

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

ALTERAÇÕES MORFOANATÔMICAS E DO PROCESSO  
FOTOSSINTÉTICO EM PLANTAS JOVENS DE *Alibertia*  
*edulis* RICH EM RESPOSTAS A DIFERENTES  
IRRADIÂNCIAS

Autora: Viviane de Leão Duarte Specian

Orientador: DSc. Alan Carlos Costa

Rio Verde-GO

Agosto de 2013

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO - CÂMPUS RIO VERDE - GO  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA

ALTERAÇÕES MORFOANATÔMICAS E DO PROCESSO  
FOTOSSINTÉTICO EM PLANTAS JOVENS DE *Alibertia*  
*edulis* RICH EM RESPOSTAS A DIFERENTES  
IRRADIÂNCIAS

Autora: Viviane de Leão Duarte Specian

Orientador: DSc. Alan Carlos Costa

Dissertação apresentada, como parte das exigências para a obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS – AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde – Área de Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

Rio Verde-GO

Agosto de 2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação  
(Almira de Araújo Medeiros – CRB1 2.327)

S741a Specian, Viviane de Leão Duarte.

Alterações morfoanatômicas e do processo fotossintético em plantas jovens de *Alibertia edulis* Rich. em respostas a diferentes irradiâncias. / Viviane de Leão Duarte Specian. -- 2013.

73 f.; 30 cm

Orientador: Alan Carlos Costa.

**Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal Goiano -  
Câmpus Rio Verde, Programa de Pós-Graduação *Scripto Sensu*  
em Ciências Agrárias - Agronomia, Rio Verde, 2013.**

1. Fotossíntese. 2. Anatomia Foliar. 3. Índice Estomático. 4.  
Intensidade Luminosa. 5. Temperatura. I. Título.

CDU 631

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

ALTERAÇÕES MORFOANATÔMICAS E DO PROCESSO  
FOTOSSINTÉTICO EM PLANTAS JOVENS DE *Alibertia edulis* RICH.  
EM RESPOSTA A DIFERENTES IRRADIÂNCIAS

Autora: Viviane de Leão Duarte Specian

Orientador: Dr. Alan Carlos Costa

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de  
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em 16 de agosto de 2013.

Prof. Dr. Marco Antônio Oliva Cano

*Avaliador externo*

UVV/ES

Dr<sup>a</sup>. Clarice Aparecida Megger

*Avaliadora interna*

(Bolsista PNPd) IF Goiano/RV

Prof. Dr. Alan Carlos Costa

*Presidente da banca*

IF Goiano/RV

Prof<sup>a</sup>. Dra. Michellia Pereira Soares

*Avaliadora interna*

IF Goiano/RV

## **À minha família**

Aos meus pais José Roberto (*in memoriam*) e Maria Lúcia pela educação que dispensaram a mim tornando possível ser a pessoa que sou.

Ao meu querido esposo, Valdir, por sua total abnegação a meu favor e apoio incondicional em todos os momentos.

E, ao meu amado filho pela compreensão em relação a minha ausência durante este período de estudos.

Com muito amor e admiração

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal Goiano, Câmpus Rio Verde e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, coordenação e docentes, pela oportunidade;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida;

Ao meu orientador, professor Alan Carlos Costa, pela orientação, disponibilidade em ensinar e confiança;

À minha coorientadora, professora Clarice Aparecida Megguer, por toda orientação, confiança e amizade;

Aos professores, membros da banca, Clarice Aparecida Megguer, Marco Antonio Oliva Cano e Michellia Pereira Soares, pelas valiosas contribuições, questionamentos e sugestões, que em muito contribuíram para o aperfeiçoamento deste trabalho;

Ao professor Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho, por todo o conhecimento compartilhado e ajuda nas análises anatômicas;

Ao professor Cláudio Barbosa, pela doação das plantas jovens de marmelo e pela amizade;

A professora Michellia Pereira Soares, pela identificação da espécie estudada e depósito da exsicata no herbário do Instituto Federal Goiano, Câmpus Rio Verde;

À Sueisla, Márcio e Júlien, pelas valorosas dicas, amizade e momentos de aprendizado;

À família LECO (Alan, Clarice, Fábila, Fátima, Gabriel, Gabriela, Gilberto, Hélio, Jonatas, Júlien, Karen, Luciana, Marília, Priscila, Ricardo, Rodolfo, Vanessa e Yasmin), por todos os momentos de convívio, de ajuda, de lágrimas, de muito trabalho, mas principalmente por todos os momentos de alegrias, pois sem estes momentos, talvez não fosse possível continuar;

Aos amigos Arthur, Douglas e Nulciene, pela amizade, companheirismo e dicas valiosas sobre anatomia vegetal;

À Priscila, pela ajuda com as avaliações de fluorescência da clorofila *a*;

À Aline Gobbi Dutra, que me abrigou em sua casa e me ofereceu junto com o abrigo sua amizade. Muito obrigada mesmo!!!;

À Vanessa, pelos momentos de tristezas e alegrias compartilhados desde o início deste curso;

Aos casais João Paulo e Jaqueline, Douglas e Janaína e a amiga Junia, por todas as vezes que me socorreram ficando com Renan, Kika e Tampinha nos meus constantes momentos de ausência;

Ao meu amado filho, Renan, que mesmo não tendo obrigação nenhuma em entender os momentos que passamos nestes quase dois anos, sempre me apoiou;

À minha família (Deleão e Specian), que mesmo a distância sempre torceu por mim;

Ao meu amado esposo, Valdir, que teve que suportar a distância todo este tempo. Obrigada pelo apoio e confiança e por ter dado tanta força e amor, perto ou longe (geralmente mais longe), do início ao fim;

A Deus, pois a Ele toda honra e toda glória.

“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre”.

Paulo Freire

## BIOGRAFIA

Viviane de Leão Duarte Specian, filha de José Roberto de Souza Duarte e Maria Lúcia de Leão Duarte, nasceu no dia 18 de outubro de 1976, na cidade de São Caetano do Sul, São Paulo.

Em fevereiro de 1997, ingressou no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Aquidauana - MS, graduando-se em dezembro de 2000.

Atuou como docente do Ensino Básico na Rede Pública e Particular no período de 1998 até 2011.

Em julho de 2007, iniciou no curso de Especialização em Educação Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, finalizando em dezembro de 2008.

Em agosto de 2011, ingressou no curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, no Instituto Federal Goiano – Câmpus de Rio Verde, sob a orientação do Professor Alan Carlos Costa.

## ÍNDICE

	Página
Índice de Tabelas .....	viii
Índice de Figuras .....	ix
Índice de Apêndice .....	xi
Lista de Símbolos, Siglas e Abreviaturas .....	xii
Resumo .....	xiv
Abstract .....	xvi
Introdução Geral .....	01
Objetivo .....	05
Referências Bibliográficas .....	06
Cap. I Anatomia foliar e biometria dos órgãos vegetativos de plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> Rich (Rubiaceae) mantidas sob diferentes irradiâncias .....	10
Resumo .....	11
Abstract.....	13
1. Introdução .....	15
2. Material e Métodos .....	17
2.1. Local de estudo .....	17
2.2. Monitoramento climático do ambiente.....	17
2.3. Material vegetal .....	18
2.3.1. Obtenção das plantas .....	18
2.3.2. Condições experimentais .....	19
2.4 Detalhamento dos procedimentos para avaliação das plantas .....	20
2.4.1. Caracterização das medidas biométricas .....	20
2.4.2. Caracterização da anatomia foliar.....	21

3. Delineamento e Análises Estatísticas .....	22
4. Resultados .....	23
4.1 Monitoramento climático do ambiente .....	23
4.2 Características visuais das plantas .....	24
4.3 Caracterização das medidas biométricas .....	25
4.4 Caracterização da anatomia foliar .....	28
4.4.1. Parâmetros qualitativos .....	28
4.4.2. Parâmetros quantitativos .....	29
5. Discussão .....	33
6. Conclusões .....	39
7. Referências Bibliográficas .....	40
Cap. II Caracterização fotossintética de plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> Rich mantidas sob diferentes irradiâncias.....	46
Resumo .....	47
Abstract .....	48
1. Introdução .....	49
2. Material e Métodos .....	51
2.1. Local de estudo.....	51
2.2. Condições experimentais .....	51
2.3 Detalhamento dos procedimentos para avaliação das plantas .....	52
2.3.1. Avaliação das trocas gasosas .....	52
2.3.2. Avaliação da fluorescência da clorofila <i>a</i> .....	52
2.3.3. Avaliação do conteúdo de clorofilas e carotenoides .....	53
3. Delineamento e Análise Estatística .....	53
4. Resultados .....	54
4.1 Monitoramento climático do ambiente .....	54
4.2 Avaliação das trocas gasosas .....	54
4.3 Avaliação da fluorescência da clorofila <i>a</i> .....	57
4.4 Avaliação do conteúdo de clorofilas e carotenoides .....	59
5. Discussão .....	61
6. Conclusões .....	66
7. Referências Bibliográficas .....	67
Conclusão Geral .....	72
Tabela de Apêndice .....	73

## ÍNDICE DE TABELAS

	Página
 Capítulo I	
Tabela 1. Resultado da análise de solo. Análise realizada em setembro de 2012 em Viçosa – MG.....	19
Tabela 2. Dados climáticos do município de Rio Verde - GO, durante os meses de novembro de 2012 a março de 2013. Onde <b>A</b> - precipitação (mm), <b>B</b> - umidade relativa do ar (UR%) e temperaturas (°C) máxima e mínima. Fonte: INMET.....	23
Tabela 3. Resumo da Análise de Variância dos dados de anatomia foliar de plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> , sendo: Índice estomático (IE); Densidade estomática (DE); Relação diâmetro polar e equatorial (FUN); Mesofilo (Me); Parênquima paliçádico (PP); Parênquima esponjoso (PE); Epiderme face abaxial (Ep ab) e face adaxial (Ep ad) e Cutícula da face abaxial (Ct ab) e da face adaxial (Ct ad).....	30
Tabela 4. Médias e coeficiente de variação (CV%) do índice estomático, densidade estomática e relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos de plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> submetidas a quatro níveis de irradiância.....	30
Tabela 5. Médias e coeficiente de variação (CV%) da espessura do mesofilo, parênquima paliçádico e parênquima esponjoso das folhas das plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> submetidas a quatro níveis de irradiância.....	32
 Capítulo II	
Tabela 1. Razão Fv/Fm de plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> submetidas aos diferentes níveis de irradiância no ambiente de crescimento e avaliadas às 8h00min, às 12h00min, horário de maior intensidade luminosa e no dia seguinte às 8h00min. Os dados são médias e desvio padrão de ( $n = 10$ ), ns = não significativo.....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>Capítulo I</b>	
Figura 1. Ambientes de crescimento de plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> (1) – Ambiente A, (2) – Ambiente B, (3) – Ambiente C e (4) – Ambiente D. Rio Verde-GO, Brasil.....	20
Figura 2. Dados climáticos do município de Rio Verde - GO, durante os meses de novembro de 2012 a março de 2013. Onde A - precipitação (mm), B - umidade relativa do ar (UR%) e temperaturas (°C) máxima e mínima. Fonte: INMET.....	24
Figura 3. Efeitos visuais em plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> submetidas a condições crescentes de irradiância no ambiente de crescimento. (1) – Ambiente A, (2) – Ambiente B, (3) – Ambiente C e (4) – Ambiente D. A imagem foi obtida aos 124 dias após início dos tratamentos.....	25
Figura 4. A) Altura do caule, B) Número de entrenós, C) Volume de raiz e D) Razão raiz/parte aérea (RRPA) de plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> submetidas a condições crescentes de irradiância no ambiente de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).....	26
Figura 5. A) Número de folhas, B) Área foliar, C) Área foliar específica (AFE) e D) Razão área foliar aérea (RAF) de plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> submetidas a condições crescentes de irradiância no ambiente de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).....	27
Figura 6. A) Massa seca de caule (MSC), B) Massa seca de raiz (MSR), C) Massa seca de folha (MSF) e D) Massa seca total (MST) de plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> submetidas a condições crescentes de irradiância no ambiente de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).....	28
Figura 7. Fotomicrografias da diafanização (A-B) e secções transversais (C-D) da lâmina foliar de plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> . (A) Face adaxial, no detalhe, a mesma face em maior aumento. (B) Face abaxial, com destaque para os estômatos – Et. (C) Nervura central, floema - Fl e xilema - Xi. (D) mesofilo, face adaxial da epiderme – Ep ad; face abaxial da epiderme – Ep ab; parênquima paliçádico – PP;	

parênquima esponjoso – PE e tricomas - Tr.....	29
Figura 8. Fotomicrografias da diafanização em folhas de plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> nos diferentes níveis de irradiância mostrando face abaxial da epiderme. (A) – Ambiente A, (B) - Ambiente B, (C) – Ambiente C e (D) – Ambiente D. Nos detalhes estômatos (Et).....	31
Figura 9. Fotomicrografias da secção transversal da lâmina foliar de plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> nos diferentes níveis de irradiância mostrando nervura central e mesofilo. (A) – Ambiente A, (B) - Ambiente B, (C) – Ambiente C e (D) – Ambiente D.. Setas apontando para bainha de fibras em torno do feixe vascular, surgimento a partir da irradiância $4.28 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ (B) e aumentando de acordo com aumento das irradiâncias (C – D). Detalhe do parênquima lignificado (C) (*); epiderme adaxial – Ep ad; epiderme abaxial – Ep ab; parênquima paliçádico – PP; parênquima esponjoso – PE .....	33
<b>Capítulo II</b>	
Figura 1. A) Taxa de assimilação líquida de $\text{CO}_2$ (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), B) Taxa transpiratória ( $E$ - $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), C) Condutância estomática ( $g_s$ - $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e D) relação $C_i/C_a$ em plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> em função dos dias de imposição dos tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).....	55
Figura 2. A) Taxa de assimilação líquida de $\text{CO}_2$ (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), B) Taxa transpiratória ( $E$ - $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), C) Condutância estomática ( $g_s$ - $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e D) relação $C_i/C_a$ em plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).....	56
Figura 3. 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 <i>Alibertia edulis</i> em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).....	57
Figura 4. 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 <i>Alibertia edulis</i> em função dos dias de imposição dos tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).....	59
Figura 5. A) Conteúdo de clorofila $a$ , B) carotenoides, C) clorofila $b$ e D) Razão clorofila $a/b$ de plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> submetidas a condições crescentes de irradiância no ambiente de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).....	59
Figura 6. A) Conteúdo de clorofila total, B) Razão clorofilas/carotenoides ( $Clf/Car$ ) e C) Índice de feofitinação (IF) de plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> submetidas a condições crescentes de irradiância no ambiente de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).....	60

## ÍNDICE DE APÊNDICE

	Página
Tabela 1. Resumo da Análise de Correlação Linear de Pearson dos dados de anatomia foliar, biometria e trocas gasosas de plantas jovens de <i>Alibertia edulis</i> , sendo: Índice estomático (IE); Densidade estomática; Mesofilo (Me); Razão raiz/parte aérea (RRPA); Razão de área foliar (RAF); Taxa fotossintética (A) Taxa transpiratória ( <i>E</i> ) e Condutância estomática ( <i>gs</i> ) .....	73

## LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS ABREVIações E UNIDADES

$\Delta F/F_m'$	.....	Rendimento quântico efetivo	
A	.....	Taxa fotossintética	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
AF	.....	Área foliar	$\text{cm}^2$
AFE	.....	Área foliar específica	$\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$
ANOVA	.....	Análise de variância	
Car	.....	Carotenoides	$\mu\text{g cm}^{-2}$
Cl <sub>a</sub>	.....	Clorofila <i>a</i>	$\mu\text{g cm}^{-2}$
Cl <sub>b</sub>	.....	Clorofila <i>b</i>	$\mu\text{g cm}^{-2}$
Cl <sub>t</sub>	.....	Clorofilas totais	$\mu\text{g cm}^{-2}$
Cl <sub>t</sub> /Car	.....	Razão Clorofila total e carotenoide	$\mu\text{g cm}^{-2}$
<i>C<sub>i</sub>/C<sub>a</sub></i>	.....	Relação entre concentração interna e externa de CO <sub>2</sub>	
CL	.....	Condutividade livre	
CT	.....	Condutividade total	
C <sub>t</sub>	.....	Cutícula	
CT ab	.....	Cutícula da face abaxial	
CT ad	.....	Cutícula da face adaxial	
CV	.....	Coefficiente de variação	
DP	.....	Diâmetro polar dos estômatos	
DQ	.....	Diâmetro equatorial dos estômatos	
DFD	.....	Densidade de Fluxo de Fótons	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
DE	.....	Densidade estomática	$\text{mm}^2$
DMSO	.....	Dimetilsulfóxido	
<i>E</i>	.....	Taxa Transpiratória	$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Ep ab	.....	Espessura da epiderme da face abaxial	
Ep ad	.....	Espessura da epiderme da face adaxial	
Et	.....	Estômatos	
ETR	.....	Taxa relativa de transporte de elétrons	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Fl	.....	Floema	
<i>F<sub>m</sub></i>	.....	Fluorescência máxima	
<i>F<sub>o</sub></i>	.....	Fluorescência mínima	
FSII	.....	Fotossistema II	
FUN	.....	Funcionabilidade dos estômatos	
<i>F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub></i>	.....	Rendimento Quântico Máximo do Fotossistema II	
g <sub>s</sub>	.....	Condutância estomática	
IE	.....	Índice estomático	%
IF	.....	Índice de feofitinação	
INMET	.....	Instituto Nacional de Meteorologia	
Me	.....	Mesófilo	
MSC	.....	Massa seca de caule	$\text{g planta}^{-1}$

MSF	.....	Massa seca de folha	$\text{g planta}^{-1}$
MSR	.....	Massa seca de raiz	$\text{g planta}^{-1}$
MST	.....	Massa seca total	$\text{g planta}^{-1}$
NPQ	.....	Coeficiente de extinção não fotoquímica	
pH	.....	Potencial hidrogeniônico	
PP	.....	Parênquima paliçádico	
PE	.....	Parênquima esponjoso	
qP	.....	Coeficiente de extinção fotoquímica	
RAF	.....	Razão área foliar	$\text{m}^2 \text{g}^{-1}$
RFA	.....	Radiação fotossinteticamente ativa	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
RRPA	.....	Razão raiz parte aérea	$\text{g planta}^{-1}$
SAEG	.....	Sistema de Análises Estatísticas Gerais	
T°C	.....	Temperatura	°C
TLE	.....	Taxa de liberação de eletrólitos	%
Tr	.....	Tricomas	
UniRV	.....	Universidade de Rio Verde	
UR	.....	Umidade Relativa	%
Xi	.....	Xilema	

## RESUMO

SPECIAN, VIVIANE DE LEÃO DUARTE, Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde – GO, agosto de 2013. **Alterações morfoanatômicas e do processo fotossintético em plantas jovens de *Alibertia edulis* Rich. em resposta a diferentes irradiâncias.** Orientador: DSc. Alan Carlos Costa. Coorientadora: DSc. Clarice Aparecida Megguer.

O Cerrado é um complexo vegetacional com formações que vão desde campos limpos à formação florestal, possui clima sazonal, com verões chuvosos e invernos secos e os níveis de irradiâncias são geralmente altos. As plantas tiveram que se adaptar a essas condições para que fosse possível seu estabelecimento, porém, dados sobre crescimento e estabelecimento de espécies lenhosas do Cerrado são escassos quando se leva em consideração que, dentro do território que este domínio ocupa, já foram listadas mais de 1.000 espécies de árvores e arbustos. Devido à intensa atividade antrópica, o Cerrado vem sendo destruído e muitas espécies são perdidas antes mesmo de serem estudadas. O marmelo, *Alibertia edulis* Rich. (Rubiaceae) é uma espécie arbórea de pequeno porte de ocorrência no Cerrado e em outros ecossistemas. Com grande potencial econômico, podendo ser utilizado para diversos fins, dentre eles, o alimentício, medicinal, paisagístico e em recuperação de áreas degradadas. Com o objetivo de contribuir para o melhor entendimento sobre o comportamento biológico de espécies arbóreas do Cerrado este trabalho buscou analisar as alterações morfológicas e anatômicas e as respostas fisiológicas resultantes destas mudanças em plantas de *A. edulis* submetidas aos diferentes níveis de irradiância. A caracterização do efeito da irradiância na morfologia, anatomia foliar e nos processos fotossintéticos das plantas de *A. edulis* foi realizada em

quatro condições de irradiância, sendo: 0,60 (ambiente A), 4,28 (ambiente B), 9,88 (ambiente C) e 34,38 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (ambiente D). Foram avaliados acúmulo de matéria seca, área foliar, área foliar específica, razão de área foliar, alterações no mesofilo, trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e teores de pigmentos cloroplastídicos. Os resultados obtidos demonstram que plantas jovens de *A. edulis* passaram por processo de aclimatação nas diferentes irradiâncias de crescimento com alterações tanto na morfologia interna quanto externa. Os ambientes C e D foram os locais em que as plantas tiveram as melhores respostas de crescimento e investimento em estruturas foliares. Maior alocação de matéria seca, independente do órgão avaliado, foi verificada nas plantas crescidas nas maiores irradiâncias. A área foliar específica diminuiu com o aumento da irradiância. Também em função do aumento da irradiância foi observado maior número e densidade de estômatos e aumento na espessura do mesofilo foliar mediante o aumento tanto do parênquima paliçádico quanto o esponjoso. De modo geral, as respostas fisiológicas das plantas de *A. edulis* foram semelhantes às respostas morfoanatômicas observadas. As maiores taxas fotossintéticas, transpiração, condutância estomática, rendimento quântico efetivo, transporte de elétrons e dissipação da energia em forma de calor ocorreram em ambientes com maiores irradiâncias. A irradiância também afetou o conteúdo de pigmentos cloroplastídicos, promovendo degradação das clorofilas e carotenoides em plantas jovens de *A. edulis* sem, contudo, comprometer o desempenho fotossintético destas plantas sob altas irradiâncias. Conclui-se que as plantas de *A. edulis* possuem capacidade de se estabelecer tanto em ambientes com baixa, quanto alta irradiância, em função da capacidade das mesmas de se ajustarem morfológica e fisiologicamente.

**Palavras-chaves:** fotossíntese, anatomia foliar, índice estomático, intensidade luminosa.

## ABSTRACT

SPECIAN, VIVIANE DE LEÃO DUARTE, Goiano Federal Institute – Câmpus Rio Verde – GO, August of 2013. **Morphoanatomic and the photosynthetic process changes in young plants of *Alibertia edulis* Rich. in response to different irradiances.** Advisor: DSc. Alan Carlos Costa. Co-advisor: DSc. Clarice Aparecida Megguer.

