

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
DOUTORADO EM AGRONOMIA/FITOTECNIA**

EDMILSON IGOR BERNARDO ALMEIDA

**SOMBREAMENTO NA ECOFISIOLOGIA, PRODUÇÃO E
PROPÁGULOS DE PITAIA VERMELHA**

**FORTALEZA
2015**

EDMILSON IGOR BERNARDO ALMEIDA

Tese submetida à coordenação do curso de pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Agronomia.

Área de concentração: Fitotecnia

Orientador: Prof. D. Sc. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa

Co-orientadora: Prof^a. D. Sc. Rosilene Oliveira Mesquita

**FORTALEZA
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

-
- A446s Almeida, Edmilson Igor Bernardo.
Sombreamento na ecofisiologia, produção e propágulos de pitaia vermelha / Edmilson Igor Bernardo Almeida. – 2015.
96 f. il., color. enc. ; 30 cm.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Fitotecnia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, Fortaleza, 2015.
Área de concentração: Fruticultura.
Orientação: Prof. Dr. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa.
Coorientação: Profa. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita.
1. Cactácea. 2. Sombreamento. 3. Frutíferas exóticas. 4. Troca gasosa. I. Título.

EDMILSON IGOR BERNARDO ALMEIDA

**SOMBREAMENTO NA ECOFISIOLOGIA, PRODUÇÃO E
PROPÁGULOS DE PITAIA VERMELHA**

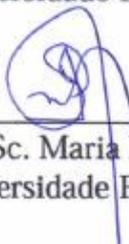
Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Agronomia/Fitotecnia. Área de concentração em Fitotecnia.

Aprovada em: 10 / 04 / 2015

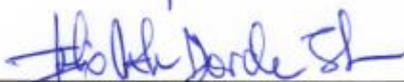
BANCA EXAMINADORA



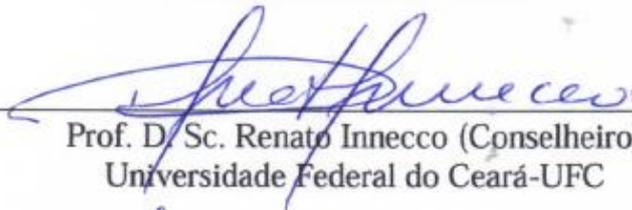
Prof. D. Sc. Márcio Cleber de Medeiros Corrêa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará-UFC



Prof.ª D. Sc. Maria Izabel Galão (Conselheira)
Universidade Federal do Ceará-UFC



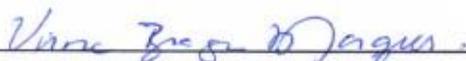
Prof. D. Sc. Júlio César do Vale Silva (Conselheiro)
Universidade Federal do Ceará-UFC



Prof. D. Sc. Renato Innecco (Conselheiro)
Universidade Federal do Ceará-UFC



D. Sc. Marlos Alves Bezerra (Conselheiro)
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA



Prof.ª D. Sc. Virna Braga Marques (Conselheira)
Universidade da Integração Internacional da Lusofania Afro-Brasileira-UNILAB

À Deus, o meu bom pastor.
À minha mãe, Maria Goretti, à minha avó materna
(*In memoriam*), Maria Lenilda, e à minha namorada
Priscilla Sales, três pessoas que sempre me apoiaram
e incentivaram nos momentos mais difíceis.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Márcio Cleber, pela orientação, amizade e profissionalismo demonstrado durante esses aproximados três anos e meio, que trabalhamos juntos.

À Professora Rosilene, pela atenção, amizade e orientação nas análises de trocas gasosas, pigmentos e na escrita de projetos e trabalhos científicos.

À Professora Izabel, pela atenção, disponibilidade e profissionalismo.

Ao Laboratório de Biologia Celular Vegetal, pela receptividade, atenção e orientação nas análises anatômicas.

