

### 4.1. Trocas gasosas

Os valores de  $A$ , observados neste estudo, estão dentro da faixa de valores encontrados para espécies arbóreas do cerrado em condições de campo, variando entre 4 a  $16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (PALHARES et al., 2010).

Possivelmente, a redução observada na  $A$  em plantas sob irradiância de  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  é em razão da sensibilidade das mesmas ao excesso de luz, pois o jatobá é classificado, de acordo com o grupo sucessional, como uma espécie secundária tardia (DURIGAN e NOGUEIRA, 1990). Nessa irradiância, observou-se também os menores valores de  $g_s$ , relação  $C_i/C_a$ , e  $E$ , indicando uma limitação estomática. Para o pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke), uma espécie arbórea da Amazônia, foi observado, decréscimo nas trocas gasosas ( $A$ ,  $g_s$  e  $E$ ) em condições de maiores irradiâncias ( $1300$  a  $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (GONÇALVES et al., 2005). Para duas espécies de *Berberis* nativas da Patagônia, foi constatada a redução na taxa fotossintética em função do aumento da irradiância no ambiente de crescimento (PERI et al., 2011).

Segundo Lobos et al., (2012) a condutância estomática ( $g_s$ ) é por si só mais sensível à temperatura e ao déficit de pressão de vapor (DPV) do que ao percentual de PAR incidente. Nas condições deste estudo, o ambiente de  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  se caracteriza por ter os menores valores de UR (%) e as maiores temperaturas. Quando as plantas são expostas a alta radiação associada a elevado DPV, os estômatos normalmente se fecham para prevenir a perda de água, o que resulta em uma diminuição na concentração intercelular de  $\text{CO}_2$  e na depressão da fotossíntese (FAVARETTO et al., 2011).

Menor concentração interna de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>) estimula a abertura dos estômatos, permitindo maior influxo de CO<sub>2</sub> para a cavidade subestomática, o que tende a um equilíbrio entre consumo e entrada de CO<sub>2</sub>, mantendo a relação entre concentração interna e concentração externa de CO<sub>2</sub> (C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>) aproximadamente constante. Entretanto, segundo Machado et al., (2005), decréscimos significantes em C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub>, como o observado neste estudo, podem acarretar queda na *A* devido à redução na concentração de CO<sub>2</sub> para a atividade da ribulose – 1,5 – bifosfato carboxilase – oxigenase (rubisco).

De um modo geral o comportamento de redução das características das trocas gasosas (*A*, *g<sub>s</sub>*, C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub> e *E*) com o decorrer dos dias de tratamento, em plantas crescidas sob alta irradiância, foi semelhante ao observado sob o efeito isolado da irradiância. Isto se deve, provavelmente, às variações ambientais, como temperatura, umidade relativa, irradiância e ao tempo de exposição a estes fatores (DIAS e MARENCO, 2007).

O decréscimo acentuado da *A* foi observado em 510 e 1700 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, no final do período experimental, com valores médios de 3,5 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> e 2,9 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, respectivamente. Os maiores valores desta característica, em torno de 7,3 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, foram verificados nas irradiâncias de 45 e 230 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Valores semelhantes foram encontrados por MARIMON et al., (2008) em plantas de mama-cadela (*Brosimum rubescens* Taub), com *A* de 3,76 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> em plantas expostas a pleno sol e de 7,89 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> em plantas expostas a condição de 30% de sombreamento.

A redução da taxa fotossintética em plantas de jatobá em ambientes com alta irradiância está de acordo com o esperado para plantas de sucessão secundária tardia. Portes et al., (2010) comparando a *A* de espécies arbóreas de diferentes grupos sucessionais encontrou respostas semelhantes. Os valores de *A* de espécies secundárias e espécies pioneiras diferem entre si em condições de alta irradiância, apresentando valores entre 1,38 a 9,4 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para as espécies de sucessão secundária e 5,5 a 27,7 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para espécies pioneiras (BAZZAZ e PICKETT, 1980).

A alteração da taxa fotossintética observada na folha está intimamente relacionada com a idade, pois o aumento da assimilação de carbono em folhas quando elas estão plenamente expandidas tem sido atribuído a mudanças bioquímicas tais como aumento no número de cloroplastos funcionais e na concentração de enzimas envolvidas no processo fotossintético (PERI et al., 2011). Já o declínio da taxa fotossintética, ao final do período experimental observado neste estudo, possivelmente é resultante de um possível início de senescência devido a idade da folha. Com o aumento da idade da folha os valores de taxa fotossintética tendem a decrescer progressivamente até a

senescência, devido à degradação de pigmentos cloroplastídicos e à degeneração do cloroplasto (CONFORTO, 2008).

Apesar de estatisticamente não ter sido observada interação entre o estresse hídrico com a irradiância no ambiente, de modo geral as plantas sob déficit hídrico demonstraram alterações nas trocas gasosas. O déficit hídrico promoveu redução na  $A$ ,  $g_s$ ,  $C_i/C_a$  e  $E$ . Esta redução da  $A$  em função do déficit hídrico ocorre devido a redução do índice de troca de  $CO_2$  e a sua condução para a folha, em que além de reduzir a concentração desse elemento nos espaços intercelulares pode acarretar decréscimo no rendimento quântico do fotossistema II (MARIANO et al., 2009; JÚNIOR et al., 2011). Resultados semelhantes de reduções na taxa fotossintética, condutância estomática e transpiração foram encontrados para plantas de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* FR. ALL.) sob deficiência hídrica (MARIANO et al., 2009).