Savanna is a vegetational complex composed by grasslands to forest formation, has seasonal climate with rainy summers and dry winters and irradiance levels are usually high. The plants had to adapt to these conditions for its establishment, however, data about growth and establishment of Savanna's woody species are scarce when takes into account that within the territory that this area occupies have been listed over 1,000 species of trees and shrubs. Savanna has been destroyed by human activity and many species are being lost before it is studied. The quince, *Alibertia edulis* Rich. (Rubiaceae) is an arboreal species occurring in the Cerrado and other ecosystems. The economic potential is great and can be used for various purposes as food, medicine, landscaping and to recovery depredated areas. This work analyzed the morphological, anatomical and physiological responses in plants of *A. edulis* exposed at different levels of irradiance aiming to contribute for better understanding the biological behavior of Savana tree species. The characterization of the effect of irradiance on morphology and anatomy leaf and photosynthetic processes of quince's plants was performed in four irradiance conditions, as follows: 0.60 (A environment), 4.28 (B environment), 9.88 (C environment) and 34.38 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (D environment). There were evaluated the dry matter accumulation, leaf area, ratio between specific leaf area and leaf area, changes in the mesophyll, gas exchange, chlorophyll fluorescence, pigment contents. The results shown that young plants of *A. edulis* have acclimatized in different growth irradiances

with changes in both internal and external morphology. Best responses of growth and investment in leaf structures were verified in irradiance (C and D environments). Greater allocation of dry matter, irrespective of the organ evaluated was observed in plants grown under higher irradiance. Specific leaf area decreased with increasing irradiance. Also due to increasing irradiance was observed a higher number and density of stomata and increased thickness of the leaf mesophyll by increasing both the palisade and the spongy parenchyma. In general, the physiological responses of plants of *A. edulis* were similar to the morphoanatomic responses observed. The major photosynthetic rates, transpiration, stomatal conductance, effective quantum yield, electron transport and dissipation of energy as heat occurred in environments with higher irradiances. Irradiance also affected the chloroplastid pigment content, promoting degradation of chlorophylls and carotenoids in young plants of *A. edulis*, but without compromising the photosynthetic performance of these plants at high irradiances. It is concluded that the plants of *A. edulis* are capable of establishing in environments with low or high irradiance due the capacity to adjust morphologically and physiologically.

Keywords: photosynthesis, leaf anatomy, morfology, light intensity.

## INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado é um complexo vegetacional que possui relações ecológicas com outras savanas da Floresta Tropical e de continentes como a África e a Austrália (COUTINHO, 2006; RIBEIRO e WALTER, 2008). Em razão da intensa exploração antrópica que esse complexo vegetacional vem sofrendo ao longo dos anos, o Cerrado está classificado entre os ecossistemas terrestres mais ameaçados do Mundo (MITTERMEIER et al., 2000; MYERS et al., 2000). Portanto é imprescindível a conservação dos fragmentos remanescentes e restauração de áreas degradadas que não possuam resiliência suficiente para autorregeneração (MITTERMEIER et al., 2000; CARPANEZZI, 2005).

Por restauração de áreas degradadas, entende-se o estabelecimento da biomassa vegetal duradoura e de porte arbóreo, juntamente com a reabilitação dos seres vivos associados a essa vegetação em toda diversidade possível (PARROTA et al., 1997; DOS ANJOS, 2010). Assim, para se obter êxito nos programas de restauração de áreas degradadas é importante conhecer o comportamento biológico e os grupos funcionais em relação à exigência de luz das espécies nativas. Destacando-se assim dois grupos extremos: as espécies consideradas pioneiras ou dependentes de luz, conhecidas como plantas de sol e as não pioneiras ou tolerantes à sombra conhecidas como planta de sombra (STRAUSS-DEBENEDETTI e BAZZAZ, 1996). Outras características a serem consideradas para essa classificação são o ciclo de vida, número de sementes e poder de germinação das sementes.

Embora os estudos envolvendo vários grupos sucessionais sejam extremamente importantes para compreensão da função das espécies que integram um ecossistema, estudos envolvendo apenas um grupo sucessional em ambientes de irradiâncias diferentes ajudam a compreender o efeito da fragmentação florestal sobre as respostas

adaptativas destas plantas (SILVA, et al., 2010). Outra questão importante é compreender como as populações de plantas que habitam diferentes tipos de vegetação responderiam a alterações ambientais como, por exemplo, exposição a diferentes níveis de irradiância. Segundo Lemos Filho et al. (2008), para se chegar a alguma resposta se faz necessário compreender as diferenças ecofisiológicas entre os indivíduos destas populações que conseguem se estabelecer em diferentes tipos de vegetação.

Segundo Delagrange (2011), o desempenho e coexistência de espécies arbóreas são baseados em sua capacidade de se adaptar e responder a vários ambientes e variações que possam ocorrer neste mesmo ambiente.

As plantas podem se aclimatar ao ambiente luminoso por meio de diferentes estratégias. Elas podem alterar a arquitetura do dossel, modificando sua capacidade de interceptar a luz disponível e desenvolver alterações fisiológicas, morfológicas e anatômicas para melhor desempenho metabólico (VALLADARES et al., 2006). Esses mecanismos de aclimação podem permitir que as plantas tolerem diferentes níveis de sombreamento (FERNÁNDEZ et al., 2004) ou excesso de luz (LI et al., 2010; KIM et al., 2011; THOLEN et al., 2012).

Devido ao papel fundamental que a folha representa no balanço de carbono é um dos órgãos mais estudados em árvores, em termos de aclimação (TAIZ e ZEIGER, 2013).

A aclimação das folhas às mudanças ambientais ocorre principalmente por meio de modificações na morfologia foliar, ou seja, na forma, tamanho, posição em relação à luz incidente; na anatomia foliar, como na densidade foliar e espessura das células; e na fisiologia da folha (LARCHER, 2006), isto é, na síntese de proteína e atividades associadas com captura de luz, transporte de elétrons e fixação de carbono (POORTER, 2009). Alterações de uma das características ou a combinação destas, já estão associadas com a aclimação fotossintética (POORTER, 2009).

Desta forma é possível encontrar em uma mesma planta, folhas com características bem diferentes, as quais são chamadas por folhas de sol e folhas de sombra (VOGELMANN E MARTIN, 1993).

Folhas que ficam expostas as altas intensidades de luz investem em espessamento da lâmina foliar, investindo no aumento em tamanho e número das células do parênquima paliçádico e do parênquima esponjoso (LEE et al., 2000). Desta forma as folhas de sol podem sustentar altas taxas fotossintéticas por unidade de área (THOLEN et al. 2012).

As folhas de sombra investem em área foliar específica, estratégia utilizada para melhor captura e utilização de luz que chega até a folha (LIMA JUNIOR et al., 2006; DELAGRANGE, 2011; THOLEN et al., 2012).

Muitos estudos já foram realizados com plantas de clima temperado (RICARD et al., 2003; TERASHIMA et al., 2006) e para espécies de floresta tropicais como da Amazônia e Floresta Atlântica (PAIVA et al., 2003; CASTRO et al., 2005), porém para espécies arbóreas e arbustivas do Cerrado ainda há a necessidade de estudos para compreensão da influência da luz sobre as características morfológicas, anatômicas e fisiológicas.

No Cerrado, onde os níveis de irradiâncias são geralmente altos, as plantas possuem características específicas como folhas coriáceas, presença de tricomas, sistema radicular mais desenvolvido, entre outros, uma resposta adaptativa a essas condições para que fosse possível seu estabelecimento (LARCHER, 2006). O que pode ser observado em *Pouteria torta*, *Dipteryx alata*, *Eugenia dysenterica*, *Alibertia edulis* entre outras.

*Alibertia edulis* Rich. é uma espécie pioneira que se estabelece em bordas de mata, nos Cerradões do Brasil Central e savanas amazônicas (DURIGAN et al., 2011; ZAPPI, 2013), ocorrendo intensamente em formações secundárias de baixo porte e áreas abertas de solos pobres e arenosos (SILVA JUNIOR e PEREIRA, 2009). No Brasil ocorre nos Estados do Amazonas, Amapá, Bahia, Distrito Federal, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, São Paulo e Tocantins (ALMEIDA et al., 1998).

Comumente é chamado de marmelo, também conhecido como marmelão, marmelada de bola, marmelada de cachorro, piruí, entre outros (ZAPPI, 2013). Pertence à família Rubiaceae, e é uma espécie arbórea que pode atingir oito metros de altura. Possui folhas opostas, concentradas no ápice dos ramos. A espécie é dioica, apresentando grupos de seis a oito flores masculinas sésseis. As flores femininas são solitárias ou em pares (SILVA JUNIOR e PEREIRA, 2009). Os frutos de *A. edulis* são importante fonte de alimento para as populações locais (ALMEIDA et al., 1998), sendo consumido *in natura* ou de uma forma mais elaborada como geleias e sucos. A semente torrada é usada para substituir o café e o fruto pode ainda ser dado ao gado como fonte de alimento (FELFILI et al., 2000). Faz parte da dieta da fauna nativa do Cerrado (SOUZA-SILVA e FERREIRA, 2004) e as folhas são bastante apreciadas por bovinos (ALMEIDA et al., 1998).

Apesar da ampla utilização de folhas, frutos e raízes de *A. edulis* na medicina popular (VIEIRA E MARTINS, 2000; ROCHA E SILVA, 2002; MATTA, 2003), poucos estudos farmacológicos foram feitos, sendo um deles o trabalho de Brochini et al. (1994) para extração de compostos triterpênicos das folhas.

Considerando os múltiplos usos de *A. edulis* e tendo em vista a redução da cobertura original do Cerrado e os poucos estudos existentes para compreensão da influência da luz sobre as características morfológicas, anatômicas e fisiológicas das espécies do Cerrado, estudos para o crescimento de mudas de *A. edulis* sob diferentes irradiâncias e identificação dos aspectos envolvidos nas alterações fisiológicas e anatômicas são de fundamental importância.

Objetivou-se com este estudo, avaliar e correlacionar alterações morfológicas, anatômicas e fisiológicas em plantas de marmelo promovidas por diferentes níveis de irradiância no ambiente de crescimento.

## OBJETIVO

Objetivou-se com este estudo, avaliar e correlacionar alterações morfológicas, anatômicas e fisiológicas em plantas de *Alibertia edulis* RICH promovidas por diferentes níveis de irradiância no ambiente de crescimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. EMBRAPA, Brasília, 1998.

BROCHINI, C. B.; MARTINS, D.; ROQUE, N. F. An oleanane acid form *Alibertia edulis*. **Phytochemistry**, v.36, p.1291-1295, 1994.

CARPANEZZI, A. A. Fundamentos para a reabilitação de ecossistemas florestais. In: GALVÃO, A. P. M. PORFÍRIO-DA-SILVA, V. (Eds), **Restauração Florestal – Fundamentos e Estudos de Caso**. EMBRAPA. Colombo, PR, p. 27-46, 2005.

CASTRO, E. M.; PINTO, J. E. B. P.; MELO, H. C.; SOARES, A. M.; ALVARENGA, A. A.; LIMA JUNIOR, E. C. Aspectos anatômicos e fisiológicos de plantas de guaco submetidas a diferentes fotoperíodos. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.3, p.846-850, 2005.

COUTINHO, L. M. O conceito Bioma. **Acta Botanica Brasilica**, v.20, n.1, p.13-23, 2006.

DELAGRANGE, S. Light and seasonal induced plasticity in leaf morphology, N partitioning and photosynthetic capacity of two temperate deciduous species. **Environmental and Experimental Botany**, v.70, p.1-10, 2011.

DOS ANJOS, L. Plasticidade e aclimação foliar à irradiância em espécies da Floresta Atlântica. **Tese** (Doutorado em Botânica) Viçosa – MG, 2010.

DURIGAN, G.; MELO, A. C. G.; MAX, J. C. M.; VILAS BOAS, O.; CONTIERI, W. A.; RAMOS, V. S. **Manual para recuperação da vegetação de Cerrado**. 3ª ed. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 2011.

FELFILI, J. M.; RIBEIRO, J. F.; FAGG, C. W.; MACHADO, J. B. **Recuperação de Matas de Galeria**. Planaltina: Embrapa-Cerrados, 45p., 2000.

FERNÁNDEZ, M.E.; GYENGE, J.E.; SCHLICHTER, T.M. Shade acclimation in the forage grass *Festuca pallenscens*: biomass allocation and forage orientation. **Agroforestry Systems**, v.60, p.159-166, 2004.

KIM, S. J.; YU, D. J.; KIM, T. C.; LEE, H. J. Growth and photosynthetic characteristics of blueberry (*Vaccinium corymbosum* cv. Bluecrop) under various shade levels. **Scientia Horticulturae**, v.129, p.486-492, 2011.

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

LEE, D. W.; OBERBAUER, S. F.; JOHNSON, P.; KRISHNAPILAY, B.; MANSOR, M.; MOHAMAD, H.; YAP, S. K. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two southeast Asian *Hopea* (Dipterocarpaceae) species. **American Journal of Botany**, v.87, n.4, p.447-455, 2000.

LEMO FILHO, J. P.; GULART, M. F.; LOVATO, M. B. Populational approach in ecophysiological studies: the case of *Plathymenia reticulata*, a tree from Cerrado and Atlantic Forest. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.20, p.205-216, 2008.

LI, H.; JIANG, D.; WOLLENWEBER, B.; DAI, T.; CAO, W. Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat. **European Journal of Agronomy**, v.33, p.267-275, 2010.

LIMA JUNIOR, E. C.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; VIEIRA, C. V.; BARBOSA, J. P. R. A.D. Aspectos fisiológicos de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 30, n.1, p. 33-46, 2006.

MATTA, A. A. **Flora médica brasileira**. 3ª. ed. Manaus: Editora Valer e Governo do Estado do Amazonas, (Série Poranduba, 3), 356p., 2003.

MITTERMEIER, R.A.; MYERS, N.; GIL, P.R.; MITTERMEIER, C.G. **HOTSPOTS – Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions**, 2000.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENTS, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, n.403, p.853-858, 2000.

PAIVA, E. A. S.; ISAIAS, R. M. S.; VALE, F. H. A.; QUEIROZ, C. G. S. The influence of light intensity on anatomical structure and pigment contents of *Tradescantia pallida* (Rose) Hunt. cv. *purpurea* Boom (Commelinaceae) leaves. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.46, n.4, p.617-624, 2003.

PARROTA, J. A.; TURNBULL, J. W.; JONES, N. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. **Restoration Ecology**, Malden, v. 99, n.1/2, p.1-7, 1997.

POORTER, H.; NIINEMETS, Ü.; POORTER, L.; WRIGHT, I.J.; VILLAR, R., Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): a meta-analysis. **New Phytologist**, v.182, p.565-588, 2009.

- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.151-212, 2008.
- RICARD, J. P.; MESSIER, C.; DELAGRANGE, S.; BEAUDET, M.; Do understory saplings respond to light and below-ground competition?: a field experiment in a hardwood forest and a literature review. **Annals of Forest Science**. v.60, n.8, p. 749–756, 2003.
- ROCHA, A. E.; SILVA, M. F. F. **Catálogo de espécies da floresta secundária**. Belém, 2002.
- 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 Botanica Brasilica**, v.24, n.3, p.640-647, 2010.
- SILVA, A. S.; OLIVEIRA; J. G.; CUNHA; M.; VITÓRIA; 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 JUNIOR, M. C.; PEREIRA, B. A. S. + **100 árvores do Cerrado – Matas de Galeria: guia de campo**. Brasília, Editora Rede de Sementes do Cerrado, 2009.
- SOUZA-SILVA, M.; FERREIRA, R. L. Heterotrophic succession in *Alibertia edulis* fruits: variation in resource availability and temporal heterogeneity of microhabitats for invertebrates. **Ecotropica**, v.10, p. 23-32, 2004.
- STRAUSS-DEBENEDETTI, S.; BAZZAZ, F. Photosynthetic characteristics of tropical trees along successional gradients. In *Tropical forest plant ecophysiology* (S.S. Mulkey, R.L. Chazdon & A.P. Smith, eds.). Chapman & Hall, New York, p.162-186, 1996.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed. 954 p., 2013.
- TERASHIMA, I.; HANBA, Y. T.; TAZOE, Y.; VYAS, P.; YANO, S. Irradiance and phenotype: comparative eco-development of sun and shade leaves in relation to photosynthetic CO<sub>2</sub> diffusion. **Journal Experimental Botany**, v.57, p.343–354, 2006.
- THOLEN, D.; BOOM, C.; ZHU, X. Opinion: Prospects for improving photosynthesis by altering leaf anatomy. **Plant Science** v.197, p.92-101, 2012.
- VALLADARES, F.; SANCHEZ-GOMEZ, D.; ZAVALA, M. A. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between the evolutionary concept and its ecological applications. **Journal of Ecology**, n.94, p. 1103-1116, 2006.
- VIEIRA, R. F.; MARTINS, M. V. M. Recursos genéticos de plantas medicinais do cerrado: uma compilação de dados. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.3, n.1, p.13-36, 2000.

VOGELMANN, T. C.; MARTIN, G. The functional significance of palisade tissue: Penetration of directional vs diffuse light. **Plant Cell Environ**, v.16, p.65-72, 1993.

ZAPPI, D. *Alibertia edulis* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2013. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB20682>). Último acesso em 08/05/2013.

## **CAPÍTULO I**

**ANATOMIA FOLIAR E BIOMETRIA DOS ÓRGÃOS VEGETATIVOS  
DE PLANTAS JOVENS DE *Alibertia edulis* RICH. (RUBIACEAE)  
MANTIDAS SOB DIFERENTES IRRADIÂNCIAS**

## RESUMO

Naturalmente as plantas estão sujeitas a estresses como altas e baixas irradiâncias, escassez de água, herbivorias em seus habitats, entre outros. Um dos mecanismos que as plantas utilizam para se adequarem aos diferentes níveis de irradiância são as modificações estruturais na lâmina foliar, que resulta em alterações também em sua morfologia. No Cerrado onde os níveis de irradiâncias são geralmente altos, as plantas tiveram que se adaptar a essas condições para que fosse possível seu estabelecimento. A capacidade de aclimação a mudanças na intensidade de luz varia de espécie para espécie e pode depender do gradiente de luz que as espécies recebem ou de seu grupo ecológico. *Alibertia edulis* é classificada como espécie pioneira, ocupando áreas abertas, vegetação secundária de baixo porte e bordas de matas. Objetivou-se neste estudo avaliar o efeito da irradiância nas características anatômicas e no crescimento de plantas jovens de *A. edulis* submetidas aos diferentes níveis de irradiância. A caracterização do efeito da irradiância na anatomia foliar e no crescimento das plantas de *A. edulis* foi realizada em quatro condições de irradiância, sendo aproximadamente: 0,60 (ambiente A), 4,28 (ambiente B), 9,88 (ambiente C) e 34,38 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (ambiente D). No encerramento do experimento foram avaliados o acúmulo de matéria seca, número de folhas, altura da planta, volume do sistema radicular, área foliar, área foliar específica, altura do mesofilo, parênquima paliçádico e parênquima esponjoso, epiderme, cutícula, densidade estomática, índice estomático e relação entre os diâmetros polar e equatorial dos estômatos. Os resultados obtidos demonstram que plantas jovens de *A. edulis* passaram por processo de aclimação nas diferentes irradiâncias de crescimento com alterações tanto na morfologia interna quanto externa. Os ambientes de C e D foram os locais onde as plantas tiveram as melhores respostas de biometria e investimento em estruturas foliares. Maior alocação de matéria seca, independente do órgão avaliado, foi

verificada nas plantas crescidas nas maiores irradiâncias. A área foliar específica diminuiu com o aumento da irradiância. Em função do aumento da irradiância foi observado maior número e densidade de estômatos e aumento na espessura do mesófilo foliar mediante o aumento tanto do parênquima paliçádico quanto o esponjoso. Concluiu-se que o aumento da irradiância promoveu alterações nas características morfológicas, tanto interna quanto externa, de plantas jovens de *Alibertia edulis*.

**Palavras-chaves:** morfoanatomia foliar, folhas de sol e de sombra, intensidade luminosa.

## ABSTRACT

Naturally the plants are subjected to stresses like as high and low irradiance, hydric deficit, herbivores in their habitats, among others. One of the mechanisms which plants use to adjust at different irradiance levels are structural changes in leaf blades, which also results in changes in their morphology. In the Savanna where irradiance levels are usually high, the plants had to adapt to these conditions to permit their establishment. The ability to acclimate to changes in light intensity varies from species to species and may depend of the light gradient that species are receiving or its ecological groups. The *Alibertia edulis* is classified as pioneer species that occupy open areas, secondary vegetation of low-growing and edges of forest. This study was carried out to evaluate the effect of irradiance on the anatomical characteristics and growth of young plants of *A. edulis* subjected to different levels of irradiance. Irradiance effect on leaf anatomy and plant growth of *A. edulis* was performed in four irradiance conditions, approximately: 0.60 (A environment), 4.28 (B environment), 9.88 (C environment) and 34.38 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (D environment). At the end of the experiment were evaluated: dry matter accumulation, number of leaves, plant height, root volume, leaf area, specific leaf area, height mesophyll, palisade and spongy parenchyma, epidermis, cuticle, stomatal density, index stomatal and relation of diameters of polar and equatorial of the stomata. The results shown that young plants of *A. edulis* acclimatized in different growth irradiances with changes in both internal and external morphology. Best responses of growth and investment in leaf structures were verified in C and D environment. Great allocation of dry matter, irrespective of the organ evaluated was observed in plants grown under higher irradiance. Specific leaf area decreased with increasing irradiance. Also due to increasing irradiance was observed a higher number and density of stomata and increased thickness of the leaf mesophyll by increasing both

the palisade and the spongy parenchyma. In conclusion, increasing the irradiance improved the morphological features, in both internal and external, of young plants of *Alibertia edulis*.

**Key words:** leaf morphoanatomy, sunny and shade leaves, light intensity.

## 1. INTRODUÇÃO

Constantemente as plantas estão expostas aos fatores ambientais como disponibilidade de luz e água, temperatura e condições edáficas que influenciam diretamente no desenvolvimento das espécies vegetais (Scalon et al., 2001).

Clough et al. (1979) e Paiva et al. (2003) relataram que as mudanças no nível de luz influenciam o crescimento de plantas muito mais do que mudanças na disponibilidade de água ou alterações na temperatura.

Para conseguir sobreviver em ambientes de alta irradiância, as plantas passam por modificações fisiológicas, morfológicas e anatômicas, como resposta dos mecanismos de sobrevivência (FERNÁNDEZ et al., 2004).

No Cerrado, onde os níveis de irradiâncias são geralmente altos, as plantas tiveram que se adaptar a essas condições para que fosse possível seu estabelecimento. No entanto, dados sobre crescimento e estabelecimento de espécies lenhosas do Cerrado são escassos (RATTER et al. 2003).