Ao Professor Júlio César pela receptividade, atenção e conhecimentos compartilhados durante as análises estatísticas.

Ao Professor Renato Innecco pelos conselhos, receptividade, conhecimentos e experiências compartilhados.

Ao D.Sc. Marlos pelos conhecimentos compartilhados nas disciplinas de Ecofisiologia Vegetal e Relações solo-água-planta, e pelo auxílio nas análises de trocas gasosas.

À Professora Virna e Neimar pelo pioneirismo dos estudos com espécies de cactos frutíferos na Universidade Federal do Ceará, e co-orientação nas minhas atividades de pesquisa, durante o período de tempo que trabalhamos juntos.

À Estação Meteorológica da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, pelo fornecimento dos dados meteorológicos dos anos de 2013 e 2014.

Aos meus pais, José Alberto e Maria Goretti, pela amizade, carinho e confiança.

Aos colegas de curso, em especial: Ronialison, João Paulo, Frederico, Aires, Wener e Márcio Ootami, pessoas que estiveram durante maior tempo, ao meu lado, propiciando irreverentes diálogos e troca de conhecimentos.

Aos componentes do grupo de pesquisa em Fruticultura, especialmente, Iana e Mayara, que sempre foram duas estudantes muito dedicadas às atividades experimentais, colaborando diretamente nas minhas avaliações de campo.

Aos meus amigos: Alisson, Yan, Braz, Rodolfo, Diego, Felipe, Barrabás, Vinícius, Wellington e Wandson, pessoas que há muito tempo tenho o prazer de cultivar a amizade, e que sempre me incentivaram a crescer intelectualmente e socialmente.

Aos recentes e antigos colegas de moradia, Aires, Artênio, Hélder, Jean, Manuel, Wanderson e Luiz, pela convivência e qualidade de vida compartilhada em Fortaleza-CE.

Aos demais familiares: minha bisavó, Daluz (*In Memoriam*); meus tios (Naldo, Bel, Letinha etc); e meus primos (Edílson, Ítalo, Gilmara, Raquel, Fátima, Cléber etc.)

À CAPES, pelo auxílio financeiro (Projeto 23038.006862/2010-02 - Edital 029/2010).

Ao CNPq, pela bolsa de estudo durante o período de Doutorado em Agronomia.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – Considerações gerais

1	INTRODUÇÃO.....	10
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1	Descrição botânica.....	12
2.2	Exploração e uso da pitaia vermelha.....	13
2.3	Cultivo de pitaia vermelha no Brasil.....	14
2.4	Sombreamento de plantas.....	15
2.5	Propagação vegetativa de pitaia vermelha.....	17
2.4.1	<i>Uso de enraizadores.....</i>	19
3	REFERÊNCIAS.....	20

CAPÍTULO II – Crescimento, anatomia, pigmentos fotossintéticos, trocas gasosas e produção de pitaia vermelha sombreada artificialmente

	RESUMO.....	25
	ABSTRACT.....	26
1	INTRODUÇÃO.....	27
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.1	Descrição da área experimental, delineamento estatístico e detalhamento da montagem do experimento I.....	28
2.2	Tratos culturais.....	31
2.3	Análises.....	31
2.3.1	<i>Análises de crescimento.....</i>	31
2.3.2	<i>Análise de trocas gasosas.....</i>	32
2.3.3	<i>Análises de pigmentos fotossintéticos.....</i>	32
2.3.4	<i>Análises anatômicas.....</i>	33
2.3.5	<i>Produção.....</i>	34
2.3.6	<i>Análise de dados.....</i>	34
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36