O efeito do déficit hídrico na redução da transpiração ( $E$ ) observado neste estudo está relacionado ao fechamento estomático em resposta a redução da disponibilidade de água para a planta. Além disso, o efeito do déficit hídrico sobre a transpiração, em condições favoráveis é determinado pela radiação e pelo déficit de pressão de vapor (MARIANO et al, 2009).

Os valores da transpiração mostraram relação direta com a condutância estomática e com a fotossíntese. Os dados obtidos no presente trabalho sugerem que o fechamento dos estômatos, durante o déficit hídrico, ocasionou uma diminuição na condutância estomática, que resultou numa menor difusão do  $CO_2$  para o interior das folhas e conseqüentemente na redução da fotossíntese.

#### 4.2. *Potencial hídrico, conteúdo relativo de água e taxa de liberação de eletrólitos*

Tanto a irradiância quanto o estresse hídrico, de forma independente afetaram o potencial hídrico das plantas de jatobá. Os menores valores do potencial hídrico foram observados nas plantas submetidas ao déficit hídrico, e também naquelas crescidas sob irradiância de  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  independente do regime de irrigação. A diminuição do  $\Psi_w$  juntamente com uma menor umidade e maior irradiância resultaram na diminuição dos valores das trocas gasosas conforme discutido anteriormente. O menor CRA observado em irradiâncias acima de  $510 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , tanto para plantas sob déficit

hídrico quanto nas plantas controle, confirmam o efeito independente da irradiância, como fator de estresse, mesmo quando estas plantas se encontram bem hidratadas.

A maior taxa de liberação de eletrólitos em irradiâncias de  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  sugere que as membranas celulares das plantas de jatobá nessa condição de crescimento sofreram dano permitindo o maior extravasamento do conteúdo celular. Excesso de energia radiante pode promover em plantas a formação de formas ativas de oxigênio no citoplasma com consequentes danos às membranas e aumento da permeabilidade celular a saída de íons da célula. Por meio desta extrusão de íons, avaliada pela medida da condutividade elétrica, é possível avaliar o grau de dano à membrana (DEXTER et al., 1932).

A redução na  $A$  sob aumento da irradiância geralmente foi acompanhado por uma queda na  $g_s$  e  $F_v/F_m$ , o que sugere que a redução na taxa de assimilação de  $\text{CO}_2$  nas plantas de jatobá é um efeito estomático mas também devido à ocorrência de fotoinibição.

#### 4.3. *Fluorescência da clorofila a*

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, as contrastantes irradiâncias de crescimento de plantas jovens de jatobá, afetou o comportamento de todas as características da fluorescência da clorofila  $a$ , evidenciado pela interação significativa entre a irradiância de crescimento e o período de tratamento. No entanto, não foi observado efeito do estresse hídrico nas características da fluorescência em nenhuma das condições experimentais avaliadas neste estudo.

Quando comparadas às plantas crescidas nas irradiâncias de 45 e  $230 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , as plantas crescidas em 510 e  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , foram mais predispostas a sofrerem fotoinibição. A fotoinibição pode ser estimada através da emissão da fluorescência da clorofila  $a$ , sendo quantificada nas folhas de plantas submetidas a estresse luminoso, que sofreram alterações no estado funcional das membranas dos tilacóides dos cloroplastos (ADIBAH & AINUDDIN, 2011).

O parâmetro  $F_v/F_m$  é usado para estimar os efeitos da irradiância sobre a integridade do fotossistema II (FSII). Seus valores podem variar entre 0,75 a 0,85 em condições não estressantes (BOLHÀR-NORDENKAMPF et al., 1989; RONQUIM et al., 2009). Entretanto o decréscimo na eficiência quântica potencial do fotossistema II

(Fv/Fm) é um indicativo de danos ao aparato fotossintético (ARAÚJO & DEMINICIS, 2009).

Na fase inicial do experimento, até aos 12 dias de tratamento isolado apenas com as diferentes irradiância, a razão Fv/Fm encontrava-se com valores médios de 0,82, indicando um bom funcionamento do aparato fotossintético. No entanto, no final, após 54 dias sob tratamento, as reduções de Fv/Fm a valores menores que 0,6 em plantas sob irradiância de  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  evidenciam a ocorrência da fotoinibição. As plantas crescidas em  $510 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  demonstraram uma discreta redução na razão Fv/Fm, mas ainda dentro de uma faixa que não caracteriza a fotoinibição.

Este comportamento foi similar quando as plantas de jatobá foram submetidas à combinação dos fatores irradiância e regime hídrico nas condições de crescimento. Os valores da razão Fv/Fm reduziram significativamente sempre em plantas crescidas sob a irradiância de  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  no decorrer dos dias de tratamento. Foram constatados valores médios em torno de 0,64 que se mantiveram baixos em avaliações sucessivas. A manutenção dos baixos valores da razão Fv/Fm na manhã seguinte, reforçam a ocorrência de uma fotoinibição crônica.

A fotoinibição crônica está relacionada a exposição foliar a períodos prolongados de altos níveis de radiação solar, promovendo decréscimos na eficiência quântica e na taxa fotossintética máxima (ARAÚJO & DEMINICIS, 2009).

Sob alta irradiância, as plantas estão predispostas a sofrer fotoinibição sendo este fenômeno muito frequente em regiões tropicais, em que a intensidade da luz pode atingir níveis maiores de  $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (LARCHER, 1995). Lemos – Filho (2010), na estação seca do cerrado observou que a maioria dos valores de densidade de fluxo de fótons (DFFA) variou entre 1500 a  $1817 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , propiciando alta disponibilidade de luz para o sub-bosque, o que propicia a ocorrência de estresse luminoso para plantas crescidas neste ambiente.