As plantas se aclimatam a quantidade de luz a fim de maximizar o ganho total de carbono e isto ocorre por ajustamento morfofisiológico (DELAGRANGE, 2011) e mudança no padrão de alocação de biomassa de acordo com a necessidade da parte vegetativa mais severamente afetada pela mudança nas condições de luminosidade (DUZ et al. 2004). Algumas das principais mudanças, decorrentes de aumento na quantidade de luz, são aumento na espessura foliar, resultando no aumento da relação massa foliar/área foliar (LEE et al., 1996); aumento na densidade estomática (LEE et al., 2000); maior alocação de biomassa para as raízes (LEE et al., 1996) e variação na altura do caule (POORTER, 1999).

A capacidade de aclimação a mudanças na intensidade de luz é variável de espécie para espécie e pode depender do gradiente de luz que as espécies recebem

(POORTER, 1999) ou de seu grupo sucessional (STRAUSS-DEBENEDETTI e BAZZAZ, 1996) podendo ser classificadas como plantas de sol ou de sombra (LIMA et al., 2008). A flexibilidade de resposta de determinada espécie, ou seja, de um genótipo em expressar diferentes fenótipos quando submetidos as diferentes condições ambientais, é conhecido como plasticidade fenotípica (KRAUSE et al., 2001; VALLADARES et al., 2006).

A folha é considerada um órgão plástico com capacidade de adaptação de suas estruturas internas às condições do ambiente (CASTRO et al., 2005). Sendo o órgão que possui maiores respostas anatômicas quando submetidas as diferentes irradiâncias (DICKSON, 2000). Estas modificações anatômicas em folhas são algumas características que fazem a planta se aclimatar as condições ambientais, resultando desta forma em plasticidade fenotípica.

As alterações anatômicas que ocorrem em folhas expostas aos níveis maiores de irradiância modificam a capacidade fotossintética das plantas. Ocorrendo maior absorção de energia e distribuição de forma equilibrada pelo mesófilo, tornando a planta mais eficiente em transformar o carbono absorvido e alocando biomassa para as raízes (LEE et al., 2000; PAIVA et al., 2003; RONQUIM et al., 2009; THOLEN et al., 2012). O investimento em raízes permite às plantas absorverem maior quantidade de água para suprir a demanda transpiratória em alta irradiância (POORTER, 1999).

Plantas crescidas sob baixos níveis de irradiância, no entanto, retêm maior quantidade de fotossintatos na parte aérea em detrimento das raízes (THOLEN et al., 2012). Isto leva ao aumento considerável da área foliar a fim de assegurar maior rendimento fotossintético (RONQUIM et al., 2009). Diante disto, a área foliar é fator importante a ser considerado na avaliação da tolerância de espécies à sombra (THOLEN et al., 2012).

*Alibertia edulis* Rich. pertencente a família Rubiaceae, é uma espécie arbórea de pequeno porte e classificada como pioneira, muito utilizada na medicina popular (VIEIRA e MARTINS, 2000; ROCHA e SILVA, 2002; MATTA, 2003) e também para alimentação humana e de outros animais (ALMEIDA et al., 1998; FELFILI et al. 2000). Comumente encontrada em bordas de matas, formações secundárias de baixo porte ou áreas abertas do Cerrado e em savanas amazônicas (LORENZI, 2009; DURIGAN et al. 2011; ZAPPI, 2013). Planta semidecídua, heliófila ocorrendo em ambientes de solo pobre e arenosos (SILVA JUNIOR, 2009). Portanto uma espécie capaz de se estabelecer em ambientes diversos.

No Brasil, a família Rubiaceae é a quarta família em abundância de espécies, sendo que no Cerrado está sempre presente entre as famílias com maior riqueza específica (PEREIRA e BARBOSA, 2004). Reúne representantes de hábitos variados, desde ervas perenes a árvores. Caracterizam-se, principalmente, por apresentarem folhas simples, opostas cruzadas ou, menos frequentemente, verticiladas (PEREIRA e BARBOSA, 2004). Na família, estão representantes de interesse econômico como o café, *C. arábica*, de interesse paisagístico como os gêneros *Ixora* e *Gardênia* e de interesse alimentício como o jenipapo, *Genipa americana*, cujo fruto é utilizado para fabricação de doces e licores (ZAPPI et al, 1995).

Objetivou-se neste estudo avaliar o efeito da irradiância nas características anatômicas e na biometria de plantas jovens de *Alibertia edulis* submetidas aos diferentes níveis de irradiância.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Local de estudo

O experimento foi conduzido na área experimental do Laboratório de Ecofisiologia e Produtividade Vegetal do Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde. O estudo foi realizado tendo como fonte de variação a irradiância no ambiente de crescimento em plantas jovens de *A. edulis*.

O clima do município é tropical úmido (Aw) de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por inverno seco, de maio a setembro, e verão chuvoso, de outubro a abril. A temperatura média anual varia de 15°C a 30°C e a precipitação média anual de 1500mm a 2000 mm (SEVERIANO et al., 2011).

### 2.2. Monitoramento climático do ambiente

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foi monitorada diariamente em todos os ambientes experimentais às 8, 12 e 18 horas. Para estas medições foi utilizado um sensor de radiação (Modelo Decagon Devices, Pullman – USA).

Os dados obtidos foram integrados utilizando a seguinte equação:  $= (A*14400)*0,000001$ . Onde A = valor medido em  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , 14400 é o intervalo de

tempo entre as medições em segundos e 0,000001 a conversão de 1  $\mu\text{mol}$  em molar. Após a conversão dos dados medidos no dia, realizou-se a soma destes, totalizando a radiação fotossinteticamente ativa a qual a planta esteve exposta. Assim, foram obtidos quatro ambientes com diferentes níveis de irradiância incidente sendo: 0,60 (ambiente A), 4,28 (ambiente B), 9,88 (ambiente C) e 34,38  $\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$  (ambiente D). Estes valores de irradiância foram utilizados na correlação com as características morfoanatômicas avaliadas durante o período experimental.

Foram registrados ainda, durante todo o período experimental, a temperatura e umidade relativa do ar de cada ambiente por meio de um sensor Data Logger (Modelo DHT 2000, Perceptec Soluções e Tecnologia Ltda., São Paulo, Brasil). Também foram obtidos dados de temperaturas máxima e mínima, umidade relativa do ar e precipitação do ambiente externo relativos ao período experimental, oriundos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

### 2.3. Material vegetal

#### 2.3.1. Obtenção das plantas

As plantas jovens de *Alibertia edulis* Rich. foram obtidas no Viveiro Geralda Costa Barbosa – Universidade de Rio Verde (UniRV). As plantas jovens foram obtidas a partir de sementes provenientes de uma área de Cerrado, com fitofisionomia do tipo *sensu stricto* e Cerradão, localizada nas coordenadas 17°47'24''S e 50°56'31''O. Esta é uma área experimental pertencente a mesma instituição e situada no município de Rio Verde-GO.

Amostras contendo folhas e frutos verdes da planta matriz foram coletadas em fevereiro de 2013 para fins de identificação. A exsicata se encontra depositada no Herbário do Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde (GO – Brasil) com o número HRV 386.

No Laboratório de Ecofisiologia e Produtividade Vegetal, as plantas foram transferidas para vasos com capacidade para dez quilos contendo substrato, obtido a partir da mistura de uma parte de areia e duas partes de solo. As características físico-químicas do substrato foram determinadas mediante a análise do conteúdo de macronutrientes, pH e percentual de argila e areia (Tabela1). Para adubação do substrato

foi utilizado 118g de Nitrogênio, 535g de Fósforo, 90g de Potássio, 30g de FTE BR12 e 41g de Calcário de acordo com o resultado da análise de solo.

**Tabela 1.** Resultado da análise de solo. Análise realizada em setembro de 2012 em Viçosa - MG

Ref. Lab.	Referência do Cliente	pH		P	K	Na	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> + Al
		H <sub>2</sub> O		mg/dm <sup>3</sup>			cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>			
9743	Amostra 1	6,3		0,7	8		1,2	0,2	0,0	0,66

SB	CTC (t)	CTC(T)	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>			%		dag/kg	mg/L	mg/dm <sup>3</sup>						
1,42	1,42	2,08	68	0		1,1	14,4	1,3	54,9	12,8	0,7	0,0	

### 2.3.2. Condições experimentais

O experimento foi conduzido em estruturas construídas para obtenção de quatro níveis diferentes de irradiância, simulando possíveis condições ambientais encontradas no Cerrado. A fim de alcançar este objetivo foram utilizadas três estruturas metálicas possuindo dimensões de 2,10m de comprimento, 1,60m de largura e 2,10m de altura, cobertas com diferentes camadas de sombrite na parte superior e laterais, denominadas: Ambiente A ( $0,60 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), Ambiente B ( $4,28 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) e Ambiente C ( $9,88 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ). Foi construída ainda, uma quarta estrutura nas dimensões de 3m de comprimento, 3m de largura 2,30m altura com proteção de tela sombrite somente nas laterais, o Ambiente D ( $34,38 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ). Esta última estrutura foi construída apenas para minimizar o efeito de ventos sobre as plantas. As maiores dimensões foram utilizadas para minimizar o sombreamento das plantas (Figura1).



**Figura 1.** Ambientes de crescimento de plantas jovens de *Alibertia edulis* (1) – Ambiente A, (2) – Ambiente B, (3) – Ambiente C e (4) – Ambiente D. Rio Verde-GO, Brasil.

Os tratamentos iniciaram mediante a transferência de dez plantas homogêneas quanto à altura e bom estado fitossanitário para cada ambiente de crescimento. No total, foram utilizadas 40 unidades experimentais.

O experimento teve duração de 126 dias em razão da limitação do crescimento radicular, com início em novembro de 2012 e término em de março 2013.

As plantas foram irrigadas periodicamente mantendo a capacidade de campo. Objetivando evitar possível deficiência nutricional foram realizadas aplicações de 50mL por vaso, de solução nutritiva de Hoagland, a meia força iônica, semanalmente.

Aos 126 dias, por ocasião do encerramento do experimento, amostras de folhas foram coletadas para caracterização anatômica. Além disso, foram coletados ainda raiz, caule e folhas para determinação das características biométricas.

## 2.4. Detalhamento dos procedimentos para avaliação das plantas

### 2.4.1. Caracterização das medidas biométricas

Para determinação das características biométricas, as plantas foram coletadas aos 126 dias, ocasião do final do experimento. Foram obtidos o número de folhas, o diâmetro do caule, o número de entrenós, a altura da planta, o volume do sistema radicular, a massa seca de raízes (MSR), de caule (MSC) e de folha (MSF) e massa seca

total (MST). Foram calculados a área foliar (AF), área foliar específica (AFE), a razão área foliar (RAF) e a razão raiz-parte aérea (RRPA).

As raízes foram lavadas em água corrente, sobre uma peneira, até a completa remoção dos resíduos de solo. O volume do sistema radicular foi obtido em  $\text{mm}^3$ , pelo deslocamento da coluna d'água numa proveta graduada ao inserir nela as raízes da planta. Em seguida o material foi colocado em estufa de circulação de ar, a  $65^\circ\text{C}$ , até atingir peso constante, para a obtenção da massa seca de raiz expressa em  $\text{g planta}^{-1}$ .

Para obtenção da massa seca da parte aérea, o mesmo procedimento de secagem foi realizado. A massa seca total foi calculada pelo somatório da massa seca da parte aérea e da massa seca de raiz.

A área foliar foi determinada mediante a obtenção da imagem digital (câmera digital 8 megapixel modelo E850 GE, São Paulo, Brasil) e o cálculo da área foliar foi obtido em  $\text{m}^2$  pela integração da imagem das folhas por meio de *software*.

A área foliar específica foi determinada pela razão entre a área foliar e a massa seca das folhas. A razão área foliar foi calculada por meio da razão área foliar específica e a massa seca das folhas.

#### 2.4.2. Caracterização da anatomia foliar

Para essa avaliação duas folhas por planta foram coletadas, sendo uma totalmente expandida da porção mediana do ramo e a outra jovem, localizada no ápice do ramo e levadas ao Laboratório de Anatomia Vegetal, localizado no Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde. Foram selecionadas cinco plantas do total de dez repetições em cada tratamento por meio de sorteio.

O material coletado foi utilizado a fresco. Para determinação da espessura do mesofilo, parênquimas paliçádico e esponjoso, epiderme das faces abaxial e adaxial, obteve-se cortes transversais utilizando micrótomo de mesa, modelo LPC, com navalha de aço descartável. Os cortes foram submetidos à coloração com Safrablau (5 mL de solução aquosa de safranina 1% - 95 mL de solução aquosa de azul de Astra 1% - duas gotas de ácido acético glacial) (KRAUS e ARDUIN, 1997) e as lâminas montadas em glicerina 50%. Para mensurações da cutícula, foram utilizados cortes com as mesmas especificações anteriores, corados com Sudam III (KRAUS e ARDUIN, 1997) e as lâminas montadas em glicerina 50%.

Foram medidas: DP = diâmetro polar dos estômatos; DQ = diâmetro equatorial dos estômatos; Ep ad = espessura da epiderme da face adaxial; Ep ab = espessura da epiderme da face abaxial; PP = espessura do parênquima paliçádico; PE = espessura do parênquima esponjoso; CT = espessura da cutícula. Foram calculados a densidade estomática (DE - número de estômatos por unidade de área), o índice estomático (IE - percentual de estômatos em relação ao total de células epidérmicas por área) e a funcionalidade estomática (FUN – considerada como a relação diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos) segundo Castro et al. (2009).

Para mensurações do índice estomático, densidade estomática e relação entre diâmetro polar e equatorial dos estômatos, as amostras das lâminas foliares foram submetidas à técnica de diafanização, descrito por Kraus e Arduin (1997), coradas com Safranina e montadas em glicerina 50%.

As imagens foram obtidas utilizando microscópio binocular marca Leica modelo DM500, com câmera de vídeo digital Leica ICC50, do Laboratório de Anatomia Vegetal do Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde. As análises micromorfométricas foram realizadas com auxílio do *software* “ANATI QUANTI” (AGUIAR et al., 2007).

### 3. DELINEAMENTO E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O delineamento experimental foi o inteiramente ao acaso com quatro tratamentos e 10 repetições para as análises biométricas. Para os parâmetros anatômicos o delineamento foi fatorial 2x4, sendo dois tipos de folhas (folha jovem e folha madura) e quatro níveis de irradiância com cinco repetições.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) e análise de correlação linear de Pearson ( $p < 0,05$ ), 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).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Monitoramento climático do ambiente

Os dados climáticos relativos ao período do experimento são mostrados na Tabela 2 e caracterizam um período chuvoso. Os dados da temperatura máxima e mínima e umidade relativa do ar em cada ambiente do experimento são expressos na Figura 2.

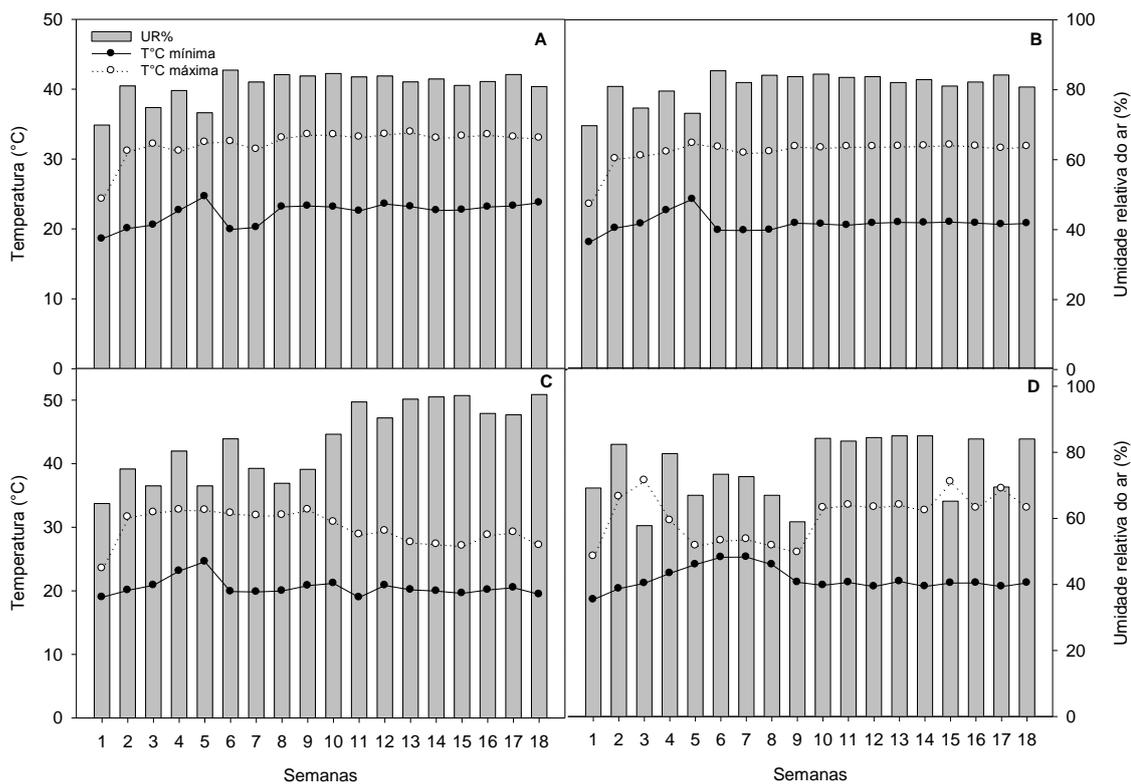
**Tabela 2.** Dados climáticos do município de Rio Verde - GO, durante os meses de novembro de 2012 a março de 2013. Onde **A** - precipitação (mm), **B** - umidade relativa do ar (UR%) e temperaturas (°C) máxima e mínima. Fonte: INMET.

	Meses				
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar
Precipitação (mm)	254,8	175,8	538,8	171,4	423,2
Umidade (%)	75,9	74,7	83,5	78,4	79,9
Temperatura Máxima (°C)	30,3	31,2	25,2	29,7	30,5
Temperatura Mínima (°C)	19,3	20,0	20,1	19,7	19,7

Quanto à temperatura e umidade relativa do ar dentro dos ambientes de crescimento não foram observados diferenças entre os ambientes A, B e C, provavelmente devido à utilização do sombrite em cada estrutura (Figura 2). Porém, a umidade relativa do ar e as temperaturas do ambiente D apresentaram maior oscilação, sendo menores os valores para umidade e maiores valores para temperatura máxima (Figura 2).

Temperatura mínima para todos os quatro ambientes de crescimento se manteve em torno de 20°C. A temperatura máxima para os ambientes A, B e C variou entre 23,5 a 33,5°C. A umidade relativa nestes ambientes variou entre 64,5 e 97,2%.

No ambiente D, foi verificada temperaturas máximas de até 37°C no mês de novembro de 2012 e no mês de fevereiro de 2013 com umidade relativa do ar de 57% para o mesmo período. Nos demais meses a temperatura máxima variou entre 25,5 a 34,9°C. Já a umidade relativa do ar variou entre 57,8 e 85%.



**Figura 2.** Umidade relativa do ar (UR%) e temperaturas (°C) máxima e mínima em cada ambiente estudado, durante os meses de novembro de 2012 a março de 2013 (total de 18 semanas). Sendo: (A) – Ambiente A, (B) - Ambiente B, (C) – Ambiente C e (D) – Ambiente D.

#### 4.2. Características visuais das plantas

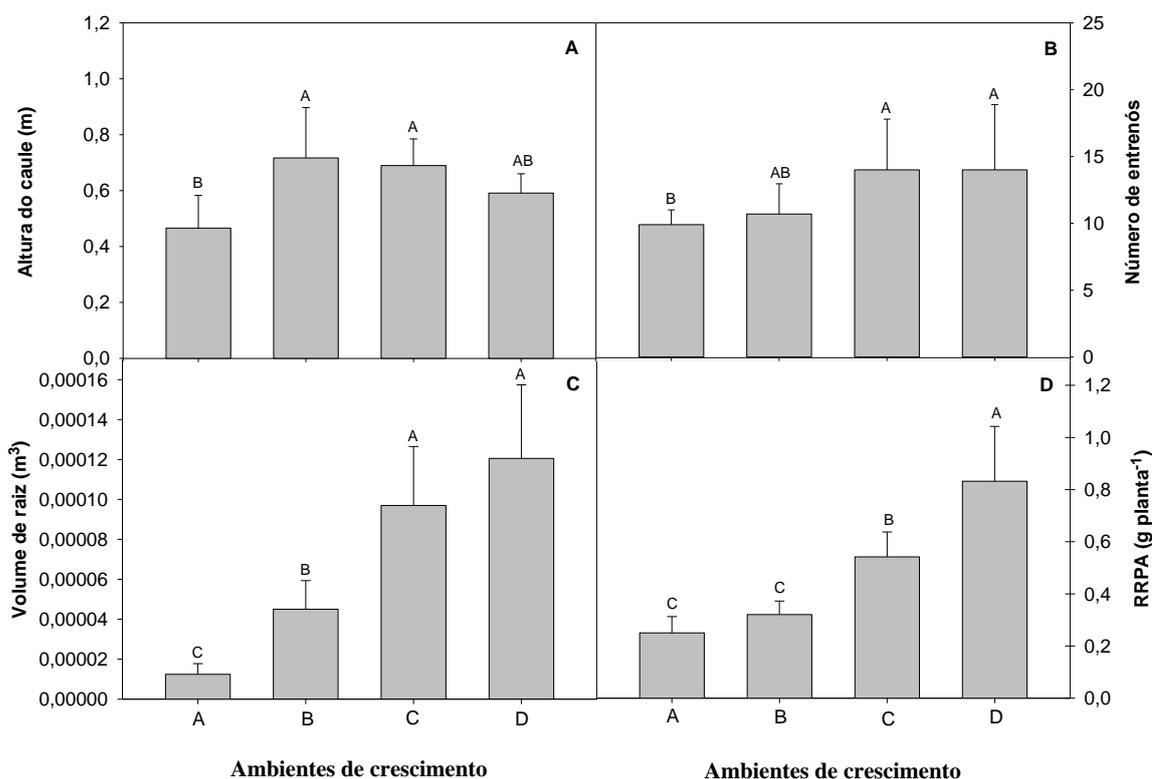
A irradiância afetou o crescimento das plantas jovens de *A. edulis* (Figura 3). Foram observadas plantas com alturas maiores quando cultivadas nos ambientes B e C em relação às plantas mantidas nos extremos de irradiância ( $0,60$  e  $34,38 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ). A menor altura foi observada em plantas crescidas sob no ambiente A. Esta mesma relação foi observada quanto ao tamanho e ângulo das folhas. Não ocorreu estiolamento do caule no ambiente A ( $0,60 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ).



**Figura 3.** Efeitos visuais em plantas jovens de *Alibertia edulis* submetidas a condições crescentes de irradiância no ambiente de crescimento. (1) – Ambiente A, (2) – Ambiente B, (3) – Ambiente C e (4) – Ambiente D. A imagem foi obtida aos 124 dias após início dos tratamentos.