Efeito do sombreamento no crescimento de pitaia vermelha, aos 180 dias

3.1	de avaliação.....	36
3.2	Efeito do sombreamento nas trocas gasosas de pitaia vermelha, aos 180 dias de avaliação.....	38
3.3	Correlação fenotípica de Pearson (<i>rf</i>) entre caracteres vegetativos e de trocas gasosas de pitaia vermelha.....	43
3.4	Efeito do sombreamento no crescimento de pitaia vermelha, aos 365 dias de avaliação.....	45
3.5	Efeito do sombreamento nos pigmentos fotossintéticos de pitaia vermelha, aos 365 dias de avaliação.....	47
3.6	Efeito do sombreamento nas trocas gasosas de pitaia vermelha, aos 365 dias de avaliação.....	50
3.7	Correlação fenotípica de Pearson (<i>rf</i>) entre caracteres trocas gasosas, pigmentos fotossintéticos, vegetativos e de produção de pitaia vermelha....	53
3.8	Análise de trilha: efeito dos caracteres vegetativos e de trocas gasosas sobre a variável de produção.....	55
3.9	Efeito do sombreamento nas características anatômicas de pitaia vermelha.....	58
4	CONCLUSÕES.....	65
5	REFERÊNCIAS.....	66

CAPÍTULO III – Sombreamento das plantas matrizes e uso de auxina na propagação vegetativa de pitaia vermelha

	RESUMO.....	71
	ABSTRACT.....	72
1	INTRODUÇÃO.....	73
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	75
2.1	Local.....	75
2.2	Delineamento estatístico.....	75
2.3	Procedimentos de coleta, padronização do material propagativo e aplicação do enraizador comercial.....	75
2.4	Análises.....	76
2.4.1	<i>Análises de crescimento</i>	76
2.4.2	<i>Análise de dados</i>	77

3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
4	CONCLUSÕES.....	88
5	REFERÊNCIAS.....	89
6	ANEXOS.....	91

CAPÍTULO I – Considerações gerais

1 INTRODUÇÃO

A Hebrew University of Jerusalem vem desenvolvendo, há cerca de 20 anos, pesquisas com culturas frutíferas pouco comuns nos desertos de Israel pela em busca de alternativas economicamente viáveis para a agricultura em regiões áridas, e que podem ajudar a resolver alguns problemas agrícolas presentes e futuros no Brasil, principalmente no Semiárido Nordeste.

A exploração de novas culturas com potencial para áreas desérticas pode e deve ser feito em regiões semelhantes, como uma parte do Nordeste brasileiro de clima árido e semi-árido. Aproveitar o trabalho iniciado em Israel, com testes de várias espécies, e adaptá-lo às condições brasileiras economiza tempo e dinheiro em pesquisas. Ademais, essas espécies apresentam aceitação para exportação.

A pitaia vermelha foi uma das cactáceas frutíferas melhor sucedidas, em Israel e nos poucos estudos realizados no Brasil, devido à sua rusticidade, precocidade de produção e características sensoriais. Trata-se de uma cactácea semi-epífita, com frutos, caracterizados por aparência exótica e preços expressivos, tanto no mercado interno quanto externo.

Atualmente, existem no Ceará, áreas comerciais de cultivo de pitaia vermelha, contudo, ainda são escassos estudos e informações sobre essa cultura, principalmente nas condições edafoclimáticas brasileiras e, particularmente, do Ceará. Assim, o cultivo é embasado em informações adaptadas de países como Israel, México, Colômbia etc., pioneiros e com maior experiência no cultivo desta frutífera. Além de informações geradas em outras regiões do Brasil, como o Sudeste.

São escassas as informações básicas referentes à propagação vegetativa, nutrição mineral, sombreamento, realização de podas nos cladódios, controle de pragas e doenças, e qualidade pós-colheita dos frutos.

Em condições naturais, a pitaia vermelha é encontrada em florestas tropicais da América, em condições de sub-bosque, sob irradiância de $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, o que leva a crer que quando cultivada comercialmente faz-se necessária a instalação de um sistema de proteção contra a incidência direta dos raios solares sobre a planta. Nesse contexto, estudos preliminares foram realizados em Israel e no Brasil, os quais atestaram a necessidade de sombreamento de 30 a 60%, conforme as condições locais.