A diminuição da fotossíntese ocasionada pela fotoinibição é uma condição típica de plantas expostas ao excesso de luz. Assim é fundamental que plantas frequentemente expostas a alta irradiância, elevada temperatura e baixa umidade, a exemplo das plantas de cerrado (savana neotropical) mantenham um equilíbrio entre a luz absorvida na fotossíntese e a dissipação da energia (FRANCO, 2007). No entanto, quando este equilíbrio não ocorre existe uma maior suscetibilidade destas plantas sofrerem fotoinibição.

Na fotoinibição dinâmica a planta pode recuperar do dano fotoinibitório rapidamente, após a exposição ao excesso de luz quando o fluxo de fótons decresce. Entretanto quando a eficiência quântica e a taxa fotossintética decrescem, por períodos prolongados, envolvendo a degradação da proteína D1 no centro de reação do FSII, ocorre a fotoinibição crônica (TAIZ & ZEIGER, 2009, ARAÚJO & DEMINICIS, 2009).

De acordo com Baker (1991) a alta luminosidade provoca a degradação da proteína D1 interferindo no transporte de elétrons e provocando uma redução na eficácia do funcionamento do aparato fotossintético.

Estudos com plantas de jatobá (*H. courbaril*) evidenciaram que a espécie tem uma alta sensibilidade a alta irradiância, com redução nos valores de Fv/Fm (SILVESTRINE et al., 2007; SILVA, 2010; FAVARETTO et al., 2011). Reduções da Fv/Fm em plantas sob condição de alta irradiância têm sido relacionados à fotoinibição, como relatado para árvores tropicais (GONÇALVES et al., 2005; DIAS e MARENCO, 2007).

Sendo o jatobá uma espécie tolerante a sombra, as reduções observadas na razão Fv/Fm sob condição de alta irradiância e a rápida aclimação das mesmas em irradiâncias intermediárias, está de acordo com o esperado para espécies desta sucessão. Segundo DOS ANJOS et al., (2012) a susceptibilidade à fotoinibição e a capacidade de aclimação a diferentes regimes de luz estão diretamente relacionados com as características dos grupos sucessionais, acreditando que as espécies exigentes à luz são capazes de aclimatar mais rapidamente e de maneira mais eficiente a qualquer aumento de radiação do que as espécies tolerantes à sombra.

Neste estudo, as reduções da Fv/Fm sob alta irradiância podem ser explicadas pela baixa capacidade de proteção contra o excesso de luz absorvida, evidenciado pelos baixos valores de  $\Delta F/Fm'$  e ETR, acompanhada pelo aumento na dissipação não fotoquímica (NPQ) nas plantas crescidas em irradiância de  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , independente do regime hídrico em que se encontravam. Estas informações demonstram que esta espécie possui reduzida capacidade de proteção contra o estresse luminoso, o que justifica a sua classificação como uma espécie secundária tardia. As características fotossintéticas, assim como a capacidade ou a tolerância à fotoinibição e ao estresse oxidativo, diferem entre as plantas pioneiras e secundárias, as pioneiras têm maior capacidade de resposta a alta irradiância, comparada com as espécies secundárias, que são mais vulneráveis à fotoinibição (FAVARETTO et al., 2011).



O rendimento quântico efetivo do FS II representa melhor as variações no rendimento quântico do fotossistema do que a razão  $F_v/F_m$ , indicando a habilidade com que os elétrons são removidos da quinona receptora do FSII, e portanto é considerado um bom indicador do processo fotossintético por representar a proporção de elétrons que são usados na fase fotoquímica (GENTY et al., 1989; BAKER & RONSENQVST, 2004).

A redução do rendimento quântico efetivo do FSII ( $\Delta F/F_m'$ ) em função do incremento da irradiância teve comportamento semelhante ao observado pela ETR neste estudo. Essa redução no  $\Delta F/F_m'$ , reflete na diminuição da eficiência de captura de energia de excitação pelos centros de reações abertos do FS II (LU et al., 2003). As irradiâncias de 230 e 510  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  podem ser consideradas as melhores irradiâncias de crescimento que condicionam o bom funcionamento do aparato fotossintético das plantas jovens de jatobá.

A fotossíntese é limitada pela capacidade do ciclo de Calvin em regenerar a molécula aceptora ribulose-1,5-bisfosfato, que depende das taxas de transporte de elétrons (TAIZ & ZEIGER, 2009). A ETR estima a quantidade de elétrons que estão passando pelo FSII durante a fotossíntese e aumenta conforme a intensidade de luz, até que ocorra a saturação dos carreadores de elétrons.

Neste estudo a exposição a condições de alta irradiância resultou em uma redução da ETR. Nas maiores irradiâncias, a taxa de transporte de elétrons diminuiu e como consequência se observou alta dissipação não fotoquímica (NPQ). Resultados semelhantes foram observados na ETR de plantas da espécie herbácea *Tetragonia hemsleyana* Diels et Gilg crescida sob condições de alta irradiância em casa de vegetação (DAI et al., 2009).