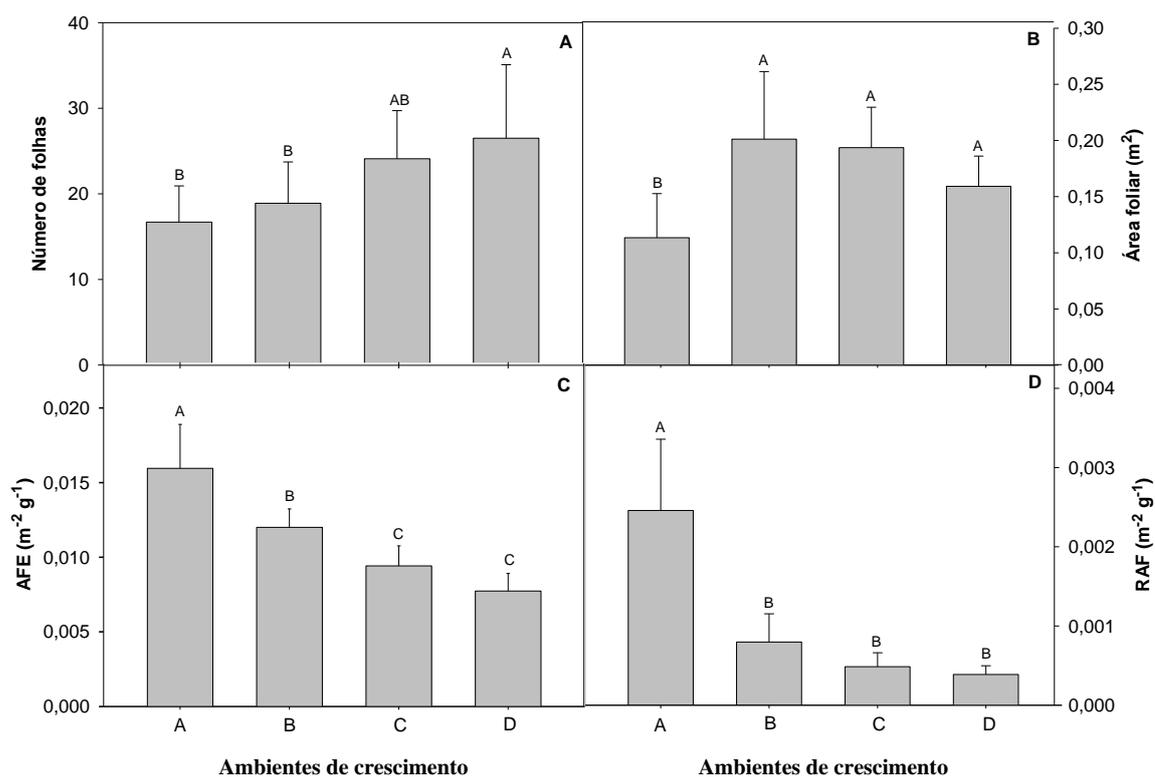
#### 4.3. Caracterização das medidas biométricas

A altura de caule (Figura 4A) foi menor aproximadamente 35% em plantas crescidas nos extremos de irradiâncias testadas (A e D) comparadas as irradiâncias intermediárias (C e D). O número de entrenós (Figura 4B) foi menor 30% no ambiente A comparado aos ambientes C e D. Volume de raiz (Figura 4C) e razão raiz/parte aérea (Figura 4D) tiveram substancial acréscimo, acompanhando o aumento das irradiâncias de crescimento, apresentando a diferença de 800% e 230% respectivamente em comparações entre plantas mantidas no ambiente A e plantas do ambiente D.



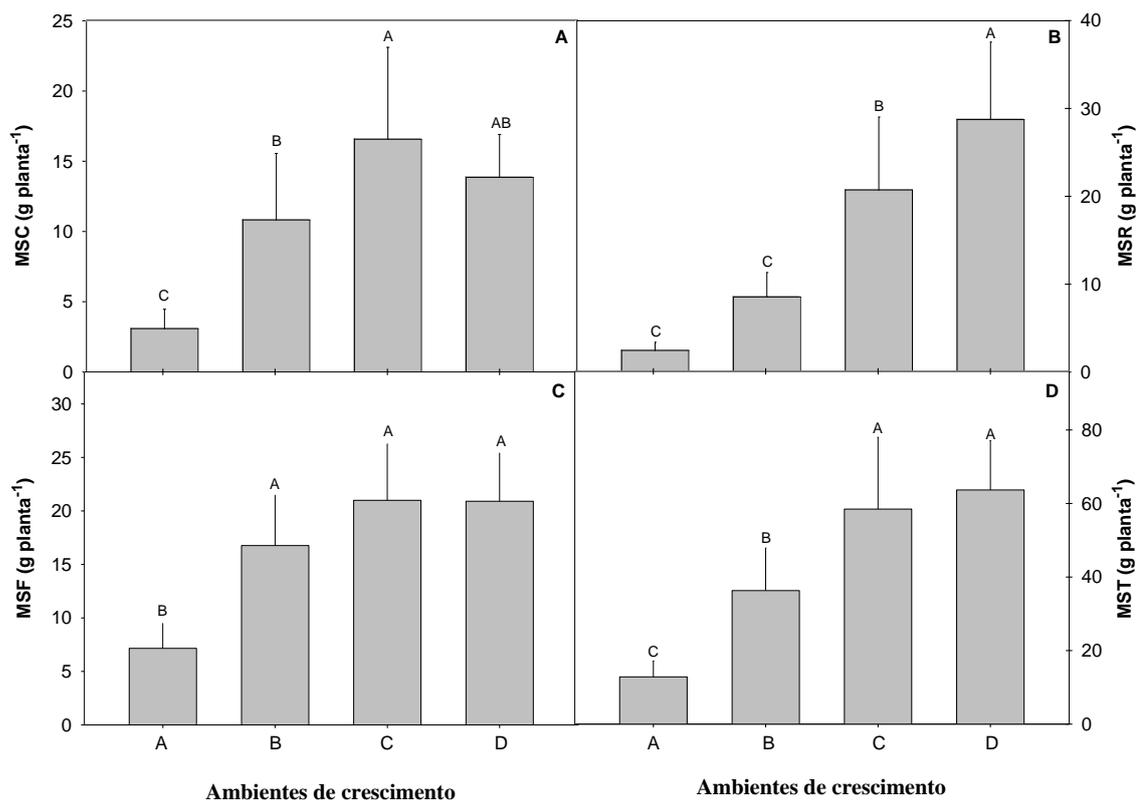
**Figura 4.** A) Altura do caule, B) Número de entrenós, C) Volume de raiz e D) Razão raiz/parte aérea (RRPA) de plantas jovens de *Alibertia edulis* submetidas as condições crescentes de irradiância no ambiente de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).

O número de folhas (Figura 5A) foi maior 58% em plantas crescidas no ambiente D quando comparadas as plantas do ambiente de menor irradiância. Já a área foliar (Figura 5B) seguiu o mesmo padrão da altura de caule com incremento de 77% no ambiente B e de 71% no ambiente C quando comparadas as plantas do ambiente A. Em plantas crescidas no ambiente D comparadas as do ambiente A, observou-se decréscimos de 51% na área foliar específica e 85% na razão área foliar (Figura 5C e D).



**Figura 5.** A) Número de folhas, B) Área foliar, C) Área foliar específica (AFE) e D) Razão área foliar (RAF) de plantas jovens de *Alibertia edulis* submetidas a condições crescentes de irradiância no ambiente de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).

Observou-se aumento na massa seca de caule (Figura 6A), massa seca de raiz (Figura 6B), massa seca de folhas (Figura 6C) e massa seca total (Figura 6D) em função do aumento da irradiância no ambiente de crescimento. O acréscimo foi mais proeminente para a massa seca de raiz com incremento aproximado de 1000% comparando plantas crescidas do ambiente A com plantas crescidas no ambiente D.



**Figura 6.** A) Massa seca de caule (MSC), B) Massa seca de raiz (MSR), C) Massa seca de folha (MSF) e D) Massa seca total (MST) de plantas jovens de *Alibertia edulis* submetidas a condições crescentes de irradiância no ambiente de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).

#### 4.4. Caracterização da anatomia foliar

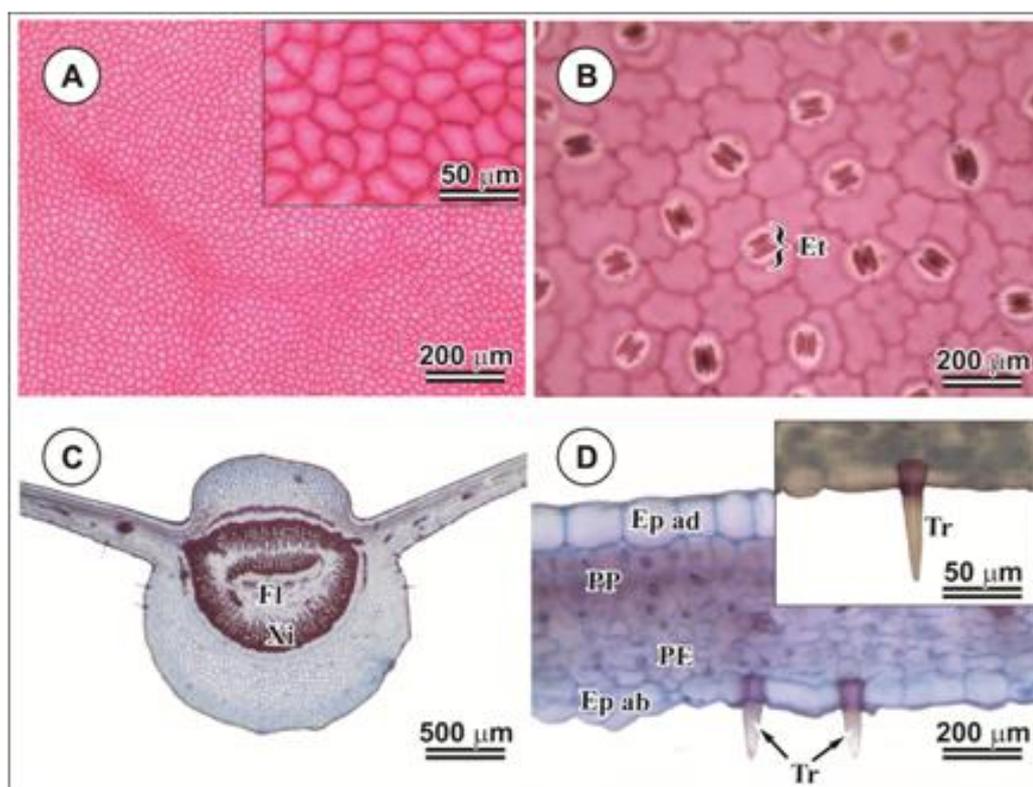
##### 4.4.1. Parâmetros qualitativos

Assim como observado nas características biométricas, os parâmetros anatômicos também foram afetados pelas diferentes irradiâncias.

As folhas de *A. edulis* apresentaram parênquima clorofiliano dorsiventral, com parênquima paliádico formado por duas camadas de células alongadas e justapostas e parênquima esponjoso formado por células em arranjo irregular. Observou-se ainda que a epiderme é unisseriada e as células epidérmicas da face abaxial apresentam formato irregular (Figura 7D). São hipostomáticas (Figura 7A-B), com estômatos do tipo paracítico, com células subsidiárias bem menores que as células epidérmicas (Figura

7B). Notou-se a presença de tricomas tectores simples (Figura 7D) somente na face abaxial.

A nervura central da folha em secção transversal apresentou feixe vascular único colateral apresentando uma bainha de fibras se tornando contínua de acordo com o acréscimo de irradiância nos tratamentos (Figura 7C).



**Figura 7.** Fotomicrografias da diafanização (A-B) e secções transversais (C-D) da lâmina foliar de plantas jovens de *Alibertia edulis*. (A) Face adaxial, no detalhe, a mesma face em maior aumento. (B) Face abaxial, com destaque para os estômatos – Et. (C) Nervura central, floema - Fl e xilema - Xi. (D) mesofilo, face adaxial da epiderme – Ep ad; face abaxial da epiderme – Ep ab; parênquima paliçádico – PP; parênquima esponjoso – PE e tricomas - Tr.

#### 4.4.2. Parâmetros quantitativos

A irradiância promoveu alterações anatômicas na densidade estomática, índice estomático, aumento da espessura do mesofilo, e dos parênquimas paliçádico e esponjoso nas plantas estudadas. Comparações entre as folhas jovens e completamente expandidas não foram significativas pelo teste de média utilizado, desta forma as médias utilizadas são médias totais abrangendo as medições das duas folhas. Para altura

de epiderme, espessura de cutícula, relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos e número de tricomas, os dados não foram significativos (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resumo da Análise de Variância dos dados de anatomia foliar de plantas jovens de *Alibertia edulis*, sendo: Índice estomático (IE); Densidade estomática (DE); Relação diâmetro polar e equatorial (FUN); Mesofilo (Me); Parênquima paliçádico (PP); Parênquima esponjoso (PE); Epiderme face abaxial (Ep ab) e face adaxial (Ep ad) e Cutícula da face abaxial (Ct ab) e da face adaxial (Ct ad).

Fonte de variação	IE	DE	FUN	Me	PP	PE	Ep ab	Ep ad	Ct ab	Ct ad
PAR	**	*	ns	**	**	**	ns	ns	ns	ns
FOLHA	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
FOLHA X PAR	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

\* ( $p < 0,05$ ), \*\* ( $p < 0,01$ ) e ns não significativo pelo teste de Tukey .

O menor índice estomático foi verificado no ambiente A em relação aos demais ambientes (Tabela 4 e Figura 8).

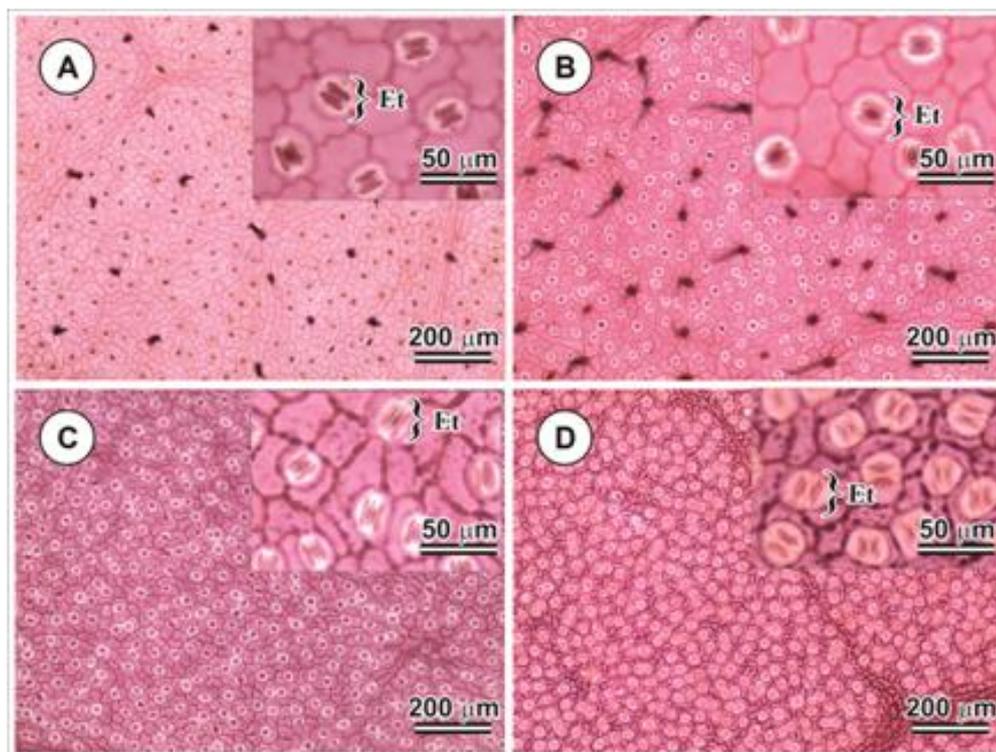
A densidade estomática diferiu apenas para os extremos de irradiâncias (0.60 e 34.38 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) sendo os maiores valores observados nas plantas do ambiente D e a menor densidade estomática para plantas crescidas no ambiente A. (Tabela 4). Para a relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos (FUN) os dados não foram significativos (Tabela 3).

**Tabela 4.** Médias e coeficiente de variação (CV%) do índice estomático, densidade estomática e relação diâmetro polar e equatorial dos estômatos de plantas jovens de *Alibertia edulis* submetidas aos quatro níveis de irradiância.

Variáveis analisadas		
Ambiente de crescimento	Índice estomático (%)	Densidade estomática (mm <sup>2</sup> )
A	19,69 b**	280,22 b*
B	24,17 a**	370,39 ab*
C	24,41 a**	427,75 ab*
D	27,64 a**	504,54 a*
CV (%)	12,77	32,10

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). \* ( $p < 0,05$ ), \*\* ( $p < 0,01$ ).

Nota-se nas plantas dos ambientes A e B menor número de estômatos, sinuosidade da parede das células epidérmicas e presença de tricomas (Figura 8A e B). Nas plantas dos ambientes C e D, o número de estômatos aumentou, porém, manteve seu tamanho (Figura 8C e D), as células epidérmicas perderam a sinuosidade de suas paredes e ficaram menores, comparadas às plantas dos ambientes A e B (Figura 8A-D) e se nota também quase total ausência de tricomas.



**Figura 8.** Fotomicrografias da diafanização em folhas de plantas jovens de *Alibertia edulis* nos diferentes níveis de irradiância mostrando face abaxial da epiderme. (A) – Ambiente A, (B) - Ambiente B, (C) – Ambiente C e (D) – Ambiente D. Nos detalhes estômatos do tipo paracítico (Et).

Os cortes transversais das folhas de *A. edulis* indicaram que, da mesma forma como houve incremento dos caracteres relativos aos estômatos, também houve incremento para espessura de mesofilo, parênquima paliçádico e parênquima esponjoso de acordo com o aumento das irradiâncias impostas (Tabela 5 e Figura 9) ou seja, houve investimento na espessura da folha diante dos tratamentos impostos. A menor média foi observada em plantas do ambiente A e a maior média em plantas do ambiente D para mesofilo, parênquimas paliçádico e esponjoso.

Houve aumento dos parênquimas de duas formas: nas células do parênquima paliçádico ocorreu alongamento celular e para o parênquima esponjoso houve aumento no número de células, aumentando desta forma o número de camadas de células.

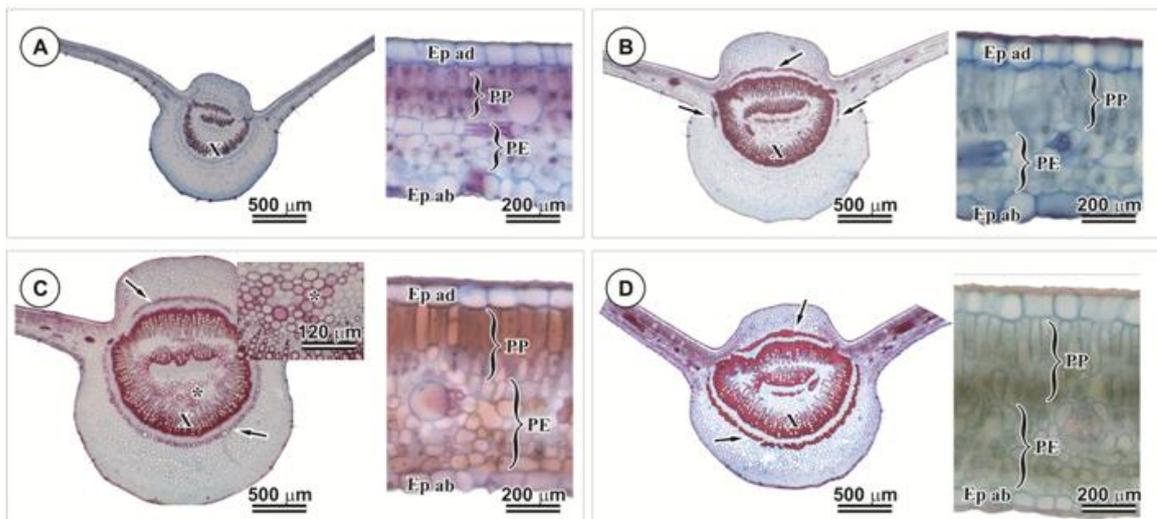
Um fator importante a ser mostrado foi o surgimento gradual da bainha de fibras em torno dos feixes vasculares (Figura 9B, C e D) aumentando de acordo com o acréscimo de irradiância em cada tratamento. Na Figura 9A, que mostra resultados obtidos no tratamento de menor irradiância ( $0.60 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) é possível observar a ausência desta bainha. Também ocorreu a lignificação de parênquima como demonstrado na Figura 9C.

Também houve investimento na espessura da nervura central com aparente lignificação dos feixes, investimento este, mostrado na Figura 9, com maior intensidade na coloração vermelha, indicando paredes secundárias mais espessas e lignificadas.

**Tabela 5.** Médias e coeficiente de variação (CV%) da espessura do mesofilo, parênquima paliçádico e parênquima esponjoso das folhas das plantas jovens de *Alibertia edulis* submetidas aos quatro níveis de irradiância.

<b>Variáveis analisadas</b>			
<b>Ambientes de crescimento</b>	<b>Mesofilo</b>	<b>Parênquima paliçádico</b>	<b>Parênquima esponjoso</b>
A	120,50 c **	51,02 c **	69,33 b **
B	143,06 bc **	63,06 bc **	80,05 b **
C	178,00 ab **	75,42 ab **	101,86 a **
D	196,09 a **	87,24 a **	107,59 a **
CV (%)	17,02	25,86	15,16

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), \*\* ( $p < 0,01$ ).



**Figura 9.** Fotomicrografias da secção transversal da lâmina foliar de plantas jovens de *Alibertia edulis* nos diferentes níveis de irradiância mostrando nervura central e mesofilo. (A) – Ambiente A, (B) - Ambiente B, (C) – Ambiente C e (D) – Ambiente D. Setas apontando para bainha de fibras em torno do feixe vascular, surgimento a partir da irradiância  $4.28 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  (B) e aumentando de acordo com aumento das irradiâncias (C – D). Detalhe do parênquima lignificado (\*); epiderme adaxial – Ep ad; epiderme abaxial – Ep ab; parênquima paliçádico – PP; parênquima esponjoso – PE.

## 5. DISCUSSÃO

O termo análise de crescimento se refere ao conjunto de métodos quantitativos utilizados para descrever e interpretar o desempenho em crescimento de plantas sob condições naturais ou controladas. A análise de crescimento possibilita a abordagem interpretativa de forma holística e integrada sobre os processos fisiológicos e produtivos de uma espécie, mediante utilização de dados simples como massa, área, volume, conteúdo ou componentes da planta (HUNT, 2003).