Entretanto, no Ceará, o cultivo é realizado a pleno sol, sendo visíveis, em determinadas épocas do ano (com menor nebulosidade), danos na extensão dos cladódios (queima dos tecidos), os quais possivelmente ocorrem em função da intensidade luminosa,

abundante na maior parte do ano, em quase todo o País e, principalmente, na região Nordeste. Com isso, objetivou-se estudar os efeitos do sombreamento sobre a ecofisiologia, produção e propagação vegetativa de pitaia vermelha.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Descrição botânica

O gênero *Hylocereus* contém 14 espécies, as quais podem ser encontradas em regiões subtropicais e tropicais de florestas do continente americano. Das espécies de *Hylocereus* cultivadas mundialmente, destacam-se, *H. undatus*, *H. polyrhizus*, *H. monacanthus* e *H. megalanthus* (ORTIZ-HERNÁNDEZ; CARRILLO-SALAZAR, 2012).

A pitiaia vermelha é uma cactácea originária das Américas e está distribuída na Costa Rica, Venezuela, Panamá, Uruguai, Brasil, Colômbia e México, sendo os dois últimos países, os principais produtores em nível mundial. Encontra-se, porém, maior diversidade genética no México e na Nicarágua (DONADIO, 2009).

A espécie *Hylocereus sp.* apresenta vários nomes comuns, dentre eles destacam-se: pitiaia vermelha, pitaya, pitahaya ou “rainha da noite”, devido as flores grandes, brancas ou rosadas que apresentam antese noturna. Conforme Echeverri (1990), a palavra “pitaia vermelha” é um termo haitiano que significa “fruto escamoso”. Para Ortiz-Hernández (1999) os nomes “pitaya” e “pitahaya” utilizados nas Américas Central e do Sul têm o mesmo significado, sendo que no México é mais comum utilizar o termo “pitahaya”.

Nos países do oriente, como China, Vietnã, Malásia e Japão, é conhecida como “fruta dragão”, pela semelhança com as escamas características da figura do dragão, sendo considerada como uma das mais belas do mundo (ORTIZ, 2000; ZEE et al., 2004).

A pitiaia vermelha é uma planta perene e que naturalmente cresce sobre árvores ou pedras; tem raízes fibrosas, abundantes e desenvolve também numerosas raízes adventícias, que ajudam na fixação e na obtenção de nutrientes. Os cladódios são triangulares, suculentos e apresentam espinhos com 2 a 4 mm de largura. A flor é hermafrodita, de coloração branca, grande (mede cerca de 20 a 30 cm de comprimento) e abre durante a noite. Os frutos são vermelhos externamente, muito atrativos ao consumidor, com polpa arroxeadada, de sabor agradável, levemente adocicado, com grande número de diminutas sementes, de coloração preta (CANTO, 1993; DONADIO, 2009).

O florescimento da pitiaia vermelha é assíncrono, havendo flores em diferentes estágios de diferenciação e desenvolvimento de frutos simultaneamente. Na região de Jaboticabal, ocorrem nove fluxos floríferos, com maior emissão de flores no mês de dezembro (SILVA et al., 2011), enquanto em Lavras, MG, são relatados entre 3 a 5 fluxos de flores (MARQUES et al., 2011a).

O desenvolvimento dos frutos é relativamente curto, de 34 a 43 dias após a antese, ocorrendo antecipação da maturação em condições de temperaturas mais elevadas (SILVA et al., 2011). Os frutos são colhidos quando alcançam sua maturidade fisiológica, que ocorre quando adquirem uma coloração rosada, no caso da pitaia vermelha (ALVARADO et al., 2003).