Os valores de NPQ representam a dissipação do excesso de energia que não está sendo utilizada no processo fotossintético, sendo dissipados na forma de calor (SZABÓ et al., 2005). Os valores altos do NPQ nas plantas crescidas na irradiância de 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , observados neste estudo, sugerem o desenvolvimento de mecanismos de proteção contra o excesso de luz (MAXWELL & JOHNSON, 2000), indicando que a planta tem alta capacidade fotoprotetora (DOS ANJOS et al., 2012). A redução de NPQ em baixas irradiâncias indica maior eficiência no uso da energia absorvida pelos pigmentos no FSII (GUO et al., 2006).

#### 4.4. Conteúdo de pigmentos cloroplastídicos

A determinação do conteúdo de pigmentos cloroplastídicos é de extrema importância, porque a atividade fotossintética da planta depende em parte da capacidade da folha em absorver luz. Segundo Lichtenthaler et al., (2007) existem grandes diferenças nos níveis de *Cl<sub>a</sub>*, *Cl<sub>b</sub>*, Clorofila total (*Cl<sub>t</sub>*), bem como na razão *Cl<sub>a</sub>/Cl<sub>b</sub>* e *Car/Cl<sub>t</sub>* entre folhas adaptadas a condições de sol e sombra.

O maior conteúdo de clorofilas *a*, *b* e clorofila total nas irradiâncias de 45 e 230  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  indica uma adaptação fisiológica a fim de maximizar a captura de luz nestas condições. Folhas sob condição de sombra em comparação com folhas sob condição de sol tendem a mostrar maiores concentrações de clorofilas por unidade de peso de folha, apresentando uma maior eficiência de captura da luz (SILVA, 2010). Outros autores também descreveram maior conteúdo de pigmentos em plantas de sombra em relação ao pleno sol (SIEBENEICHLER et al., 2008; DAI et al., 2009; FAVARETTO, 2009; PORTES et al., 2010).

O aumento da clorofila *b* é uma característica importante em plantas de ambientes sombreados. A clorofila *b* capta a energia de fótons de comprimentos de onda mais longos, com menor energia, e transfere para a clorofila *a* que atua intrinsecamente nas reações fotoquímicas da fotossíntese e representa um mecanismo de adaptação à condição de menor intensidade de luz (NERY et al., 2011).

No entanto, o conteúdo de clorofilas diminuiu consideravelmente na maior irradiância, provavelmente devido à degradação oxidativa promovida pela fotoinibição. Baixas concentrações dos pigmentos cloroplastídicos podem ser atribuídas a elevadas taxas de degradação destes pigmentos sob altas irradiâncias, como observadas em folhas de sol que apresentam menores concentrações quando comparadas com folhas de sombra (LICHTENTHALER et al., 2007; ARAÚJO & DEMINICIS, 2009).

A razão clorofila *a/b* não alterou de forma significativa nos diferentes níveis de luz. Os valores obtidos estão de acordo com o encontrado para outras espécies. De acordo com Morishige e Dreyfuss (1998) e Buchanan et al., (2000) a razão clorofila *a/b* varia entre 2,0 a 4,4 para o FSI e entre 1,5 a 4,0 para o FSII. O resultado observado neste estudo, quanto à razão *Cl<sub>a</sub>/Cl<sub>b</sub>* provavelmente está relacionado a adaptação a fim de manter a eficiência da fotossíntese na fase fotoquímica (TAIZ & ZEIGER, 2004). Plantas de *Talisia subalbans* (NERY et al., 2011), *Myrtus communis* (MENDES et al.,

2001) e *Aniba rosaeodora* Ducke (GONÇALVES et al., 2005) não tiveram diferença significativa entre a razão clorofila *a/b* para plantas de sol e sombra.

O aumento do conteúdo de carotenoides e da relação carotenoides/clorofilas com o aumento da irradiância observado neste trabalho sugere mecanismos de fotoproteção das plantas em resposta ao excesso de luz. A transferência de energia das clorofilas para alguns carotenoides do ciclo das xantofilas leva a dissipação de energia na forma de calor, desempenhando um importante papel na atenuação da fotoinibição por dissipar a energia em excesso (DOS ANJOS et al, 2012).

Os carotenoides atuam de forma a prevenir a fotooxidação de clorofilas. Esta razão carotenoides/clorofila total é usada como um indicador de dano fotooxidativo causado por alta irradiância (HENDRY & GRIME, 1993).

Folhas crescidas sob alta intensidade luminosa contêm um *pool* de xantofilas maior do que as folhas de sombra podendo dissipar quantidades mais altas do excesso de energia, através da conversão da violaxantina em zeaxantina, via o intermediário anteraxantina, pela enzima violaxantina de-epoxidase (TAIZ & ZEIGER, 2009).

O índice de feofitinação foi significativamente menor em  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Este decréscimo reforça a hipótese de que nesta irradiância há uma degradação do conteúdo de clorofilas, principalmente a clorofila *a*, pigmento importante na captura de energia para o processo fotossintético. Segundo Ronen e Galun (1984), a redução do IF a valores menores que 1,40 é um indicativo da degradação das clorofilas.

#### 4.5. *Características do crescimento*

A análise de crescimento possibilita descrever e investigar as características morfofisiológicas de plantas submetidas as diferentes condições luminosas, como também investigar sua adaptabilidade ao ambiente. As taxas de crescimento de espécies arbóreas tropicais variam muito entre as espécies e a sucessão ecológica, também em resposta à disponibilidade de recursos, sendo a luz considerada um dos mais importantes fatores ambientais que impulsiona o crescimento de espécies arbóreas tropicais (RUGER et al., 2011).