Por meio desta ferramenta é possível avaliar o crescimento final da planta como um todo e a contribuição dos diferentes órgãos no crescimento total. A partir dos dados de crescimento, pode-se inferir atividade fisiológica, isto é, estimar de forma bastante precisa, as causas de variações de crescimento entre plantas geneticamente diferentes ou entre plantas crescendo em ambientes diferentes (ANDRADE et al., 2005).

Em estudos ecofisiológicos de plantas não se pode prescindir da análise de crescimento, pois, os fatores ambientais como luz, temperatura, concentração de  $\text{CO}_2$  e

a disponibilidade de água e nutrientes, próprios de cada local, afetam sensivelmente a taxa fotossintética, a taxa de crescimento, a razão de área foliar, entre outras (BENICASA, 2004).

Neste estudo não foi realizado avaliações de crescimento e sim, avaliação biométrica dos órgão vegetativos da espécie escolhida. Observando os resultados obtidos para as análises biométricas foi possível perceber que todos os parâmetros morfológicos analisados foram afetados pelos diferentes níveis de irradiâncias e, que as plantas de *A. edulis* crescidas nos ambientes B, C e D tiveram maior crescimento quando comparadas as plantas do ambiente A, o de menor irradiância ( $0.60 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ).

Segundo Ramos et al. (2004) este comportamento foi possível, porque a disponibilidade de energia fotossintética foi alta e esta energia radiante foi absorvida e transformada em fotossintatos que proporcionaram crescimento mais rápido da planta.

Houve investimento em área foliar e volume de raiz de plantas crescidas nas maiores irradiâncias, enquanto as plantas do ambiente de menor irradiância investiram em área foliar específica. Confirmando este comportamento foi verificada a correlação negativa entre área foliar específica e volume de raiz ( $r = -0,78, p < 0,01$ ). Os resultados obtidos corroboram com outros estudos (CASTRO e ALVARENGA, 2002; SOUZA et al., 2009; SABBI et al., 2010) que afirmam que em ambientes com maior irradiância as espécies tendem a ter folhas menores para minimizar possíveis efeitos negativos do superaquecimento e das altas taxas de transpiração (KLICH, 2000).

A expansão da folha, maior área, sob menor luminosidade indica estratégia da planta de compensar essa menor quantidade de luz recebida, aproveitando melhor para maximizar processos fisiológicos relativos ao seu crescimento e desenvolvimento (CAMPOS e UCHIDA, 2002; SARIJEVA et al., 2007).

Sendo assim, a maior área foliar traz vantagens para a planta na captação da luz, proporcionando maior superfície exposta à interceptação dos raios luminosos (ESPINDOLA JUNIOR, 2006), já que a luz se encontra em menor quantidade. Porém as plantas neste estudo não apresentaram este comportamento, observando o aumento de aproximadamente 100% na área foliar comparando as médias das plantas crescidas no ambiente de  $0.60 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  com o ambiente de  $4.28 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ .

A área foliar específica (AFE) é uma característica ecofisiológica importante, integrando vários aspectos relacionados à estrutura e fisiologia da folha em resposta às variações do meio ambiente como a disponibilidade de água e de nutrientes no solo (ESPINDOLA JUNIOR, 2006).

A área foliar específica também está relacionada à alocação de biomassa por unidade de área, à longevidade foliar e custo de construção das folhas, e pode ser utilizada para comparar possíveis estratégias adaptativas de espécies que coexistem em uma mesma comunidade (FRANCO et al., 2005), sendo portanto uma das principais características indicadoras da taxa de crescimento e das estratégias do uso de recursos pelas plantas (BOEGER e WISNIEWSKI, 2003; BOEGER et al., 2006; SABBI et al., 2010).

De acordo com Scalon et al. (2003), a área foliar específica frente a importância dos órgãos fotossintetizantes na produção biológica pode ser considerada como um índice de produtividade.

Observou-se a correlação negativa de 0,53 ( $p < 0,001$ ) entre a razão raiz/parte aérea (RRPA) e a razão de área foliar (RAF). Confirmando este comportamento, constatou-se que nas plantas crescidas nas maiores irradiâncias houve maior investimento na espessura da folha e na matéria de seca de raiz. Por outro lado, plantas crescidas nas irradiâncias menores, observou-se menor espessura do limbo foliar.

Segundo Lee et al. (1996), a alta razão raiz/parte aérea é resultado de maior investimento de biomassa nas raízes, possibilitando maior absorção de água para suprir a demanda transpiratória em alta irradiância. A diminuição do tamanho das folhas reduz a camada adjacente entre atmosfera e folha, permitindo maior perda de calor por convecção para o ambiente, sendo necessária, dessa maneira, menor transpiração para resfriar a folha (LEE et al., 1996).

Em condições onde as plantas estão sob diferentes quantidades de luz, a espessura e a área foliar tendem a ser inversamente proporcionais, ou seja, a folha diminui a área exposta, mas aumenta a espessura da lâmina, pelo incremento dos tecidos fotossintéticos e dos espaços intercelulares, garantindo assim o volume da folha (BOEGER e POULSON, 2006).

A aclimatação de plantas à quantidade de luz incidente ocorre no sentido de maximizar o ganho total de carbono que pode ser através de dois caminhos, mudança nas propriedades de assimilação de carbono pelas folhas, envolvendo ajustes fisiológicos e morfológicos, e mudança no padrão de alocação de biomassa em favor da parte vegetativa mais severamente afetada pela mudança (DUZ et al., 2004).

Algumas das principais mudanças, decorrentes de aumento na quantidade de luz, são aumento na espessura foliar, resultando no aumento da relação massa foliar/área foliar (LEE et al., 1996); aumento na densidade estomática (LEE et al.,

2000); maior alocação de biomassa para as raízes (LEE et al., 1996) e variação na altura do caule (POORTER, 1999).

Neste estudo, as plantas crescidas em ambiente de menor irradiância ( $0.60 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) não apresentaram estiolamento do caule, ou seja, elas têm capacidade em suportar sombreamento, uma característica de plantas heliófilas (FINEGAN, 1992).

A capacidade de aclimação as mudanças na intensidade de luz não dependem somente do grupo sucessional (STRAUSS-DEBENEDETTI e BAZZAZ, 1996), mas pode depender do gradiente de luz que as espécies recebem além desta capacidade de aclimação ser variável de espécie para espécie (POORTER, 1999).

Estudos comparativos sobre a estrutura da folha demonstram que a maioria das espécies de plantas têm a capacidade de desenvolver anatomicamente folhas distintas em resposta as diferentes intensidades luminosas (VOGELMANN E MARTIN, 1993; STRAUSS - DEBENEDETTI e BERLYN, 1994). Assim, a intensidade de luz promove alterações na estrutura e organização das folhas, resultando no que comumente é chamado por folhas de sol e folhas de sombra.

Portanto, além da análise de crescimento, a análise de parâmetros anatômicos é também de suma importância que possibilita descrever e analisar as estruturas internas das plantas auxiliando desta forma no entendimento das respostas fisiológicas das mesmas, correlacionando estrutura foliar, trocas gasosas e crescimento (THOLEN et al., 2012).

Entre vários fatores que podem acarretar alterações na anatomia foliar está a luminosidade, além da temperatura e umidade (LEE et al., 2000; JUSTO et al., 2005), representando a disposição mais eficiente na estrutura da planta para fotossíntese (RABELO et al., 2007; RABELO et al., 2012), geralmente apresentando aumento no número de camadas de células do parênquima paliçádico e, conseqüentemente, aumento da espessura do mesofilo.

As plantas de *A. edulis* apresentaram alterações no número de estômatos nas diferentes irradiâncias com a conseqüente alteração, tanto do índice estomático quanto da densidade estomática.

Os resultados neste estudo vem de encontro com outros trabalhos em que foi evidenciado que plantas cultivadas sob altas intensidade de luz, também mostraram maiores índice e densidade estomática, e que maior número de estômatos explicariam as maiores taxas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração (GALMÉS et al., 2007; NERY et al., 2007; ROSSATTO et al., 2010), visto que os estômatos estão

diretamente associados com a capacidade fotossintética e uma alteração em sua quantidade afeta diretamente a condutância estomática. No entanto, a capacidade de respostas dos estômatos às variáveis ambientais são mais importantes para a determinação da condutância estomática do que seu número (LIMA JUNIOR et al., 2006).

Segundo Silva et al. (2005), a densidade de estômatos pode diminuir em média 30%, em plantas cultivadas sob baixa luminosidade. De acordo com Knecht e O'Leary (1972), trabalhando com feijão e Milaneze-Gutierrez (2003) trabalhando com o gervão-falso (*Bouchea fluminensis* Vell. Mod.) o aumento do número de estômatos estaria relacionado somente com a expansão da área foliar e não com o aumento de luminosidade. Entretanto, outros autores relatam que o número de estômatos pode variar entre plantas de mesma espécie e, na própria planta em si, e estas variações estariam correlacionadas a fatores abióticos como luminosidade e umidade (SAJO et al., 1995; SABBI et al., 2010).

Modificações na espessura da lâmina foliar também ocorreram nas plantas jovens de *A. edulis*, em que as células que formam o parênquima paliçádico aumentaram em tamanho, ou seja, foram alongadas e, as células do parênquima esponjoso aumentaram em número, portanto, apresentando mais camadas de células.

Resultados semelhantes foram encontrados por Lima Junior et al. (2006), Pereira et al. (2009) trabalhando com outras espécies em diferentes níveis de sombreamento, mostrando que o espessamento da folha tem relação direta com o aumento de luminosidade.

Segundo Castro et al. (2005), em estudos com plantas de guaco submetidas a diferentes fotoperíodos, os parênquimas paliçádico e esponjoso são tecidos que apresentam grande capacidade de respostas aos estímulos de luz, influenciando, portanto, a espessura foliar.

Folhas com parênquima paliçádico mais espesso apresentam coeficiente de extinção da luz mais eficiente, portanto, espera-se que tais folhas tenham maiores taxas fotossintéticas e evitem a fotoinibição (RODELLA et al., 1993; JUSTO et al., 2005).

Desta forma as diferenças na anatomia provocadas por diferentes níveis de luz podem trazer adaptações fisiológicas (CAPUZZO et al., 2012), pois as propriedades das células paliçádicas permitem a passagem direta da luz e as propriedades das células do parênquima esponjoso, que servem à dispersão da luz, determinam a absorção mais

uniforme e maior circulação de CO<sub>2</sub> (ROSSATTO e KOLB, 2010; THOLEN et al., 2012).

As plantas crescidas nos ambientes A e B, neste estudo, apresentaram maior sinuosidade da parede celular das células epidérmicas quando comparadas às plantas crescidas nos ambientes C e D. Provavelmente, este fato ocorreu devido a pouca variação da umidade relativa do ar nos dois ambientes de menor irradiância, que durante todo o período experimental se manteve em média entre 80 a 90%. Entretanto nos ambientes de maior irradiância, as variações na umidade relativa eram mais efetivas, sendo estas variações entre 58 a 85%.

A sinuosidade da parede celular é uma característica típica de plantas crescidas em ambientes com alta umidade relativa do ar, tendo em vista que esta morfologia amplia os espaços intercelulares e as trocas gasosas com o ambiente. Ao contrário, em ambientes mais secos esta sinuosidade é diminuída ou perdida. Segundo Alquini et al. (2006) a sinuosidade da parede está especialmente relacionada com o ambiente em que a folha se desenvolve. A umidade do ambiente também é reportada como importante fator que influencia na plasticidade da anatomia foliar (SAJO et al., 1995; RÔÇAS et al., 1997).

Também houve investimento em espessamento da nervura central com progressiva lignificação dos tecidos, surgimento de uma bainha de fibras no entorno dos vasos condutores de acordo com o acréscimo de irradiância.

Neste estudo, observou-se que o investimento em lignificação na nervura central foi muito mais evidente nas plantas alocadas no ambiente C, onde ocorreu também lignificação do parênquima provavelmente para sustentação destes tecidos, pois estas plantas apresentaram crescimento e investimento em espessura bem maiores.

O aumento na lignificação da nervura central é comumente relacionado às variações hídricas no ambiente (SAJO et al., 1995; RABELO et al., 2012), e também como contribuição para a maior resistência mecânica e durabilidade das folhas, e pode também reduzir as taxas de herbivoria nestas plantas (LEE et al., 2000).

A lignina é uma biomacromolécula indispensável a diversos processos biológicos das plantas, dos quais o mais importante é conferir rigidez necessária para a manutenção da verticalidade do caule e principalmente assegurar a existência de vias rápidas de circulação da água e minerais (KYTAYAMA et al., 2004).

A arquitetura molecular da lignina difere segundo a origem botânica dos táxons, entre células e até mesmo dentro da parede celular, respondendo aos efeitos abióticos e bióticos do ambiente (KYTAYAMA et al., 2004).

As descrições anatômicas de *A. edulis* estão de acordo com as características anatômicas encontradas por outros autores que trabalharam com outras espécies da família *Rubiaceae* relacionando estrutura foliar *versus* luminosidade ou sombreamento (VOLTAN, 1992; RABELO et al, 2007). Entretanto, não foram encontradas diferenças significativas entre a espessura da epiderme e da cutícula, entre as diferentes irradiâncias, neste estudo, contrariando os resultados obtidos por estes mesmos autores. Possivelmente, esta resposta possui estreita associação com as condições ambientais, sobretudo com a estação chuvosa que prevaleceu durante a maior parte do período experimental.

## 6. CONCLUSÕES

A irradiância promoveu alterações na morfologia de plantas jovens de *A. edulis*, resultando em uma resposta típica de aclimação.

De modo geral, plantas de *A. edulis* possuem maior crescimento em irradiâncias elevadas.

Plantas jovens de *A. edulis* responderam ao aumento das irradiâncias com diminuição da área foliar específica e com aumento da área foliar, do número e densidade de estômatos e espessura do mesofilo.

Plantas de *A. edulis* possuem melhores características morfológicas em ambientes de maior irradiância, justificando a classificação do marmelo como uma espécie pioneira.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, T. V.; SANT'ANNA-SANTOS, B. F.; AZEVEDO, A. A.; FERREIRA, R. S. ANATI QUANTI: software de análises quantitativas para estudos em anatomia vegetal. **Planta Daninha**, v.25, n.4, 2007.

ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. EMBRAPA, Brasília, 1998.

ALQUINI, Y; BONA, C.; BOEGER, M. R. T.; COSTA C. G.; BARRA, C. F. Epiderme cap. 3. In: **Anatomia Vegetal**. Beatriz Apezatto-da-Glória e Sandra Maria Carmello-Guerreiro (editoras), 2ª Ed. Viçosa. Ed.UFV, 2006.

ANDRADE, A. C.; FONSECA, D. M.; LOPES, R. S.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; CECON, P. R.; QUEIROZ, D. S.; PEREIRA, D. H.; REIS, S. T. Análise de crescimento do capim-elefante 'Napier' adubado e irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**., Lavras, v. 29, n. 2, p.415-423, mar./abr., 2005.

BENICASA, M. M. P. **Análise de Crescimento de Plantas (noções básicas)**. Jaboticabal. FUNEP. 42p. 2004.

BOEGER, M. R. T.; KAEHLER, M.; MELO JUNIOR, J. C. F.; GOMES, M. Z.; OLIVEIRA, L. S.; CHAVES, C. R. M.; SCHOTTZ, E. S. Estrutura foliar de seis espécies do subosque de um remanescente de Floresta Ombrófila Mista. **Hoehnea**, v.33, n.4, p. 521-531, 2006.

BOEGER, M. R. T.; POULSON, M.. Efeitos da radiação ultravioleta-B sobre a morfologia foliar de *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. (Brassicaceae). **Acta Botanica Brasilica**, v.20, n.2, p.329-338, 2006.

BOEGER, M. R. T; WISNIEWSKI, C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica) no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.26, n.1, p. 61-72, 2003.

CAMPOS, M. A. A.; UCHIDA, T. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.3, p.281-288, 2002.

CAPUZZO, J. P.; ROSSATTO, D. R. FRANCO, A. C. Differences in morphological and physiological leaf characteristics between *Tabebuia aurea* and *T. impetiginosa* is related to their typical habitats of occurrence **Acta Botanica Brasilica** v.26, n.3, p.519-526, 2012.

CASTRO, A. H. F.; ALVARENGA, A. S. Influência do fotoperíodo no crescimento inicial de plantas de confrei (*Symphytum officinale* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.26, n.1, p.77-89, 2002.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: estrutura e função dos órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 234 p., 2009.

CASTRO, E. M.; PINTO, J. E. B. P.; MELO, H. C.; SOARES, A. M.; ALVARENGA, A. A.; LIMA JUNIOR, E. C. Aspectos anatômicos e fisiológicos de plantas de guaco submetidas a diferentes fotoperíodos. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.3, p.846-850, 2005.

CLOUGH, J. M.; ALBERTE, R. S.; TEERI, J. A. Photosynthetic adaptation of *Solanum dulcamara* L. to sun and shade environments. **Plant Physiology**, v.64, p.25-30, 1979.

DELAGRANGE, S. Light and seasonal induced plasticity in leaf morphology, N partitioning and photosynthetic capacity of two temperate deciduous species. **Environmental and Experimental Botany**, v.70, p.1-10, 2011.

DICKSON, W. C. **Integrative plant anatomy**. Horcand Academy Press, San Diego, USA, 533pp, 2000.

DURIGAN, G.; MELO, A. C. G.; MAX, J. C. M.; VILAS BOAS, O.; CONTIERI, W. A.; RAMOS, V. S. **Manual para recuperação da vegetação de cerrado**. 3ª ed. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 2011.

DUZ, S.R.; SIMINSKI, A.; SANTOS, M.; PAULILO, M. T. S. Crescimento inicial de três espécies arbóreas da Floresta Atlântica em resposta à variação na quantidade de luz. **Revista Brasileira de Botânica**, v.27, n.3, p.587-596, 2004.

ESPINDOLA JUNIOR, A. Morfologia e anatomia foliar de duas espécies medicinais (*Mikania glomerata* Spreng. – Asteraceae e *Bauhinia forficata* Link. - Leguminosae) associadas à erva mate, sob diferentes condições de luminosidade. 82f. **Dissertação** (Mestrado em Botânica), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

FINEGAN, B. **Bases ecológicas de la silvicultura y la agroforesteria**. Turrialba - Costa Rica, Centro Agronômico Tropical de Investigacion y Ensenanza - CATIE, 153 p. 1992.

FRANCO, A. C.; BUSTAMANTE, M.; CALDAS, L. S.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; KOZOVITS, A. R., RUNDEL, P.; CORADIN, V. T. R. Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit. **Trees**, v.19, p.326-335, 2005.

FELFILI, J. M.; RIBEIRO, J. F.; FAGG, C. W.; MACHADO, J. B. **Recuperação de Matas de Galeria**. Planaltina: Embrapa-Cerrados, 45p. 2000.

FERNÁNDEZ, M. E.; GYENGE, J.E.; SCHLICHTER, T.M. Shade acclimation in the forage grass *Festuca pallescens*: biomass allocation and forage orientation. **Agroforestry Systems**, v.60, p.159-166, 2004.

GALMÉS, J.; FLEXAS, J.; SAVE, H.; MEDRANO, H.. Water relation and stomatal characteristics of Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits: responses to water stress and recovery. **Plant Soil**, n.290, p.139-155, 2007.

HUNT, R. **Growth Analysis - Individual Plant**. In: Thomas, B., Murphy, D. J. and Murray, D. (Eds.). Encyclopedia of applied plant sciences. 588-596. Academic Press, London, 2003.

JUSTO, C. F.; SOARES, A. M.; GAVILANES, M. L.; CASTRO, E. M. Plasticidade anatômica das folhas de *Xylopia brasiliensis* Sprengel (Annonaceae) **Acta Botanica Brasilica**, v.19, n.1, p.111-123, 2005.

KLICH, M. G. Leaf Variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. **Environmental and Experimental Botany**, v.44, p.171-183, 2000.

KNECHT, G. N.; O'LEARY, J. W. The effect of light intensity on stomate number and density of *Phaseolus vulgaris* l. leaves. **Botanical Gazette**, v.133, n.2, p.132-134, 1972.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, A. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro, Seropédica, 1997.

KRAUSE, G. H.; KOROLEVA, O. Y.; DALLING, J. W. WINTER K. Acclimation of tropical tree seedling to excessive light in simulated tree-fall gaps. **Plant, Cell and environment**, v.24, p.1345-1352, 2001.

KYTAYAMA, K.; SUZUKI, S.; HORI, M.; TAKYU, M.; AIBA, S. I.; MALAJALAP-LEE, N.; KIKUZAWA, K. On the relationships between leaf-litter lignin and net primary productivity in tropical rain forests. **Oecologia**, v.40, p.335-339, 2004.

LEE, D. W.; OBERBAUER, S. F.; JOHNSON, P.; KRISHNAPILAY, B.; MANSOR, M.; MOHAMAD, H.; YAP, S. K. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two southeast Asian *Hopea* (Dipterocarpaceae) species. **American Journal of Botany**, v.87, n.4, p.447-455, 2000.

LEE, D. W.; BASKARAN, K.; MANSOR, M.; MOHAMAD, H.; YAP, S. K. Irradiance and spectral quality affect Asian tropical rain forest tree seedling development. **Ecology**, v.77, p.568-580, 1996.

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

LIMA JUNIOR, E. C.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; VIEIRA, C. V.; BARBOSA, J. P. R. A. D. Aspectos fisioanatômicos de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 30, n.1, p. 33-46, 2006.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**, v.3, 1ª Ed. Nova Odessa-SP. Instituto Plantarum, 2009.

MATTA, A. A. **Flora médica brasiliense**. 3.ed. Manaus: Editora Valer e Governo do Estado do Amazonas, (Série Poranduba, 3), 356p., 2003.

MILANEZE-GUTIERREZ, M. A.; MELLO, J. C. P.; DELAPORTE, R. H. Efeito da intensidade luminosa sobre a morfo-anatomia foliar de *Bouchea fluminensis* (Vell.) Mold. (Verbenaceae) e sua importância no controle da qualidade da droga vegetal. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.13 n.1, p.23-33, 2003.

NERY, F. C.; ALVARENGA, A. A.; JUSTO, C. F.; CASTRO, E. M.; SOUZA, G. S.; ALVES, E. Aspectos anatômicos de folhas de plantas jovens de *Calophyllum brasiliense* Cambess. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, n.2, p.129-131, 2007.

PAIVA, E. A. S.; ISAIAS, R. M. S.; VALE, F. H. A.; QUEIROZ, C. G. S. The influence of light intensity on anatomical structure and pigment contents of *Tradescantia pallida* (Rose) Hunt. cv. *purpurea* Boom (Commelinaceae) leaves. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.46, n.4, p.617-624, 2003.