2.2 Exploração e uso da pitaia vermelha

A pitaia vermelha (*Hyloceurus sp.*) é uma espécie exótica no Brasil, ou seja, foi introduzida por ação humana, de maneira acidental ou intencional. Apresenta boa aceitação para consumo “*in natura*”, não apenas pelo exotismo de sua aparência, mas em virtude de suas características sensoriais.

Os preços praticados nos mercados regional, nacional ou internacional estimularam a extensão e a intensificação do cultivo da pitaia vermelha em diferentes sistemas de plantio, no México, Nicarágua, Malásia, Vietnã, Israel e mesmo no Brasil, onde a produção se dá, predominantemente, em pequenos cultivos e a comercialização está restrita a mercados com maior poder aquisitivo (ESTELLENA, 2011; ORTIZ-HERNÁNDEZ; CARRILLO-SALAZAR, 2012).

Os frutos podem ser consumidos ao natural ou processados na forma de sorvetes, sucos, vinhos e saladas. Os cladódios são utilizados para fabricação de medicamentos, com efeito, espasmolítico, em vasos coronários, visando à melhora da circulação sanguínea. Nos frutos há, ainda, uma grande quantidade de betalaínas, pigmentos considerados como alternativa ao uso de corantes artificiais nos alimentos, uma vez que apresentam estabilidade em pH de 3 a 7 (ESQUIVEL; ARAYA QUESADA, 2012).

Somado a isso, há evidências de que alguns corantes naturais podem ser importantes antioxidantes e a ingestão dos mesmos, particularmente os flavonóides e antocianinas, mostram uma grande capacidade para captar radicais livres causadores de estresse oxidativo, sendo preventores de enfermidades cardiovasculares, câncer e outras desordens associadas com a idade (FIGUEROA et al., 2011).

Alguns componentes obtidos da casca da pitaia vermelha e branca (*H. undatus*), também demonstraram capacidade de inibir o crescimento de células cancerígenas (WU et al., 2006; KIM et al., 2011).

2.3 Cultivo de pitaia vermelha no Brasil

O cultivo da pitaia vermelha no Brasil é muito recente, e teve início a aproximadamente 15 anos, com o pioneirismo da produtora Anoemisia Sader, em Itajobi/SP. Desse período, em diante, foram iniciados cultivos comerciais no estado de São Paulo, e, atualmente, há áreas comerciais em Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Norte, Ceará e Pernambuco (SILVA, 2014). A produtividade média da cultura oscila de 10 a 30 t ha⁻¹, em função das condições edafoclimáticas, técnicas de cultivo e idade do pomar (LE BELLEC; VAILLANT; INBERT, 2006).

De acordo com o Prohort (2014), os primeiros dados referentes à comercialização de pitaia vermelha no Brasil são de 2005, no qual foi comercializada, na CEASA Rio de Janeiro (Unidade Grande Rio), a quantidade de 54 kg da fruta, proveniente do estado de São Paulo. A partir daí, a oferta aumentou rapidamente, alcançando 3.480 kg no ano posterior (2006) e 82.831 kg em 2007.

No ano de 2013 foram comercializadas mais de 319 toneladas de pitaia vermelha, originárias de cinco estados brasileiros e da Colômbia (6% do volume comercializado nas CEASAS). Em ordem de volume comercializado, por estado, estão São Paulo, Minas Gerais, Ceará, Paraná e Goiás. Em 2013, o Estado de São Paulo produziu mais de 92% do montante de pitaia vermelha comercializada nas CEASAS (mais de 270 toneladas) (SILVA, 2014).

No Brasil, a região Sudeste é a principal produtora, com destaque a Socorro, Narendiba, Cedral, Arthur Nogueira e Ourinhos que, juntas, são responsáveis por mais de 50% da produção originária do estado de São Paulo, maior produtor nacional (PROHORT, 2014). Nessa região, a cultura aclimatou-se muito bem, e a produção abrange os meses de dezembro a maio, com produtividade média anual de 14 t ha⁻¹ (BASTOS et al., 2006).