O crescimento das plantas jovens de jatobá foi afetado pelas diferentes condições de irradiâncias testadas. De um modo geral os extremos de irradiâncias ( $45$  e  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) afetaram negativamente a altura das plantas. As maiores alturas

foram observadas em irradiâncias intermediárias (230 e 510  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). A irradiância de 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  em comparação com a irradiância de 45  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , inibiu em 40% o crescimento. Já a irradiância de 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  comparada com as irradiâncias de 230 e 510  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , a inibição foi de aproximadamente 60% no crescimento das plantas jovens de jatobá. Resultados semelhantes foram encontrados em plantas de jatobá (*H. courbaril*) por Almeida et al., (2005) e Lima (2010) em que o tratamento ao pleno sol reduziu o crescimento das plantas, e a maior altura foi obtida com 50% de sombreamento. Para *Aniba rosaeodora* Ducke uma espécie da Amazônia, crescida em quatro diferentes irradiâncias, demonstrou que os extremos de irradiâncias (10 a 250 e 1300 a 1800  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , respectivamente) inibiu o crescimento das plantas (GONÇALVES et al., 2005).

A área foliar (AF) também foi reduzida nos extremos de irradiância, porém de forma mais acentuada em 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . A redução da área foliar em plantas submetidas a condições estressantes é uma estratégia de sobrevivência, com o intuito de diminuir a área disponível da transpiração (CORREIA e NOGUEIRA, 2004). O aumento da área foliar mostra a habilidade da espécie em utilizar a radiação fotossinteticamente ativa e alocar os fotoassimilados em resposta a um ambiente particular de luminosidade (LARCHER, 2006). As espécies *Schinus terebinthifolia*, *Hymenaea courbaril* e *Lecythis pisonis*, reduziram a área foliar com o aumento da irradiância (SILVA, 2010).

A área foliar específica (AFE) diminuiu com o incremento da irradiância. Maiores valores da AFE, encontrados para as folhas de sombra, demonstram um menor investimento na lignificação de tecidos como epiderme e cutícula, indicando que as plantas crescidas nas menores irradiâncias investiram menos na espessura e lignificação destes tecidos. Resultados semelhantes foram descritos para espécies arbóreas de cerrado, em que a AFE foi maior em folhas de sombra em relação a folhas de sol (MARIMON et al., 2008; ROSSATTO et al., 2010).

Plantas que crescem em regiões mais secas melhoram a absorção de água desenvolvendo sistemas radiculares mais profundos o que permite a busca de água nas camadas úmidas do solo. Geralmente, plantas consideradas tolerantes à seca apresentam reduções significativas na parte aérea e aumento na alocação de carbono no sistema radicular (TAIZ & ZEIGER, 2009). Neste estudo, o maior crescimento radicular e MSR, foi observado em plantas sob déficit hídrico crescendo em 510 e 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , essa resposta, pode estar associado a mecanismos de tolerância à seca, sendo que em

condições de baixa disponibilidade de água no solo, as plantas investem mais em biomassa nas raízes a fim de aumentar a capacidade de absorção de nutrientes (CORREIA e NOGUEIRA, 2004).

## 5. CONCLUSÕES

As plantas jovens de jatobá foram responsivas aos tratamentos das contrastantes irradiâncias de crescimento, tanto em condições isoladas de irradiância e também quando combinada ao déficit hídrico.

Plantas crescidas em irradiância de  $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , sofreram fotoinibição do aparato fotossintético. O efeito negativo desta irradiância sobre o aparato fotossintético das plantas jovens de jatobá, foi confirmado através das avaliações da fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas, conteúdo de pigmentos cloroplásticos e taxa de liberação de eletrólitos, observou-se as menores taxas fotossintéticas, redução da razão  $F_v/F_m$ ,  $AF/F_m'$ , ETR e aumentos no NPQ, bem como redução do conteúdo de clorofilas *a*, *b*, *total* e IF e uma maior taxa de liberação de eletrólitos, indicando que esta irradiância afeta o bom funcionamento do aparato fotossintético destas plantas.

Plantas jovens de jatobá crescidas nas irradiâncias de 45 e  $230 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , tiveram o melhor funcionamento do aparato fotossintético. O efeito positivo desta irradiância foi evidenciado através das avaliações de fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas.

O regime hídrico imposto não alterou as características da fluorescência da clorofila *a* das plantas neste estudo. No entanto, promoveu uma limitação fotossintética para as plantas submetidas ao déficit hídrico, com menores taxas fotossintéticas e menor potencial hídrico, quando comparadas às plantas irrigadas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIBAH, R. M. S.; AINUDDIN, A. N. Epiphytic Plants Responses to light an water stress. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.10 n.2, p. 97-197, 2011

ALMEIDA, S. M. Z.; SOARES, A.M.; CASTRO, E.M.; VIEIRA, C.V.; GAJEGO, E. B. Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. **Ciência Rural**, v.35, n.1, p.62-68, 2005.

ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.7, n.4, p. 463-472, 2009.

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

BAZZAZ, F.A.; PICKET, S.T.A. Physiological ecology of tropical succession: a comparative review. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 11, p. 297 - 310, 1980.

BENERAGAMA, C. K.; GOTO, K. Chloroplyll a:b Ratio Increases Under Low – light in ‘Shade-tolerant’ *Euglena gracilis*. **Tropical Agricultural Research**, v.22, n.1, p.12-25, 2010.

BILGER, W.; BJÖRKMAN, O. Role of xanthophyll cycle in photoprotection elucidated by measurements of light induced absorbance changes, fluorescence and photosynthesis in leaves of *Hedera canariensis*. **Photosynthesis Research**, v.25, p.173-185, 1990.