PEREIRA, D. C.; BARROS, C. F.; SCARANO, F. R. In situ variation in leaf anatomy and morphology of *Andira legalis* (Leguminosae) in two neighbouring but contrasting light environments in a Brazilian sandy coast plain. **Acta Botanica Brasilica**, v.23, n.1, p.267-273, 2009.

PEREIRA, M.S.; BARBOSA, M.R. A família Rubiaceae na Reserva Biológica Guaribas, Paranaíba, Brasil: Subfamílias Antirheoideae, Cinchonoideae e Ixoroideae. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo v. 18, n. 2, p. 305-318, 2004.

POORTER, L. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient : the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology** v.13, p.396-410, 1999.

RABELO, G. R.; KLEIN, D. E.; DA CUNHA, M. Does selective logging affect the leaf structure of a late successional species? **Rodriguésia**, v.63, n.2, p.419-427, 2012 (<http://rodriguesia.jbrj.gov.br>) Acesso em 07/05/2013.

RABELO, G. R.; KLEIN, D. E.; DA CUNHA, M. Efeitos do corte seletivo de madeira sobre a anatomia foliar de *Alseis pickelli* Pilger Et Shmale (rubiaceae) em mata de tabuleiros, Rio de Janeiro, Brasil. In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu - MG. **Anais**, SEB. 2007.

RAMOS, K. M. O.; FELFILI, J. M.; FAGG, C. W.; SILVA, J. C. S.; FRANCO, A. C. Desenvolvimento inicial e repartição de biomassa de *Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Smith, em diferentes condições de sombreamento. **Acta Botanica Brasilica**, v.18, p.351-358, 2004.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation on 376 areas. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 60, p. 57-109, 2003.

RÔÇAS, G.; SCARANO, F. R.; BARROS, C. F.; Leaf anatomy plasticity of *Alchornea triplinervia* (Euphorbiaceae) under distinct light regimes in a Brazilian montane Atlantic rain Forest. **Trees**, v.11, p.469-473, 1997.

ROCHA, A. E.; SILVA, M. F. F. **Catálogo de espécies da floresta secundária**. Belém, 2002.

RODELLA, R. A.; PIRES, A. I.; MAIMONI-RODELLA, R. C. S. Anatomia comparativa foliar e caulinar de duas espécies daninhas de *Merremia* (Convolvulaceae). **Científica**, v.21, n.2, p.345-353, 1993.

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

ROSSATTO, D. R.; KOLB, R. M. *Gochnatia polymorpha* (Less.) Cabrera (Asteraceae) changes in leaf structure due to differences in light and edaphic conditions. **Acta Botanica Brasilica**, v.24, n.3, p.605-612, 2010.

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 Botanica Brasilica**, v.24, n.3, p.640-647, 2010.

SABBI, L. DE B.; ÂNGELO, A. C.; BOEGER, M. R. Influência da luminosidade nos aspectos morfoanatômicos e fisiológicos de folhas de *Schinus terebinthifolius* Raddi (*Anacardiaceae*) implantadas em duas áreas com diferentes graus de sucessão, nas margens do Reservatório Iraí, Paraná, Brasil, **Iheringia**, Sér. Bot., Porto Alegre, v.65, n. 2, p.171-181, 2010.

SAJO, M. G., WANDERLEY, M. G. L., CARVALHO, L.M., Caracterização anatômica foliar para 14 espécies de *Xyris* L. (Xyridaceae) da Serra do Cipó, MG, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.9, p.101-114, 1995.

SARIJEVA, G.; KNAPP, M.; LICHTENTHALER, H. K. Differences in photosynthetic activity, chlorophyll and carotenoid levels, and in chlorophyll fluorescence parameters in green sun and shade leaves of *Ginkgo* and *Fagus*. **Journal Plant Physiology**, v.164, p.950-955, 2007.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; RIGONI, M. R.; SCALON FILHO, H. Crescimento inicial de mudas de *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns sob condição de sombreamento. **Revista Árvore**, v.27, n.6, p.753-758, 2003.

SCALON, S. P. Q.; SCALON FILHO, H.; RIGONI, M. R. VERALDO, F. Germinação e crescimento de mudas de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) sob condições de sombreamento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, p.652-655, 2001.

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 JUNIOR, M. C.; PEREIRA, B. A. S. + **100 árvores do Cerrado – Matas de Galeria: guia de campo**. Brasília, Editora Rede de Sementes do Cerrado, 2009.

SILVA L. M.; ALQUINI, Y.; CAVALLET, V. J. Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. **Acta Botanica Brasilica**, v.19, n.1, p.183-194, 2005.

SOUZA, G. M.; BALMANT, B. D.; VITOLO, W. F.; GOMES, K. B. P.; FLORENTINO, T. M.; CATUCHI, T. A.; VIEIRA, W. L. Estratégias de utilização de luz e estabilidade do desenvolvimento de plântulas de *Cordia superba* Cham. (Boraginaceae) crescidas em diferentes ambientes luminosos. **Acta Botanica Brasilica**, v.23, n.2, p.474-485, 2009.

STRAUSS-DEBENEDETTI, S.; BAZZAZ, F. Photosynthetic characteristics of tropical trees along successional gradients. *In* Tropical forest plant ecophysiology (S.S. Mulkey, R.L. Chazdon & A.P. Smith, eds.). Chapman & Hall, New York, p.162-186, 1996.

STRAUSS-DEBENEDETTI, S., BERLYN, G.P. Leaf anatomical responses to light in five tropical Moraceae of different successional status. **American Journal of Botany** v.81, p.1582-1591, 1994.

THOLEN, D.; BOOM, C.; ZHU, X. Opinion: Prospects for improving photosynthesis by altering leaf anatomy. **Plant Science** v.197, p.92-101, 2012.

VALLADARES, F.; SANCHES-GOMEZ, D.; ZAVADA, M. A. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between evolutionary concept and its ecological applications. **Journal of Ecology**, v.94, p. 1103-1116, 2006.

VIEIRA, R. F.; MARTINS, M. V. M. Recursos genéticos de plantas medicinais do cerrado: uma compilação de dados. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.3, n.1, p.13-36, 2000

VOGELMANN, T. C.; MARTIN, G. The functional significance of palisade tissue: Penetration of directional vs diffuse light. **Plant Cell Environ**, v.16, p.65-72, 1993.

VOLTAN, R. B. Q.; FAHL, J. I.; CARELI, M. L. Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.4, n.2, p.99-105, 1992.

ZAPPI, D. *Alibertia edulis* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2013. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB20682>). Último acesso em 08/05/2013.

ZAPPI, D. C.; SEMIR, J.; PIEROZZI, N. I. *Genipa infundibuliformis* sp. nov. and notes on *Genipa americana* (Rubiaceae). **Kew Bulletin**, v.50, n.4, p.761-771,1995.

## CAPÍTULO II

### **CARACTERIZAÇÃO FOTOSSINTÉTICA DE PLANTAS JOVENS DE *Alibertia edulis* RICH. CRESCIDAS SOB DIFERENTES NÍVEIS DE IRRADIÂNCIAS**

## RESUMO

No Cerrado, as plantas estão constantemente submetidas às condições de estresse ambiental, pois estão expostas às altas irradiâncias que são comuns neste domínio, além de passarem por períodos de escassez de água, altas temperaturas, entre outros. Entre todos estes fatores apontados a luz é um fator que afeta estas plantas independente do período do ano. O objetivo deste estudo foi caracterizar a capacidade fotossintética de plantas de *Alibertia edulis* submetidas à irradiâncias contrastantes. A caracterização do efeito da irradiância nos processos fotossintéticos das plantas de *A. edulis* foi realizada em quatro condições de irradiância, sendo: 0,60 (ambiente A), 4,28 (ambiente B), 9,88 (ambiente C) e 34,38 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (ambiente D) e em quatro tempos de implantação: aos 10, 40, 70 e 126 dias. Foram avaliadas trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e teores de pigmentos cloroplastídicos. Os resultados obtidos demonstram que as diferentes irradiâncias no ambiente de crescimento promoveram ajustamento fisiológico nas plantas jovens de *A. edulis*. As plantas jovens de *A. edulis* crescidas no ambiente A foram as que tiveram desempenho fotossintético menor, quando comparadas aos demais tratamentos. As maiores taxas fotossintética, transpiratória, condutância estomática, rendimento quântico efetivo, transporte de elétrons e dissipação da energia em forma de calor foram observadas nos ambientes C e D. A irradiância também afetou o conteúdo de pigmentos cloroplastídicos, promovendo degradação das clorofilas e carotenoides em plantas jovens de *A. edulis* sem, contudo, comprometer o desempenho fotossintético destas plantas sob altas irradiâncias. Conclui-se, portanto, que plantas jovens de *A. edulis* possuem maior desempenho fotossintético em ambientes de maior irradiância demonstrando, assim, o potencial desta espécie em se estabelecer em áreas abertas.

**Palavras-chave:** fotossíntese, fluorescência da clorofila *a*, pigmentos cloroplastídicos, folhas de sol e de sombra.

## ABSTRACT

In the Savanna, the plants are constantly submitted to environmental stress conditions, because they are exposed to high irradiance that are common in this area. Besides to pass periods of water restriction, high temperatures, among others. The light is a factor that affects these plants independently of the time of year. This study was carried out to characterize the photosynthetic capacity of *Alibertia edulis* plants submitted to contrasting irradiance. Irradiance effects on the photosynthetic processes of *A. edulis* plants was performed in four irradiance conditions, such as 0.60, 4.28, 9.88 e 34.38 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> and at 10, 40, 70 and 126 days after treatment. We evaluated gas exchange, fluorescence of chlorophyll a and pigment contents. The results show that different irradiances in environment of growth promoted physiological adjustment in young plants of *A. edulis*. Plants of *A. edulis* grown in an A environment shown lower photosynthetic performance when compared to the other treatments. The major photosynthetic rates, transpiration, stomatal conductance, effective quantum yield, electron transport and dissipation of energy as heat were observed in an A environment. Irradiance also affected the chloroplastid pigment content , promoting degradation of chlorophylls and carotenoids in young plants of *A. edulis*, but without compromising the photosynthetic performance of these plants at high irradiances. However, it is concluded that young plants of *A. edulis* have major photosynthetic performance in environments with high irradiance, thus demonstrating the potential of this species to establish in open areas.

**Key-words:** photosynthesis, fluorescence of chlorophyll *a*, chloroplastidic pigments, sunny and shade leaves.

## 1. INTRODUÇÃO

O Cerrado possui clima sazonal, com verões chuvosos e invernos secos, média de precipitação de 1500 mm (WALTER, 2006) e temperaturas que variam de 22°C a 27°C (KLINK e MACHADO, 2005). Esse domínio é um complexo vegetacional, de formações que variam entre savanas e formações florestais (COUTINHO, 2006). Segundo Rossatto et al (2010), a disponibilidade de luz e o regime de chuvas influenciam marcadamente o estabelecimento e sobrevivência de plantas na savana. Possui alta biodiversidade e, de acordo com Mendonça et al. (1998), o número de plantas vasculares é superior àquele encontrado na maioria das regiões do mundo. Existe grande diversidade de habitats e alternância de espécies e, além destes aspectos que contribuem para a diversificação do ambiente, o Cerrado apresenta um endemismo de 44% da flora (KLINK e MACHADO, 2005).

A compreensão dos processos fisiológicos envolvidos nos mecanismos de adaptação e aclimação de plantas sob condições de estresses ambientais é de grande importância para a agricultura e o meio ambiente (LARCHER, 2006; TAIZ e ZEIGER, 2013). Dessa forma, as espécies arbóreas brasileiras têm despertado o interesse de vários pesquisadores em demonstrar comportamentos adaptativos às condições do ambiente (NASCIMENTO et al., 2011).

Acredita-se que as espécies adaptadas à sombra apresentam metabolismo com menor flexibilidade de resposta às mudanças no ambiente, enquanto as espécies exigentes em luz apresentam maior plasticidade e se aclimatam rapidamente às mudanças no regime de luz (DOS ANJOS, 2010). Entretanto, já está comprovado que essas alterações não estão somente relacionadas aos grupos sucessionais e sim, à luz que está chegando até as plantas (VALLADARES et al., 2006).

Plantas exigentes em irradiâncias elevadas e plantas tolerantes à sombra possuem características distintas entre si, apresentando diferenças no tamanho e

espessamento das folhas, conteúdo cloroplastídico, entre outros (LICHTENTHALER et al., 2007; SILVA, et al., 2010; NERY et al., 2011; DOS ANJOS, 2012).

Outra característica interessante é a capacidade da mesma planta apresentar folhas com capacidade fotossintéticas diferentes, chamadas de folhas de sol e folhas de sombra. Isto ocorre devido as diferenças de intensidade de luz que chega até esta planta, seja por sombreamento por outras plantas, por autossombreamento, ou por aberturas de clareiras nas formações florestais (DIAS et al., 2007), proporcionando assim eficiência na captura de luz para os processos fotossintéticos.

Plantas de todos os estágios sucessionais se adaptam continuamente às alterações no regime de luz (SILVA et al., 2010). Em plantas submetidas aos diferentes regimes de luz, a indução de fotossíntese ocorre em minutos (RIJKERS et al., 2000), enquanto ajustes fotossintéticos podem levar dias (CAI et al., 2005) e alterações morfológicas são observadas após semanas ou meses.

As plantas, além das modificações fisiológicas e anatômicas, possuem outros mecanismos de defesas como a dissipação da energia na forma de calor e a emissão de fluorescência (WILHELM e SELMAR, 2011). O padrão de emissão de fluorescência pela clorofila é indicador sensível da integridade e da funcionabilidade do aparelho fotossintético (LAGE-PINTO et al., 2008).

A fluorescência da clorofila *a* é utilizada para avaliar a eficiência fotossintética, mais especificamente a capacidade de absorção da energia luminosa pelo fotossistema II (FSII) e a transferência na cadeia de transporte de elétrons (KRAUSE e WEIS, 1991), além de avaliações de trocas gasosas, que fornecem informações a respeito do processo de assimilação do CO<sub>2</sub> na fase bioquímica da fotossíntese, podem ser utilizados para determinar o efeito do estresse sobre o metabolismo fotossintético.

Entretanto, mesmo possuindo estratégias de proteção, as plantas podem sofrer fotoinibição quando expostas à forte radiação (WILHELM e SELMAR, 2011). Quando uma quantidade excessiva de energia fotoquímica incide sobre a folha, há sobrecarga dos processos fotossintéticos, resultando não só em baixa utilização quântica, mas também em um baixo rendimento assimilatório promovendo a fotoinibição (LONG et al., 1994; ARAÚJO e DEMENICIS, 2009).

Existem dois tipos de fotoinibição: a dinâmica e a crônica (TAIZ e ZEIGER, 2013). A fotoinibição dinâmica é caracterizada pelo decréscimo na eficiência quântica pelo desvio de energia em forma de calor (KRAUSE et al., 1995). Após cessar a condição estressante a planta recupera sua eficiência quântica. A fotoinibição crônica se

caracteriza por danos ao sistema fotossintético e diminuição da eficiência quântica e da taxa fotossintética máxima (GUO et al., 2006). Ela está associada ao dano da proteína D1 do centro de reação do FSII e ao contrário da fotoinibição dinâmica, tais efeitos têm duração relativamente longa, persistindo por semanas e meses (ARAÚJO e DEMENICIS, 2009).

Objetivou-se com este estudo, caracterizar a eficiência fotossintética de plantas jovens de *Alibertia edulis* submetidas aos diferentes níveis de irradiância no ambiente de crescimento e ainda correlacionar as respostas fotossintéticas às modificações morfoanatômicas ocorridas nestas plantas durante a imposição dos tratamentos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Local de estudo

O experimento foi conduzido na área experimental do Laboratório de Ecofisiologia e Produtividade Vegetal do Instituto Federal Goiano – Câmpus Rio Verde. O estudo foi realizado tendo como fonte de variação a irradiância no ambiente de crescimento em plantas jovens de *A. edulis*.

O clima do município é tropical úmido (Aw) de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por inverno seco, de maio a setembro, e verão chuvoso, de outubro a abril. A temperatura média anual varia de 15°C a 30°C e a precipitação média anual de 1500mm a 2000 mm (SEVERIANO et al., 2011).

### 2.2. Condições experimentais

Todos os detalhes das condições experimentais quanto a monitoramento climático do ambiente, obtenção das plantas e implantação do experimento foram descritos no Capítulo 1 desta dissertação.

Foram realizadas avaliações de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* aos 10, 40, 70 e 126 dias de implantação do experimento, a fim de analisar o comportamento fisiológico frente às irradiâncias estabelecidas. Após dez dias de instalação do experimento foi realizada a primeira avaliação e, as demais, em intervalos

de sete dias ou assim que possível de acordo com as condições meteorológicas, pelas necessidade de ausência de nebulosidade durante as avaliações.

### 2.3. Detalhamento dos procedimentos para avaliação das plantas

#### 2.3.1. Avaliação das trocas gasosas

As trocas gasosas das plantas foram avaliadas para registro das taxas fotossintética ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e transpiratória ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), da condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), e da relação entre a concentração interna e externa de  $\text{CO}_2$  ( $C_i/C_a$ ). Estas avaliações foram realizadas utilizando um analisador de gases no infravermelho portátil (IRGA) modelo LI6400 (Li-Cor, Nebraska, EUA), incidindo a densidade de fluxo de fótons igual a  $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

#### 2.3.2. Avaliação da fluorescência da clorofila *a*

A fluorescência da clorofila *a* foi avaliada utilizando um fluorômetro portátil modulado, modelo MINI-PAM (Walz, Effeltrich, Germany), equipado com pinça especial para suporte da folha modelo 2030-B (BILGER et al., 1995; RASCHER et al., 2000). Foram determinadas a fluorescência inicial ( $F_0$ ), a fluorescência máxima ( $F_m$ ), o rendimento quântico potencial ( $F_v/F_m = \text{Fluorescência variável} / \text{Fluorescência máxima}$ ), o rendimento quântico efetivo ( $\Delta F/F_m'$ ), a dissipação fotoquímica ( $q_p$ ), a dissipação não fotoquímica (NPQ) e a taxa de transporte de elétrons (ETR). O rendimento quântico potencial do fotossistema II (VAN KOOTEN e SNEL, 1990) foi calculado após 30 minutos de adaptação ao escuro utilizando a equação  $F_v/F_m = (F_m - F_0) / F_m$ , em que  $F_0$  é o rendimento da fluorescência mínima, excitado por uma luz vermelha modulada de baixa intensidade ( $0,03 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), e  $F_m$  é a fluorescência máxima obtida pela aplicação de um pulso de 0,8s de luz actínica saturante ( $>6000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). O rendimento quântico efetivo do fotossistema II (GENTY et al., 1989) foi determinado por meio da sobreposição do pulso de saturação em folhas previamente adaptadas à luz ambiente, sendo calculado como  $\Delta F/F_m' = (F_m' - F) / F_m'$ , onde  $F$  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  $\text{ETR} = \Delta F/F_m' \times \text{DFP} \times 0,5 \times 0,84$ ,

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 E 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  $\text{NPQ} = (F_m - F_m') / F_m'$  (BILGER e BJORKMAN, 1990).

### 2.3.3. Avaliação do conteúdo de clorofilas e carotenoides

O conteúdo de pigmentos cloroplastídicos foi determinado por meio da extração com dimetilsulfóxido (DMSO), mediante ajustes da metodologia descrita por Kuki et al. (2005). Fragmentos foliares de 5 mm de diâmetro foram incubados em 5 mL de DMSO em tubos vedados e envolvidos com papel alumínio por um período de 24 horas, sob temperatura de 65°C em banho-maria. Posteriormente a absorbância do extrato foi avaliada por meio do espectrofotômetro UV-VIS, modelo Evolution 60S (Thermo Fisher Scientific, Madison, USA). Os comprimentos de ondas, as equações para o cálculo das concentrações de clorofila *a*, *b* e carotenoides foram baseados no trabalho de Wellburn (1994) e a degradação da clorofila foi avaliada pelo índice de feofitinação ( $IF = A_{435}/A_{415}$ ), segundo Ronen e Galun (1984).

## 3. DELINEAMENTO E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso em esquema fatorial 4x4, com quatro níveis de irradiância e quatro tempos de avaliação. Foram utilizadas 10 repetições.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), as médias comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) e análise de correlação linear de Pearson ( $p < 0,05$ ), 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).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Monitoramento climático

Os dados climáticos relativos ao período do experimento são mostrados na Tabela 2 (Capítulo 1 desta dissertação) e caracterizam o período chuvoso. Os dados da temperatura máxima e mínima e umidade relativa do ar em cada ambiente do experimento são expressos na Figura 2 (Capítulo 1 desta dissertação).

Quanto à temperatura e umidade relativa do ar dentro dos ambientes de crescimento não foram observados diferenças entre os ambientes A, B e C provavelmente devido à utilização do sombrite em cada estrutura (Figura 2 capítulo 1 desta dissertação). Porém, a umidade relativa do ar e as temperaturas do ambiente D apresentaram maior oscilação, sendo menores os valores para umidade e maiores valores para temperatura máxima (Figura 2 capítulo 1 desta dissertação).

Temperatura mínima para todos os quatro ambientes de crescimento se manteve em torno de 20°C. A temperatura máxima para os ambientes A, B e C variou entre 23,5 a 33,5°C. A umidade relativa nestes ambientes variou entre 64,5 e 97,2%.

No ambiente D, foram verificadas temperaturas máximas de até 37°C no mês de novembro de 2012 e no mês de fevereiro de 2013 com umidade relativa do ar de 57% para o mesmo período. Nos demais meses, a temperatura máxima variou entre 25,5 a 34,9°C. Já a umidade relativa do ar variou entre 57,8 e 85%.

### 4.2. Avaliação das trocas gasosas

Verificou-se para os resultados das trocas gasosas interação significativa entre a irradiância e os dias de tratamento nos diferentes ambientes de crescimento.

Houve incremento nos valores de taxa fotossintética durante o período de crescimento nas diferentes irradiâncias, com exceção nas plantas crescidas no ambiente A, em que as taxas fotossintéticas se mantiveram baixas durante todo o período experimental (Figura 1A e Figura 2A).