BILGER, W.; SCHEREIBER, U.; BOCK, M. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and of non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. **Oecologia**, n.102, p.425-432, 1995.

BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R.; LONG, S.P., BAKER, N.R., et al. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. **Functional Ecology**, n.3, p.497-514, 1989.

BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W. JONES, R. L. Photosynthesis.2000 In: BUCHANAN B. B; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. (Eds.) **Biochemistry & Molecular Biology of Plants**. Rockville American Society of Plant Physiologists. p.568-629.

CARVALHO, M. Variações morfofisiológicas e eficiência do uso da água em *Ricinus communis* L. submetida ao déficit hídrico regulado. **Dissertação** (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus – Bahia, 2010.

CARVALHO, A.P.F; BUSTAMANTE, M.; MALESSANDRA R.; KOZOVITS, G.P.A. Variações sazonais nas concentrações de pigmentos e nutrientes em folhas de espécies de cerrado com diferentes estratégias fenológicas. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n.1, p.19-27, 2007.

CONFORTO, E. C. Respostas fisiológicas ao déficit hídrico em duas cultivares enxertadas de seringueira (“RRIM 600” e “GT 1”) crescidas em campo. **Ciência Rural**, v.38, n. 3, p. 679-684, 2008.

CORREIA, K.G.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v.4, n.2, p.1-7, 2004.

CRAMER, G. R.; URANO, K.; DELROT, S.; PEZZOTTI, M.; SHINOZAKI, K. Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. **BMC Plant Biology**,v.11, 166 p, 2011.

DAI, Y.J.; SHEN, Z.G.; LIU, Y.; WANG, L.L.; HANNAWAY, D.; LU, H.F. Effects of shade treatments on the photosynthetic capacity, chlorophyll fluorescence, and chlorophyll content of *Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg. **Environmental Experiment Botanica**, v. 65, p. 177-182, 2009.

DE-CARVALHO, P. S.; MIRANDA, S. C. M.; SANTOS, M. L. Germinação e dados biométricos de *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne (leguminosae caesalpinoideae) - jatobá-do-cerrado. **Revista Anhangüera**, v.6, n.1, p.101-116, 2005.

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

DOS ANJOS, L.; OLIVA, M. A.; KUKI, K.N. Fluorescence imaging of light acclimation of brazilian atlantic forest tree species. **Photosynthetica**, v. 50, n.1, p. 1-14, 2012.

DURIGAN, G.; NOGUEIRA, J. C. B. Recomposição de matas ciliares. São Paulo: **Instituto Florestal**, p.14, 1990. (IF. Série registros, 4)

EHLERINGER, J. Leaf absorptances of Mohave and Sonoran desert plants. **Oecologia** n.102, p. 366-370, 1981.

FAVARETTO, V.F. Estudo comparativo dos mecanismos de defesa contra radicais livres em espécies arbóreas pioneiras e não pioneiras de Mata Mesófila Semidecidual. **Tese**. (Doutorado em Biologia Comparada) Ribeirão Preto, 2009.

FAVARETTO, V.F.; MARTINEZ, C.A.; SORIANI, H.H.; FURRIEL, R.P.M. Differential responses of antioxidant enzymes in pioneer and late successional tropical tree species grown under sun and shade conditions. **Environmental and Experimental Botany**, v.70, p. 20-28, 2011.

FRANCO, A. C.; MATSUBARA, S.; ORTHEN, B. Photoinhibition, carotenoid composition and the co-regulation of photochemical and non-photochemical quenching in neotropical savanna trees. **Tree Physiology**, n.27, p.717-725, 2007.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta**, n. 990, p.87-92, 1989.

GONÇALVES, J. F. C.; BARRETO, D. C. S.; JUNIOR, U. M. S.; FERNANDES, A. V.; SAMPAIO, P. T. B.; BUCKERIDGE, M. S. Growth, photosynthesis and stress indicators in young rosewood plants (*Aniba rosaeodora* Ducke) under different light intensities. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 17, n.3, p.325-334, 2005.



GUO, H. X.; LIU, W.Q.; SHI, Y.C. Effects of different nitrogen forms on photosynthetic rate and the chlorophyll fluorescence induction kinetics of flue-cured tobacco. **Photosynthetica**, n.44, p.140–142, 2006.

HENDRY G. A. F.; PRICE, A. H. Stress indications: chlorophylls and carotenoids. In: “Methods in Comparative Plant Ecology” (Hendry G.A.F., Price A.H. eds.) **London, Chapman & Hall**. p. 148-152, 1993.

ISHIDA, A.; NAKANO, T.; MATSUMOTO, Y.; SAKODA, M.; ANG, L. H. Diurnal changes in leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in tropical tree species with contrasting light requirements. **Ecology Research**, n.14, p.77-88, 1999.

JÚNIOR, M. Z. A.; LOBO, F. A.; DALMAGRO, J. H.; VOURLITIS, G. L.; ORTIZ, C. E. R.; DALMOLIN, A. C.; ISABELA CODOLO DE LUCENA, I. C.; SULI, G. S. Efeito do microclima no intercâmbio gasoso potencial de cambará (*Vochysia divergens* Pohl) e lixeira (*Curatella americana* L.) em área de Cerrado. **Revista Brasileira Biociências**, Porto Alegre, v.9, n.1, p.77-85, 2011.

KANEGAE, M. F.; BRAZ, V. S.; FRANCO, A. C. Efeitos da disponibilidade sazonal de água e luz na sobrevivência e crescimento de *Bowdichia virgilioides* em duas fitofisionomias típicas dos cerrados do Brasil Central. **Revista Brasileira de Botânica**, n.23, p.457-466, 2000.

KUKI, K. N.; OLIVA, M. A.; GOMES F. P.; COSTA, A. C. Avaliação da eficiência do dimetilsulfóxido na extração de pigmentos foliares de *Schinus terebenthifolius* e *Cocos nucifera*. In: X Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal e XII Congresso Latino-Americano de Fisiologia Vegetal, Recife. **Anais**, SBFV. CD Rom, 2005.

LAISK, A.; LORETO, F. Determining photosynthetic parameters from leaf CO<sub>2</sub> exchange and chlorophyll fluorescence. **Plant Physiologists**, n.110, p.903-91, 1996.

LARCHER, W. **Physiological Plant Ecology**. Springer, Berlin, 1995, 504p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, Rima, 2006, 550p.

LEMOS-FILHO, J. P.; BARROS, C. F. A.; DANTAS, G. P. M.; DIAS, L. G.; MENDES. Spatial and temporal variability of canopy cover and understory light in a Cerrado of Southern Brazil. **Brazilian Journal Biology**, v.70, n.1, p.19-24, 2010.

LIMA, A. L. S.; ZANELLA, F.; CASTRO, L. D. M. Crescimento de *Hymenaea* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee er Lang. E *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae) sob diferentes níveis de sombreamento. **Acta Amazônica**, v.40, n.1, p.43-48, 2010.

LIMA, J. D.; SILVA, B. M. S.; MORAES, W. S.; DANTAS, A. V.; ALMEIDA, C. C. Efeitos da luminosidade no crescimento de mudas de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. (Leguminosae, Caesalpinoideae). **Acta Amazonica**, v.38, n.1, p.5 – 10, 2008.

LICHTENTHALER, H.K., A.C, A., MAREK, M.B., KALINA, J., URBAN, O. Differences in pigment composition, photosynthetic rates and chlorophyll fluorescence images of sun and shade leaves of four tree species. **Plant Physiology Biochemical**. v.45, p. 577– 588, 2007.

LOBOS, G. A.; RETAMALES, J. B.; HANCOCK, J. F.; FLORE, J. A.; COBO, N.; POZO, A. Spectral irradiance, gas exchange characteristics and leaf traits of *Vaccinium corymbosum* L. ‘Elliott’ grown under photo-selective nets. **Environmental and Experimental Botany**, n.75, p.142– 149, 2012.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Ed. Nova Odessa: **Editora Plantarum**, v.1, 384 p. 2000.

MACHADO, E.C.; SCHMIDT, P.T.; MEDINA, C.L.; RIBEIRO, R.V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.12, 2005.

MARIANO, K. R. S.; BARRETO, L. S.; SILVA, A. H. B.; NEIVA, G. K. P.; RIBEIRO, A. J.; AMORIM, S. M. C. Fotossíntese e tolerância protoplasmática foliar em *Myracrodruon urundeuva* FR. ALL. **Floresta**, Curitiba, PR, v.39, n.4, p. 853-859, 2009.

MARIMON, B. S.; FELFILI, J. M.; JUNIOR, B. H.; FRANCO, A.C.; FAGG, C. W. Initial development and biomass allocation in seedlings of *Brosimum rubescens* Taub.

(Moraceae) at different shading levels. **Acta Botânica Brasileira**, São Paulo, v.22, n.4, P. 941-953, 2008.

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

MENDES, M.M. Acclimation of *Myrtus communis* to contrasting Mediterranean light environments - effects on structure and chemical composition of foliage and plant water relations. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v.45, n.2, p. 165-178, 2001.

MENGARDA, L. H. G. N.; SOUZA, R. L. F.; CAMPOSTRINI, E.; REIS, F. O.; VENDRAME, W. A.; CUZZUOL, G. R. F. Light as an indicator of ecological succession in brasilwood (*Caesalpinia echinata* Lam). **Brazilian Society of Plant Physiology**, v.21, n.1, p.55-64, 2009.

MORISHIGE, D. T.; DREYFUSS, B. W. Light-harvesting complexes of higher plants. In: Raghavendra, A.S (Ed.) **Photosynthesis: A comprehensive treatise**. Cambridge, Cambridge University Press. p. 18-28, 1988.

NERY, F. C; OLIVEIRA, H. M; ALVARENGA, A. A; DOUSSEAU, S; CASTRO, E. M; CAMPOS, A. C. A. L. Initial development and gas exchange of *Talisia subalbans* (MART.) RADLK. under different shading conditions. **Revista Árvore**, v. 35, n. 1, p. 61-67, 2011.

PALHARES, D.; FRANCO, A.C.; ZAIDAN, L.B.P. Respostas fotossintéticas de plantas de cerrado nas estações seca e chuvosa. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.8, n.2, p.213-220, 2010.

PERI, P.L.; ARENA, M.; PASTUR, G.M.; LENCINAS, M.V. Photosynthetic response to different light intensities, water status and leaf age of two *Berberis* species (Berberidaceae) of Patagonian steppe, Argentina. **Journal of Arid Environments**, v. 75, p. 1218-1222, 2011.

PIMENTEL, C.; SARR, B.; DIOUF, O.; ABOUD, A. C. S.; MACAULEY, H. R. Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivados em campo. **Revista Universidade Rural Série Ciências da Vida**, n.22, p.07 -14, 2002.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data. **Journal Experiment Botany**, v. 62, n. 3, p. 869-882, 2011.