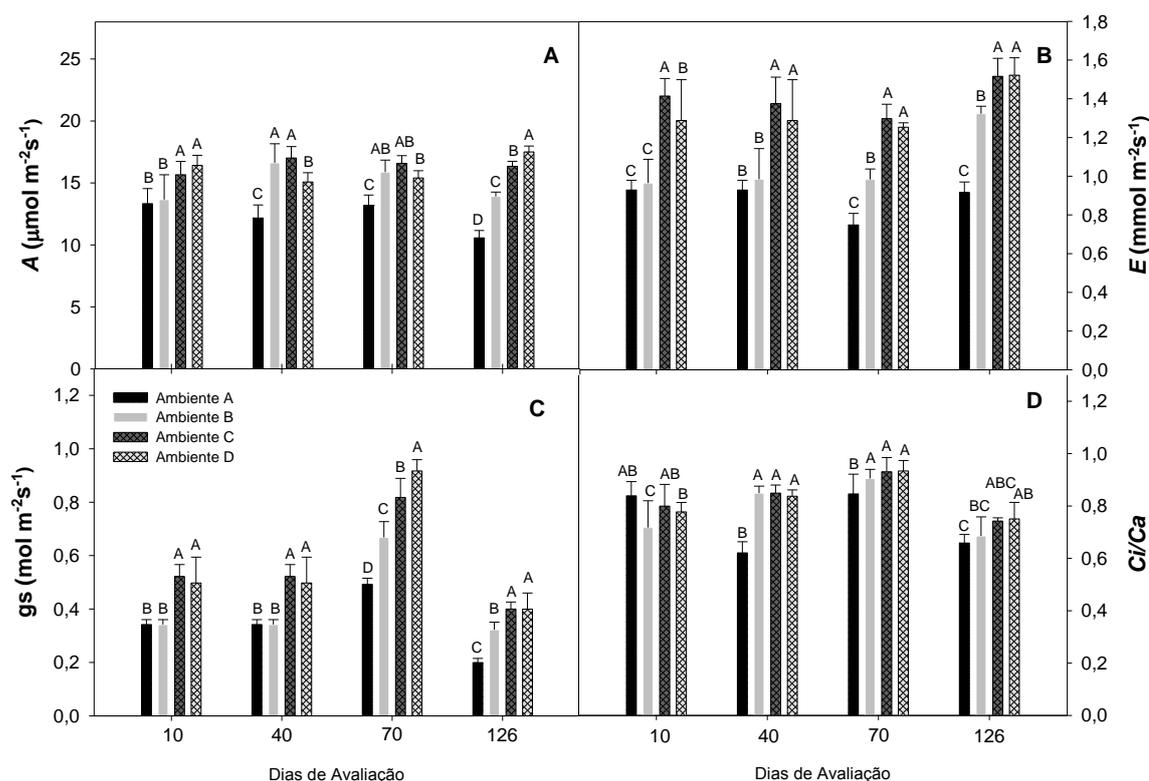
Variações significativas da taxa fotossintética entre os ambientes B e C foram observadas em alguns dias de avaliação. No entanto, de modo geral, as maiores taxas fotossintéticas foram observadas em ambientes com irradiância maiores que 9.88 mol

$\text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$ . Assim, foram observadas taxas fotossintéticas maiores que  $17 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  em plantas crescidas sob irradiância de  $34.38 \text{ mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , enquanto as plantas crescidas sob irradiância de  $0.60 \text{ mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , estas taxas não foram superiores a  $13,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Seguindo a mesma tendência da taxa fotossintética, as menores taxas transpiratórias (Figura 1B e Figura 2B) e condutância estomática (Figura 1C e Figura 2C) foram observadas nas plantas crescidas no ambiente A.

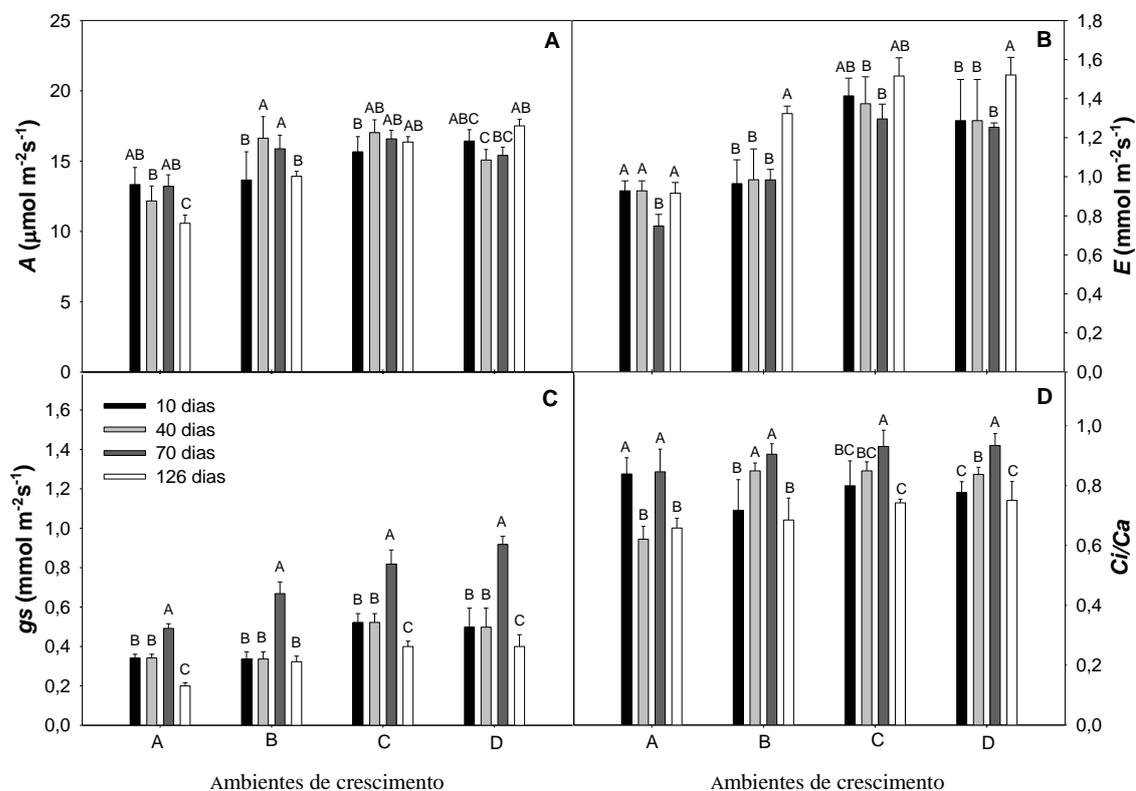
Ocorreram variações significativas nas taxas transpiratórias e condutância estomática entre os ambientes B, C e D nos dias de avaliação. No entanto, as maiores taxas transpiratórias e condutância estomática foram observadas em plantas crescidas nos ambientes C e D.

A razão Ci/Ca variou tanto em função da irradiância no ambiente de crescimento quanto em função dos dias de avaliação (Figura 1D e Figura 2D). Em todos os tratamentos a maior razão Ci/Ca foi verificada aos 70 dias de avaliação. Já os menores valores da Ci/Ca foram observados aos 126 dias.



**Figura 1.** A) Taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), B) Taxa transpiratória ( $E - \text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), C) Condutância estomática ( $g_s - \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e D) relação Ci/Ca em plantas jovens de *Alibertia edulis* em função dos dias de imposição dos tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra, não

diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).



**Figura 2.** A) Taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A$  -  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ), B) Taxa transpiratória ( $E$  -  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), C) Condutância estomática ( $g_s$  -  $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e D) relação  $C_i/C_a$  em plantas jovens de *Alibertia edulis* em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).

#### 4.3. Avaliação da fluorescência da clorofila *a*

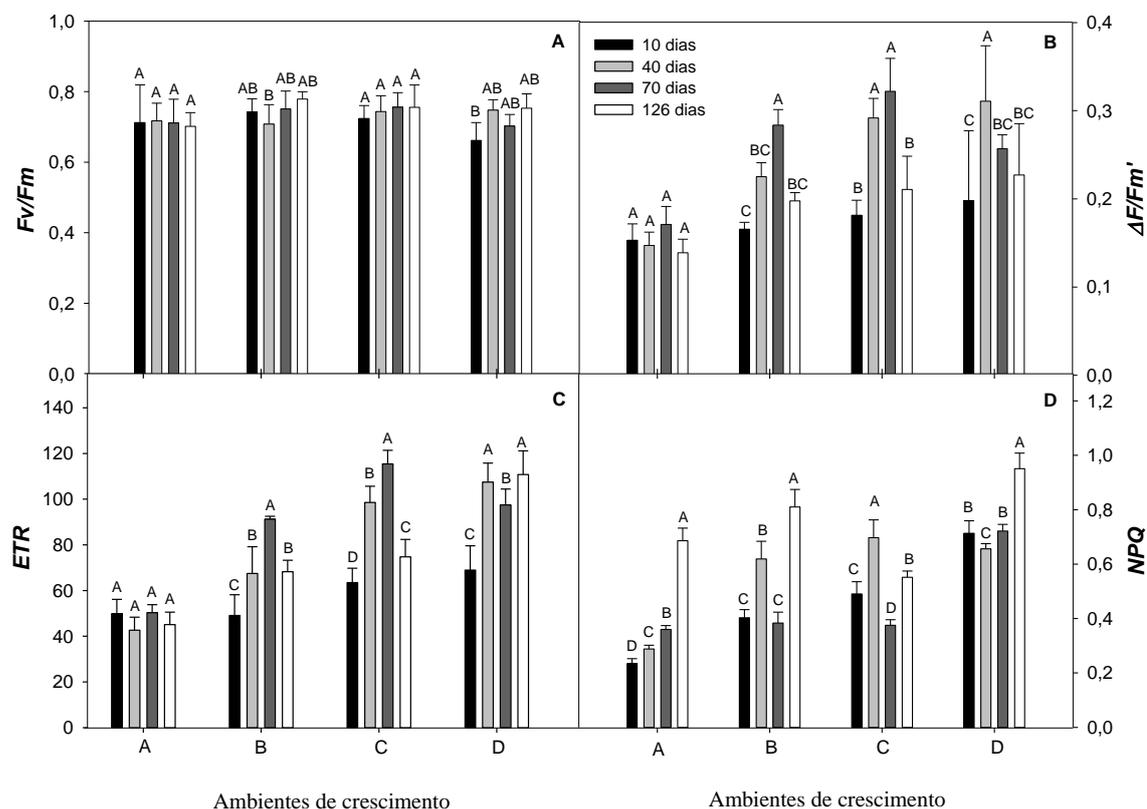
Foram observadas alterações nas características da fluorescência da clorofila *a* em função da interação entre as irradiâncias e os dias de tratamento nos diferentes ambientes de crescimento.

Não houve diferença entre os valores do rendimento quântico máximo do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) tanto em função da irradiância no ambiente de crescimento quanto em função dos dias de avaliação, em que foram observados valores médios de 0,73 (Figura 3A e Figura 4A).

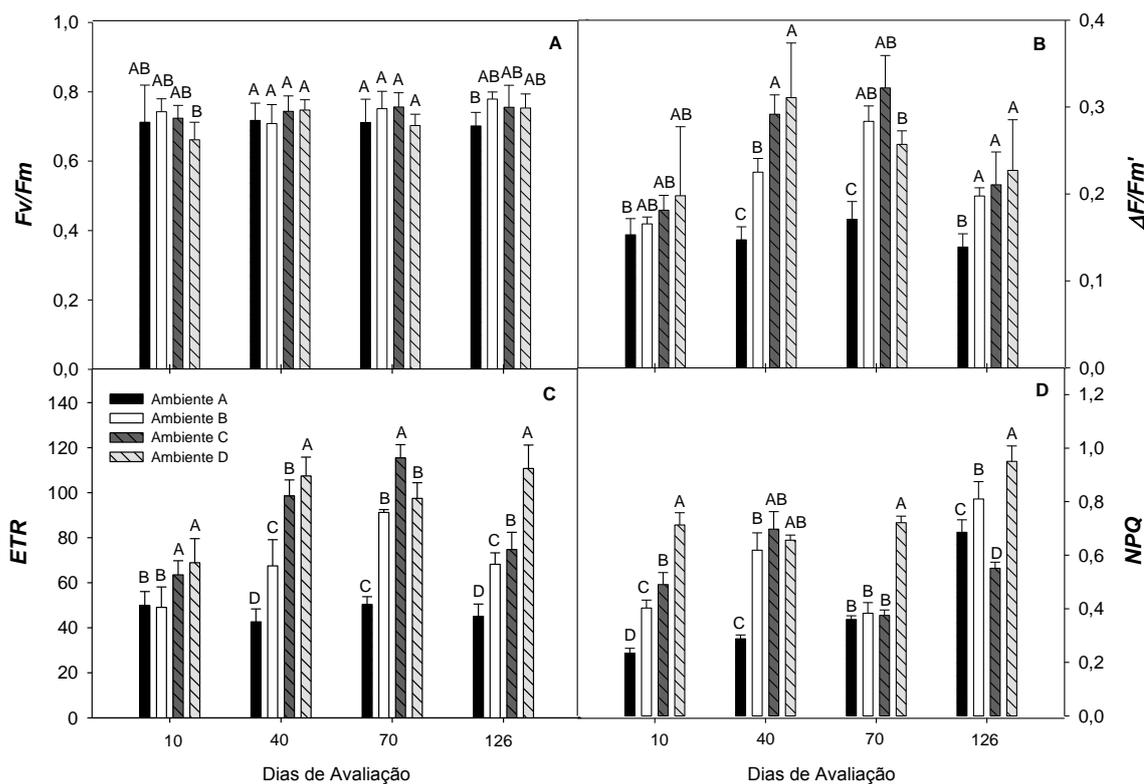
A avaliação adicional da razão  $F_v/F_m$  realizada aos 126 dias, às 8h00min e repetidas às 12h00min do mesmo dia e novamente às 08h00min do dia seguinte,

mostrou recuperação dos valores de  $F_v/F_m$  para plantas crescidas em todas as irradiâncias (Tabela 1).

De modo geral, nas plantas crescidas em ambientes de maior irradiância foram observadas as maiores razão  $\Delta F/F_m'$  (Figura 3B), ETR (Figura 3C) e NPQ (Figura 3D) e em todos os dias avaliados (Figura 4B a D).



**Figura 3.** 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 *Alibertia edulis* em função da irradiância de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).



**Figura 4.** 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 *Alibertia edulis* em função dos dias de imposição dos tratamentos. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).

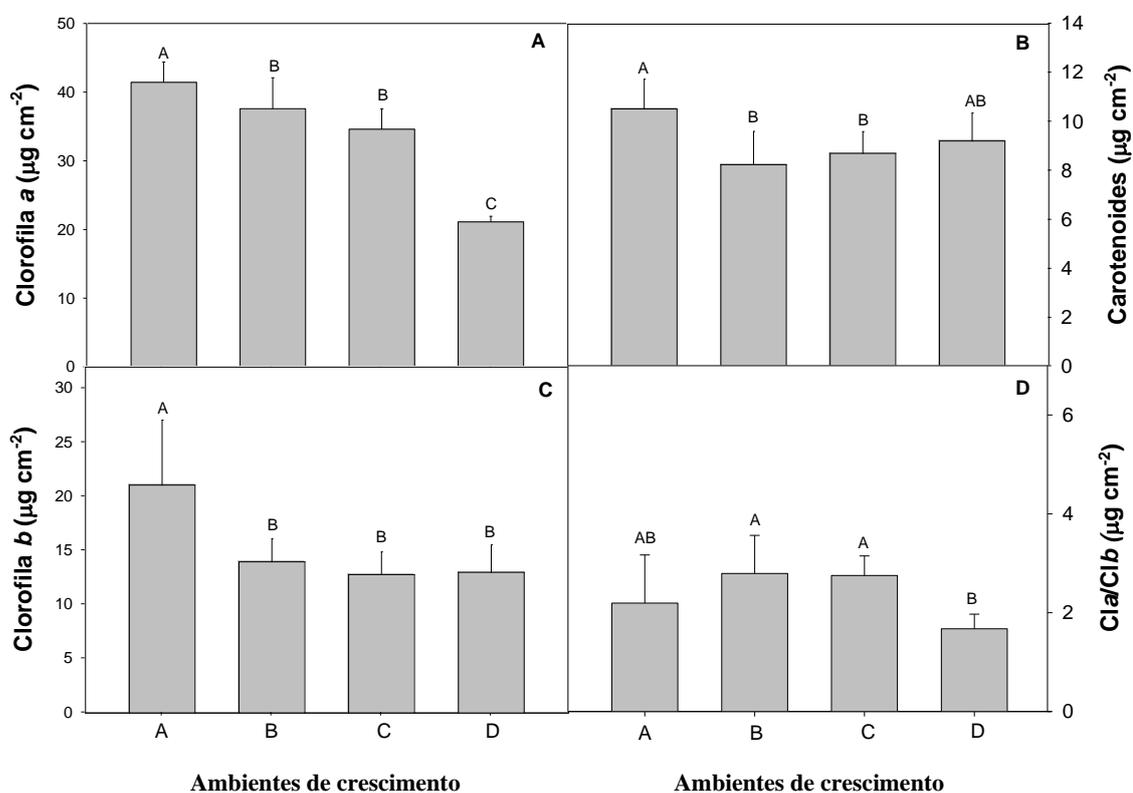
**Tabela 1.** Razão  $F_v/F_m$  de plantas jovens de *Alibertia edulis* submetidas aos diferentes níveis de irradiância no ambiente de crescimento avaliadas às 8h00min, às 12h00min, horário de maior intensidade luminosa e no dia seguinte às 8h00min. Os dados são médias e desvio padrão de ( $n = 10$ ), ns = não significativo.

Ambientes de crescimento	Variáveis analisadas		
	8h00min.	12h00min.	8h00min.
A	0,75 ± 0,05 ns	0,75 ± 0,05 ns	0,77 ± 0,03 ns
B	0,78 ± 0,03 ns	0,77 ± 0,01 ns	0,78 ± 0,02 ns
C	0,75 ± 0,08 ns	0,76 ± 0,02 ns	0,78 ± 0,01 ns
D	0,77 ± 0,02 ns	0,73 ± 0,04 ns	0,74 ± 0,02 ns
CV (%)	4,91		

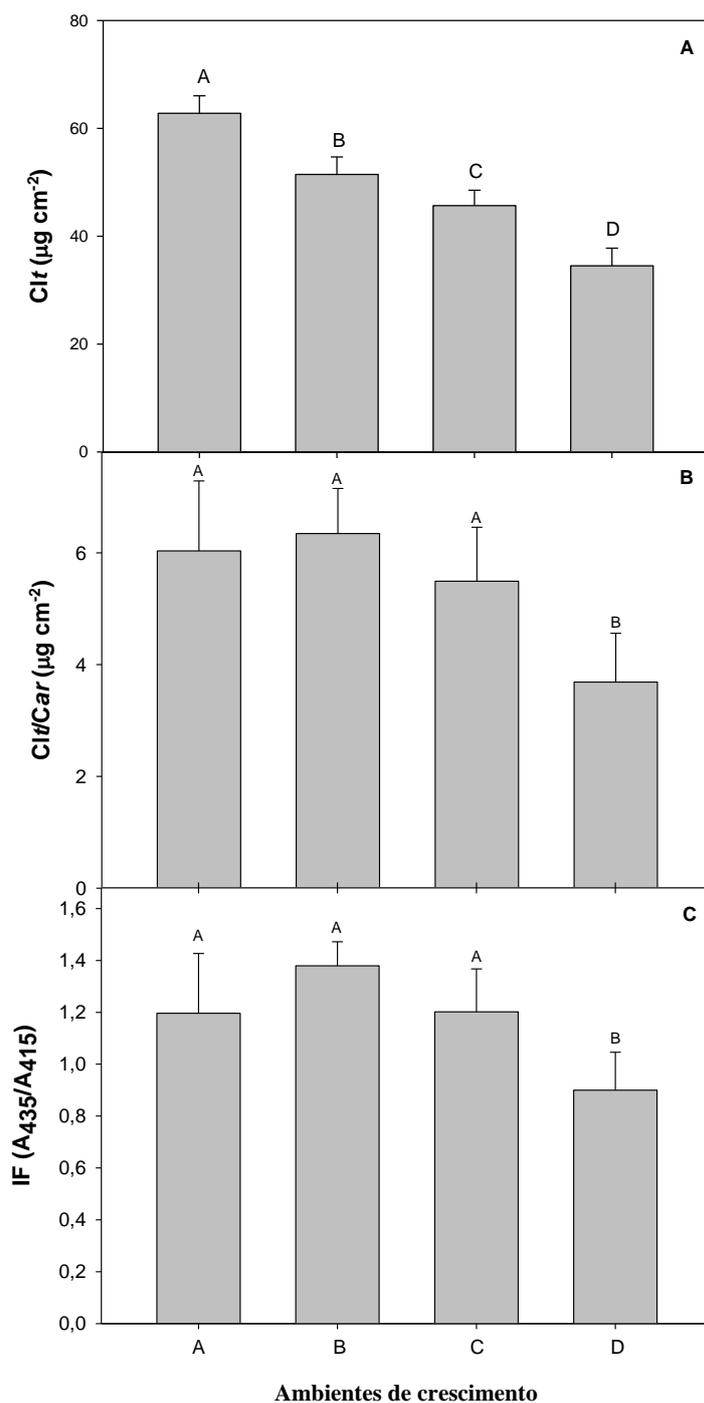
#### 4.4. Avaliação do conteúdo de clorofilas e carotenoides

A irradiância no ambiente de crescimento promoveu efeito significativo em todas as características relacionadas aos pigmentos cloroplastídicos das plantas jovens de *A. edulis*, exceto para a razão clorofila *a/b* (Figura 5 e Figura 6).

O conteúdo de clorofila *a* (Figura 5A), clorofila *b* (Figura 5C), carotenoides (Figura 5B), clorofila total (Figura 6A), e o índice de feofitinação (Figura 6C) reduziram com o aumento da irradiância. A razão clorofila *a/b* (Figura 5D) não diferiu entre as plantas crescidas em todos os ambientes testados. A razão clorofilas totais/carotenoides manteve médias iguais para os ambientes A, B e C, apresentando decréscimo em plantas crescidas no ambiente D (Figura 6B).



**Figura 5.** A) Conteúdo de clorofila *a*, B) Carotenoides, C) Clorofila *b* e D) Razão clorofila *a/b* de plantas jovens de *Alibertia edulis* submetidas as condições crescentes de irradiância no ambiente de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).



**Figura 6.** A) Conteúdo de clorofila total, B) Razão clorofilas/carotenoides (Car/Clt) e C) Índice de feofitinação (IF) de plantas jovens de *Alibertia edulis* submetidas a condições crescentes de irradiância no ambiente de crescimento. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados são médias de ( $n = 10$ ).

## 5. DISCUSSÃO

Em estudos realizados com plantas sob diferentes intensidades ou duração de radiação é comum observar o efeito destes fatores interferindo de maneira substancial em algumas características fisiológicas das plantas, dentre as quais, pode-se citar a fotossíntese, a condutância estomática e teores de clorofila (CASTRO et al., 2005; MORAIS et al., 2007).