PORTES, M. T.; DAMINELI, D. S. C.; RIBEIRO, R. V.; MONTEIRO, J. A. F.; SOUZA, G. M. Evidence of higher photosynthetic plasticity in the early seccessional *Guazuma ulmifolia* Lam. Campared to the late successional *Hymeneae courbaril* L. grown in contrasting light environments. **Brazilian Journal Biology**, v.70, n.1, p.75-83, 2010.

RASCHER, U.; LIEBIG, M.; LÜTTGE, U. Evaluation of instant light-responses curves of chlorophyll parameters obtained with a portable chlorophyll fluorometer on site in the field. **Plant Cell and Environment**, v.23, n.12, p.1397-1405, 2000.

RIBEIRO, R. V.; SOUZA, G. M.; OLIVEIRA, R. F.; MACHADO, E. C. Photosynthetic responses of tropical tree species from different successional groups under contrasting irradiance conditions. **Revista Brasileira de Botânica**, v.28, n.1, p.149-161, 2005.

RONEN, R.; GALUN, M. Pigment extraction from lichens with dimethyl sulfoxide (DMSO) and estimation of chlorophyll degradation. **Environmental and Experimental Botany**, v. 24, n.3, p. 239-245, 1984.

RONQUIM, C.C.; PRADO, C.H.B.A.; SOUZA, J.P. Growth, photosynthesis and leaf water potential in Young plants of *Capaifera langsdorffii* Desf. (Caesalpinaceae) under contrasting irradiances. **Brazilian Society of Plant Physiology**, v.21, n.3, p.197- 208, 2009.

ROSSATTO, D. R.; TAKAHASHI, F. S. C.; SILVA, L. C. R; FRANCO, A. C. Características funcionais de folhas de sol e sombra de espécies arbóreas em uma mata de galeria no Distrito Federal, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, v.24, n.3, p.640-647, 2010.

RUGER, N.; BERGER, U.; HUBBELL, S. P.; VIEILLEDENT, G.; CONDIT, R. Growth Strategies of Tropical Tree Species: Disentangling Light and Size Effects. **Plos One**, v.6, n.9, 2011.

SHARMA, A. D. M.; KAUR, P. Combined effect of drought stress and heat shock on cyclophilin protein expression in *Triticum aestivum* generaland applied. **Plant Physiology**, v.35, n.1–2, p. 88–92, 2009.

SIEBENEICHLER, S. C.; FREITAS, G. A.; SILVA, R. R.; ADORIAN, C.; CAPELLARI, D. Características morfofisiológicas em plantas de *Tabebuia heptaphylla* (vell.) tol. em condições de luminosidade.. **Acta Amazonica**, v. 38, n.3, p. 467 – 472, 2008.

SILVA, A. S.; OLIVEIRA, J. G.; CUNHA, M.; VOTÓRIA, A. P. Photosynthetic performance and anatomical adaptations in *Byrsonima sericea* DC. under contrasting light conditions in a remnant of the Atlantic forest. **Brazilian Society of Plant Physiology**, v. 22, n.4, p.245-254, 2010.

SILVA, L.A. Plasticidade e aclimação foliar à irradiância em espécies da floresta atlântica. **Tese** (Doutorado em Botânica) Viçosa – MG, 2010.

SILVESTRINI, M.; VÁLIO, I. F. M.; MATTOS, E. A. Photosynthesis and carbon gain under contrasting light levels in seedlings of a pioneer and a climax tree from a Brazilian Semideciduous Tropical Forest. **Revista Brasileira de Botânica**, v.30, n.3, p. 463-474, 2007.

SZABÓ. I.; BERGANTINO, E.; GIACOMETTI, G.M. Light and oxygenic photosynthesis: energy dissipation as a protection mechanism against photo-oxidation. **EMBO reports**, v. 6, p. 629 – 634, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004, 722p.

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

VALLADARES, F.; PEARCY, R. W. Drought can be more critical in the shade than in the sun: a field study of carbon gain and photo-inhibition in a Californian shrub during a dry El Niño year. **Plant Cell and Environment**, n.25, p.749-756, 2002.

VASQUEZ-TELLO, A., Y. ZUILY-FODIL, A. T. PHAM THI & J. VIEIRA DA SILVA. Electrolyte and Pi leakages and soluble sugar content as physiological tests for

screening resistance to water stress in *Phaseolus* and *Vigna* species. **Journal of Experimental Botany**, n.41, p. 827-32, 1990.

WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. **Tese** (Doutorado em Ecologia) Universidade de Brasília, Março, 2006.

WELLBURN, A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal Plant Physiology**, v.144, n.3, p. 307-313, 1994.

## CONCLUSÃO GERAL

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que plantas jovens de jatobá mantêm o aparato fotossintético funcional mesmo na estação seca, embora com menor eficiência.

As plantas jovens de jatobá foram responsivas aos tratamentos das contrastantes irradiâncias de crescimento, tanto em condições isoladas de irradiância e também quando combinada ao déficit hídrico.

Plantas crescidas nas irradiâncias de 45 e 230  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , tiveram o melhor funcionamento do aparato fotossintético.

Plantas crescidas em irradiância de 1700  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , sofreram fotoinibição crônica.

As características fotossintéticas de plantas jovens de jatobá tiveram comportamento semelhante, tanto nas condições naturais de ocorrência, como também em condições de diferentes irradiâncias impostas no ambiente de crescimento, demonstrando menores taxas fotossintéticas em condições de déficit hídrico.