Houve incremento nos valores de taxa fotossintética durante o período de exposição às diferentes irradiâncias, exceto para o ambiente A que em todo o período apresentou as menores taxas comparadas aos demais tratamentos. Este comportamento já era esperado por se tratar de uma espécie classificada como pioneira de acordo com a classificação quanto ao grupo sucessional (ZAPPI, 2013). No presente estudo, as taxas fotossintéticas das plantas de *A. edulis* foram maiores que os valores encontrados para o cafeeiro, espécie de grande valor econômico da família Rubiaceae (DAMATTA e RAMALHO, 2006), em plantas do Cerrado segundo Palhares et al. (2010) e valores se aproximando das taxas fotossintéticas das espécies exigentes em luz, *Pseudobombax grandiflorum* e *Schinus terebinthifolia*, encontrados por Dos Anjos (2010).

A transpiração, condutância estomática, e a relação entre a concentração interna e externa de CO<sub>2</sub>, também apresentaram comportamentos semelhantes à taxa fotossintética nas plantas crescidas sob as diferentes irradiâncias. Os menores valores destas características foram observados nas plantas crescidas no ambiente A quando comparadas aos demais tratamentos.

A sobrevivência de plantas em ambientes estressantes, inclusive sob estresse luminoso, no geral, está relacionada ao ajustamento fisiológico nestes ambientes. Este processo tem forte relação com investimento na espessura foliar e incremento na densidade estomática, permitindo aumento nas taxas fotossintéticas (ROSSATTO e KOLB, 2010; KIM et al., 2011; THOLEN et al., 2012).

A ocorrência de ajustamento fisiológico foi verificada nas plantas de *A. edulis*, neste estudo, crescidas nos ambientes de diferentes irradiâncias. Nestas plantas, observou-se aumento dos valores das taxas fotossintéticas e demais características das trocas gasosas e ainda, aumento na eficiência fotoquímica e demais características da fluorescência da clorofila *a* na medida em que a irradiância no ambiente de crescimento foi aumentada. Corroborando com estes dados, também foi observado ajustamento

morfológico mediante o aumento do mesofilo, do índice estomático e densidade estomática em plantas crescidas em ambientes de crescente irradiância (capítulo 1, desta dissertação). Além disso, constatou-se a correlação positiva entre aumento da taxa fotossintética com aumento da espessura do mesofilo (0,75%  $p < 0,01$ ), com o aumento do índice estomático (0,67%  $p < 0,01$ ) e com aumento da densidade estomática (0,53%  $p < 0,01$ ). Também foram observadas correlações positivas entre aumento do índice estomático com o aumento das taxas transpiratórias (0,68% ( $p < 0,01$ )) e aumento da condutância estomática (0,66% ( $p < 0,01$ )). Segundo Rossatto et al. (2010), maiores índice e densidade estomática explicariam as maiores taxas transpiratória e de condutância estomática em plantas cultivadas sob altas irradiâncias.

O período que compreendeu o experimento foi caracterizado por chuvas e umidade relativa alta, sobretudo nos ambientes com menores irradiâncias. Por outro lado, temperaturas levemente mais elevadas e, menor umidade relativa, foram observadas no ambiente D. Em ambientes de maior temperatura e menor umidade relativa normalmente se observa menores taxas fotossintéticas e taxas transpiratórias em função do controle estomático (PRADO et al. 2004; LOBOS et al., 2012). Entretanto, neste estudo, a irradiância foi o fator mais determinante nas respostas fisiológicas das folhas de plantas de marmelo, tendo em vista que apesar da maior temperatura e menor umidade relativa do ar, observou-se aumento na taxa fotossintética e nas demais características justamente nas plantas crescidas sob maior irradiância no ambiente de crescimento.

Silva et al. (2010) em estudos com murici, *Byrsonima crassifolia*, espécie nativa e também classificada como pioneira, encontraram resultados semelhantes ao do presente estudo, onde estas plantas apresentaram maiores taxas de fotossíntese, transpiração e condutância estomática no período chuvoso.

As menores taxas de  $A$ , nos ambientes de menores irradiâncias observados neste estudo, corroboram com a hipótese de que a manutenção de altas taxas fotossintéticas em ambientes com baixa disponibilidade de luz não representa vantagem para a planta exigente em luz em razão dos gastos energéticos envolvidos na manutenção do aparato bioquímico e, por outro lado, esta resposta demonstra a capacidade desta espécie para se ajustar aos diferentes regimes de luz (DOS ANJOS, 2010). Maior capacidade em ajustar suas taxas fotossintéticas é uma vantagem para espécies como *A.edulis* que crescem em bordas de mata ou em clareiras e que em algum momento poderão ser sombreadas por outras plantas com adensamento da vegetação.

Os valores obtidos nas avaliações de fluorescência da clorofila *a*, acompanham o comportamento já observado nas avaliações de trocas gasosas. De acordo com os resultados obtidos neste trabalho os diferentes níveis de irradiância alteraram algumas características da fluorescência da clorofila *a*, entre elas,  $\Delta F/Fm'$ , ETR e NPQ. Para a razão  $Fv/Fm$  os diferentes níveis de irradiância não afetaram seu comportamento.

A razão  $Fv/Fm$  é utilizada para estimar os efeitos da irradiância sobre a integridade do fotossistema II e os valores podem variar entre 0,75 a 0,85 em condições não estressantes (RONQUIM et al., 2009). Já o decréscimo na  $Fv/Fm$  é indicativo de danos ao aparato fotossintético (ARAÚJO e DEMINICIS, 2009). Os valores obtidos neste estudo, em todos os ambientes de crescimento, estiveram sempre inferiores ao considerado ótimo na literatura. Entretanto considerando a estabilidade dos valores ao longo do período experimental entre as diferentes irradiâncias de crescimento, provavelmente estes são valores próprios para a espécie em estudo, não caracterizando necessariamente fotoinibição. Esta hipótese foi confirmada nas avaliações realizadas sequencialmente pela manhã, meio-dia e na manhã do dia seguinte, em que os valores da razão  $Fv/Fm$ , não demonstram variações.

Os valores de  $\Delta F/Fm'$ , ao final do experimento diferiram somente em plantas crescidas no ambiente A, menor irradiância. Nas plantas dos demais ambientes, as médias foram iguais entre si, porém maiores se comparadas ao tratamento de  $0.60 \text{ mol m}^{-2}\text{d}^{-1}$ . O aumento da  $\Delta F/Fm'$ , ETR e NPQ, em função do aumento da irradiância confirmam a ocorrência de ajustamento fisiológico nestas plantas. Se a energia luminosa em excesso não for dissipada com segurança este excesso poderá levar à produção de espécies reativas de oxigênio (DAI et al., 2009; LI et al., 2009), produzindo elétrons em excesso, afetando a atuação do  $\text{NADP}^+$  como dreno de elétrons (LI et al., 2009).

O aumento da energia constatado pelo aumento do NPQ normalmente é observado em plantas sob alta irradiância, que necessariamente não caracteriza situação estressante, tendo em vista que não foi observado diminuição de  $\Delta F/Fm'$ . O NPQ é um mecanismo de proteção que minimiza a formação de espécies reativas de oxigênio e seu efeito deletério no aparato fotossintético (DOS ANJOS et al., 2012).

A capacidade de dissipação térmica do excesso de radiação luminosa absorvida é importante parâmetro nos estudos das espécies principalmente daquelas a serem utilizadas na ocupação de áreas expostas a alta irradiância, como ocorre em áreas degradadas (DAI et al., 2009; DOS ANJOS et al., 2012), tendo função de manutenção

do funcionamento do FSII dissipando o excesso de irradiância na forma de calor. A dissipação da energia em forma de calor ocorre nos centros de reação deste fotossistema através do ciclo da xantofila e é regulada pela luz através do gradiente de prótons na membrana dos tilacoides (DAI et al., 2009).

De acordo com Wilhelm e Selmar (2011), valores altos de NPQ são essenciais em plantas crescendo a pleno sol minimizando danos foto-oxidativos nas membranas dos tilacoides. Já NPQ baixo em folhas sombreadas indicam que menos energia luminosa absorvida pelos pigmentos do FSII foi dispersada em forma de calor (LI et al., 2010).

Diferenças de luz nos ambientes não afetam apenas a capacidade máxima fotossintética, mas também podem ocasionar mudanças no conteúdo de pigmentos cloroplastídicos (WILHELM e SELMAR, 2011; LOBOS et al, 2012). Neste estudo, maiores conteúdos de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides foram verificados nas plantas crescidas em ambiente de menor irradiância, ou seja, no ambiente A. Entre os Ambientes B, C e D não foram observadas diferenças entre o conteúdo destes pigmentos. Plantas expostas à baixa intensidade de luz no ambiente apresentam aumento do teor de pigmentos fotossintéticos a fim de contribuir na captação e utilização a luz de forma mais eficiente (LI et al., 2010). O nível mais elevado de clorofilas em folhas de sombra também foi observado por Souza e Válio (2003) trabalhando com espécies tolerantes a sombra.

Segundo Souza et al. (2009), a clorofila é constantemente sintetizada e destruída na presença de luz, mas sob alta irradiância, a taxa de decomposição é maior. Por esta razão, folhas de sombra apresentam maiores concentrações de clorofila em base de peso fresco comparadas as folhas de sol (LICHTENTHALER et al., 2007; ARAÚJO e DEMECINIS, 2009; NERY et al., 2011; DOS ANJOS et al., 2012). Segundo Mendes et al., (2001), o teor de clorofila diminui quando os níveis de irradiância aumentam. Em situações em que a planta absorve radiação luminosa acima da capacidade de utilização para os processos de fotossíntese, pode ocorrer a formação de espécie reativa de oxigênio (DOS ANJOS et al., 2012). A espécie reativa de oxigênio danifica clorofilas, consequentemente danificando o sistema de membranas do cloroplasto e o aparato de pigmentos do complexo coletores de luz (DOS ANJOS et al., 2012).

De acordo com NERY et al., (2011), a maior proporção relativa de clorofila *b* em plantas sombreadas é importante porque aumenta a possibilidade de captura de

energia em diferentes comprimentos de onda, bem como a transferência desta energia para a clorofila *a*, que atua efetivamente nas reações fotoquímicas da fotossíntese.

Neste estudo, o conteúdo de clorofilas totais também foi maior em plantas crescidas no ambiente A decrescendo em seus valores conforme aumento das irradiâncias. O acúmulo de clorofila total nas folhas sombreadas está relacionado com a menor disponibilidade de luz neste ambiente, já que absorção deste recurso depende da concentração de pigmentos fotossintéticos (LARCHER, 2006).

Os resultados neste estudo são semelhantes aos citados na literatura (MENDES et al., 2001; MORAIS, 2007; SOUZA et al., 2009), evidenciando que as folhas cultivadas sob baixas intensidades de radiação apresentam teores mais altos de clorofila.

Os níveis de irradiância impostos às plantas de *A. edulis*, neste estudo, não afetaram a razão clorofila *a/b*. Os valores obtidos para a razão clorofila *a/b*, que variaram entre 2,10 a 2,66 estão de acordo com o encontrado na literatura para outras espécies. Como por exemplo: *Centrolobium tomentosum*, *Genipa americana*, *Nectandra rigida*, *Ocotea odorifera*, *Platymiscium pubescens*, *Siparuna guianensis*, *Sorocea bonplandii* e *Spondias dulcis* (RIBAS, 2006), *Talisia subalbans* (NERY et al., 2011) e *Aniba rosaeodora* Ducke (GONÇALVEZ et al., 2005).

De acordo com a literatura, os carotenoides são pigmentos acessórios da fotossíntese que agem como mecanismo de proteção contra altas irradiâncias, participando do processo de dissipação do excesso de energia antes que danifique o aparato fotossintético organismo (LICHTENTHALER et al. 2007; CAPUZZO et al., 2012). Especialmente para espécies savânicas os carotenoides são essenciais, uma vez que estas plantas estão constantemente expostas a altas irradiâncias (SOUZA et al., 2009). Além destes, outros mecanismos de fotoproteção como bioquímicos e fisiológicos em plantas de ambientes com alta irradiância precisam ser considerados (GONÇALVES et al. 2001, FRANCO et al. 2007). Neste estudo, o maior conteúdo de carotenoides foi verificado nas plantas crescidas no ambiente A. Nas plantas crescidas nos ambientes B, C e D, o conteúdo de carotenoides não variou. Aparentemente, ao contrário do observado por outros autores, como Morais et al. (2007) estudando *Bertholletia excelsa*, *Carapa guianensis* e *Dipteryx odorata* e Capuzzo et al. (2012) trabalhando com *Tabebuia aurea*, a irradiância mais elevada no ambiente de crescimento promoveu degradação também de carotenoides, assim como observado nos conteúdos de clorofila *a* e clorofila *b*. Entretanto, mesmo com o menor conteúdo destes

pigmentos nas plantas dos ambientes com maior irradiância não foram observados danos ao fotossistema conforme demonstrou os dados da fluorescência da clorofila *a*.

A irradiância promoveu decréscimo no índice de feofitinação nos ambientes de maiores irradiâncias (9.88 e 34.38 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), sobretudo, na irradiância de 34.38 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. O decréscimo do índice de feofitinação em função ao aumento da irradiância no ambiente de crescimento é indicativo de degradação do conteúdo de clorofilas. No ambiente de maior irradiância (34.38 mol m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), o IF destas plantas diminuiu a valores menores que 1. Segundo Ronen e Galun (1984), a redução do IF a valores menores que 1,40 é um indicativo da degradação das clorofilas. Mesmo ocorrendo degradação de pigmentos, esta degradação não comprometeu o desempenho fotossintético das plantas em estudo.

## 6. CONCLUSÕES

A irradiância promoveu alterações na fisiologia de plantas jovens de *A. edulis*, resultando em resposta típica de aclimação.

De modo geral, as plantas jovens de *A. edulis* responderam ao aumento das irradiâncias com incremento da taxa fotossintética, taxa transpiratória, condutância estomática, rendimento quântico efetivo, taxa de transporte de elétrons e dissipação da energia em forma de calor.

O aumento da irradiância promoveu degradação dos pigmentos cloroplastídicos em plantas jovens de *A. edulis* sem, contudo, comprometer o desempenho fotossintético destas plantas sob altas irradiâncias.

As plantas de *A. edulis* apresentaram neste estudo, maior desempenho fotossintético em ambientes de maior irradiância demonstrando, assim, o potencial desta espécie em se estabelecer em áreas abertas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. EMBRAPA, Brasília, 1998.

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

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**, v.102, p.425-432, 1995.

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.73-185, 1990.

CAI, Z. Q.; RIJKERS, T.; BONGERS, F. Photosynthetic acclimation to light changes in tropical monsoon forest woody species differing in adult stature. **Tree Physiology**, v.25, p.1023-1031, 2005.

CAPUZZO, J. P.; ROSSATTO, D. R. FRANCO, A. C. Differences in morphological and physiological leaf characteristics between *Tabebuia aurea* and *T. impetiginosa* is related to their typical habitats of occurrence **Acta Botanica Brasilica** v.26, n.3, p.519-526, 2012.

CASTRO, E. M.; PINTO, J. E. B. P.; MELO, H. C.; SOARES, A. M.; ALVARENGA, A. A.; LIMA JUNIOR, E. C. Aspectos anatômicos e fisiológicos de plantas de guaco submetidas a diferentes fotoperíodos. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.3, p.846-850, 2005.

COUTINHO, L. M. O conceito Bioma. **Acta Botanica Brasilica**, v.20, n.1, p.13-23, 2006.

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

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, n. 1, p. 55-81, 2006.

DIAS, J.; PIMENTA, J.A.; MEDRI, M.E.; BOEGER, M.R.T.; FREITAS, C.T. Physiological aspects of sun and shade leaves of *Litsea molleoides* (Vell.) Engl.

(Anacardiaceae). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.50, n.1, p.91-99, 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.

DOS ANJOS, L. Plasticidade e aclimação foliar à irradiância em espécies da Floresta Atlântica. **Tese (Doutorado em Botânica)** Viçosa – MG, 2010.

DURIGAN, G.; MELO, A. C. G.; MAX, J. C. M.; VILAS BOAS, O.; CONTIERI, W. A.; RAMOS, V. S. **Manual para recuperação da vegetação de cerrado**. 3ª ed. São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 2011.

EHLEINGER, J. R. Leaf absorptances of mohave and sonoran desert plants. **Oecologia** v.49, p.366-370, 1981.

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** v.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** v.990, p.87-92, 1989.

GONÇALVEZ, 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.

GONÇALVES, J. F. C.; MARENCO, R. A.; VIEIRA, G. Concentration of photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence of mahogany and tonka bean under two lights environments. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.149-157, 2001.

GUO, X. R.; CAO, K. F.; XU, Z. F. Acclimation to irradiance in seedlings of three tropical rain forest *Garcinia* species after simulated gap formation. **Photosynthetica**, v. 44, p.193-201, 2006.

KIM, S. J.; YU, D. J.; KIM, T. C.; LEE, H. J. Growth and photosynthetic characteristics of blueberry (*Vaccinium corymbosum* cv. Bluecrop) under various shade levels. **Scientia Horticulturae** 129: 486-492, 2011.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v.1, n 1. Brasília, 2005.

KRAUSE, G. H.; VIRGO, A.; WINTER, K. High susceptibility to photoinhibition of young leaves of tropical forest trees. **Planta**, v.197, p.583-591, 1995.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review Plant Physiology 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. 2005.

LAGE-PINTO, F.; OLIVEIRA, J. G.; DA CUNHA, M.; SOUZA, C. M. M.; REZENDE, C. E.; AZEVEDO, R. A. Chlorophyll a fluorescence and ultrastructural changes in chloroplast of water hyacinth as indicators of environmental stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.64, p.307-313, 2008.

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

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

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.

LI, H.; JIANG, D.; WOLLENWEBER, B.; DAI, T.; CAO, W. Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat. **European Journal of Agronomy**, v.33, p.267-275, 2010.

LI, Z.; WAKAO, S.; FISCHER, B. B.; NIYOGI, K. K. Sensing and responding to excess light. **Annual Review of Plant Biology**, n.60, p.239-260, 2009.

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.

LONG, S. P.; HUMPHRIES, S.; FALKOWSKI, P. G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology** , v.45, p.633-662, 1994.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**, v.3, 1ª Ed. Nova Odessa-SP. Instituto Plantarum, 2009.

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.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA-JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E. Flora vascular do Cerrado. In: SANO, S.; ALMEIDA, S. (Eds.). **Cerrado ambiente e flora**. Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 289-556, 1998.

MORAIS, R. R.; GONÇALVES, J. F. C.; SANTOS JÚNIOR, U. M.; DÜNISCH, O.; SANTOS, A. 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.

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.

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.

PRADO, C. H. B. A.; WENHUI, Z.; ROJAS, M. H. C.; SOUZA, G. M. Seasonal leaf gas exchange and water potential in a woody cerrado species community. Brazil. **Journal Plant Physiology**, v.16, n.1, p.7-16, 2004.

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.

RIBAS, R.F. Plasticidade e aclimação fotossintética de espécies arbóreas tropicais. Viçosa: UFV, 2006. 111p. **Tese** (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, 2006.

RIJKERS, T.; DE VRIES, P. J.; PONS, T. L.; BONGERS, F. Photosynthetic induction in saplings of three shade-tolerant tree species: comparing understory and gap habitats in a French Guiana rain forest. **Oecologia**, v.125, p.331-340, 2000.

RONEN, R.; GALUN, M. Pigment extracion from lichens with dimethyl sulfoxide (DMSO) and estimation of chlorophyll degradation. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, 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. (Caesalpiniaceae) under contrasting irradiances. **Brazilian Society of Plant Physiology**, v.21, n.3, p.197-208, 2009.

ROSSATTO, D. R.; KOLB, R. M. *Gochnatia polymorpha* (Less.) Cabrera (Asteraceae) changes in leaf structure due to differences in light and edaphic conditions. **Acta Botanica Brasilica**, v.24, n.3, p.605-612, 2010.

ROSSATTO, D. R.; TAKAHASHI, F. S. C.; SILVA, L. C.; 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 Brasilica**, v.24, n.3, p.640-647, 2010.

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.; VITÓRIA; 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.

SOUZA, G. M.; BALMANT, B. D.; VITOLLO, W. F.; GOMES, K. B. P.; FLORENTINO, T. M.; CATUCHI, T. A.; VIEIRA, W. L. Estratégias de utilização de luz e estabilidade do desenvolvimento de plântulas de *Cordia superba* Cham. (Boraginaceae) crescidas em diferentes ambientes luminosos. **Acta Botanica Brasilica**, v.23, n.2, p.474-485, 2009.

SOUZA, R. P.; VÁLIO, I. F. M. Leaf optical properties as affected by shade in saplings of six tropical tree species differing in successional status. **Brazilian Journal of Physiology**, v.15, n.1, p.49-54, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed. 954 p., 2013.

THOLEN, D.; BOOM, C.; ZHU, X. Opinion: Prospects for improving photosynthesis by altering leaf anatomy. **Plant Science** v.197, p.92-101, 2012.

VALLADARES, F.; SANCHES-GOMEZ, D.; ZAVADA, M. A. Quantitative estimation of phenotypic plasticity: bridging the gap between evolutionary concept and its ecological applications. **Journal of Ecology**, v.94, p. 1103-1116, 2006.

VAN KOOTEN, O.; SNEL, J. F. H. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 25, n. 3, p. 147-150, 1990.

WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do Bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas**. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 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.

WILHELM, C.; SELMAR, D. Energy dissipation is an essential mechanism to sustain the viability of plants: The physiological limits of improved photosynthesis. **Journal of Plant Physiology**, v.168, p.79-87, 2011.

ZAPPI, D. *Alibertia edulis* in **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013. (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB20682>). Último acesso em 08/05/2013.

## CONCLUSÃO GERAL

O efeito da irradiância sobre as características morfológicas de plantas de *Alibertia edulis* Rich. possui correlação significativa com os efeitos sobre as características fisiológicas destas plantas.

As plantas de *A. edulis* possuem capacidade de se estabelecer tanto em baixa, quanto em alta irradiância, em função da capacidade das mesmas de se ajustarem morfológica, anatômica e fisiologicamente.

O melhor desempenho das plantas jovens de *A. edulis* ocorre em ambientes com maior irradiância.

## TABELA DO APÊNDICE

Tabela 1. Resumo da Análise de Correlação Linear de Pearson dos dados de anatomia foliar, biometria e trocas gasosas de plantas jovens de *Alibertia edulis*, sendo: Densidade estomática; Índice estomático (IE); Mesofilo (Me); Área foliar específica (AFE); Razão raiz/parte aérea (RRPA); Razão de área foliar (RAF); Volume de Raiz (VL); Taxa fotossintética (A) Taxa transpiratória (E) e Condutância estomática (gs).

Variáveis analisadas	A	E	gs	RRPA	VR
DE	0,53**				
IE	0,67**	0,68**	0,66**		
Me	0,75**				
RAF				0,53**	
AFE					-0,78**

\*\* ( $p < 0,01$ ).