No Ceará, que é o principal produtor nordestino, a produção está concentrada na Chapada do Apodi, mais precisamente nos municípios de Limoeiro do Norte e Quixeré. As áreas de cultivo são recentes (aproximadamente sete anos de idade) e estão em fase de aprimoramento quanto ao manejo agrônomo e à rentabilidade da exploração comercial (NUNES et al., 2014).

Diferentemente da região Sudeste que tem o pico de produção entre os meses de dezembro e março, os pomares comerciais cearenses produzem expressiva quantidade de frutos durante o ano inteiro, com pequeno decréscimo, apenas nos meses mais chuvosos (janeiro a abril).

Há assim, a possibilidade de aumentar, ainda mais, o potencial produtivo da pitaita vermelha no período de entressafra (maio a novembro) da principal região produtora (Sudeste), no qual a oferta de frutos é baixa e a demanda permanece elevada. Atualmente, a safra dos municípios cearenses é comercializada a preços elevados nas principais redes de supermercados de Fortaleza (CE) e/ou exportada para alguns países europeus.

2.4 Sombreamento de plantas

A radiação, temperatura, água e condições edáficas são alguns componentes do meio que influenciam, de maneira decisiva, o desenvolvimento das plantas. O suprimento inadequado de um desses componentes ou fatores pode reduzir o vigor da planta e limitar o seu desenvolvimento. A radiação regula vários processos do desenvolvimento, como a taxa de fotossíntese, biossíntese de pigmentos, assimilação de nitrogênio, anatomia foliar, dentre outros (SCHLUTER et al., 2003; SESMA et al., 2009).

Vários estudos evidenciam a plasticidade fisiológica de espécies em relação à radiação fotossinteticamente ativa (ALMEIDA et al., 2005; FRANCO; DILLENBURG, 2007). O grau de plasticidade tem um importante papel na sobrevivência e sustentabilidade de plantas em ambientes heterogêneos e variáveis, e pode explicar diferenças na distribuição geográfica das espécies, assim como no zoneamento climático de culturas agrícolas (DUZ et al., 2004; LIMA JÚNIOR et al., 2006).

A energia da radiação solar exerce um efeito marcante sobre a anatomia, tanto nos primeiros estágios de desenvolvimento, quanto no estágio adulto, pois a folha é um órgão de elevada plasticidade e sua estrutura interna adapta-se às condições de luz do ambiente. A influência da radiação sobre a anatomia de cladódios, que são caules fotossintéticos, é muito pouco conhecida (CASTRO et al., 2009; SALGADO et al., 2012).

As alterações anatômicas que ocorrem nas folhas sob baixa luminosidade têm papel importante na adaptação da planta às condições impostas pelo ambiente. Geralmente estas alterações estão relacionadas com o aumento da captação e aproveitamento da luz incidente, recurso que limita o crescimento na sombra, aumentando a eficiência fotossintética da planta (LAMBERS et al., 1998; GOBBI et al., 2011).

A pitaita vermelha é encontrada espontaneamente em florestas tropicais da América em condições de sub-bosque, sob irradiância de $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, o que leva a crer que quando cultivada comercialmente faz-se necessária a instalação de um sistema de proteção contra a incidência direta dos raios solares sobre a planta. Nesse contexto, estudos preliminares foram

realizados em Israel (MIZRAHI; NERD, 1999; RAVEH et al., 1998) e no Brasil (CAVALCANTE et al., 2011), os quais atestaram a necessidade de cobertura conforme as condições locais.

Mizrahi e Nerd (1999) observaram que o dossel de pitaia vermelha sofre queimaduras e pode chegar à morte em função da intensidade de radiação, quando cultivadas sem proteção. Entretanto, Robles et al. (2000) observaram que em cultivos da cactácea frutífera *Stenocereus sp.*, no México, apenas os ramos sob total exposição direta à luz solar produzem frutos, o que também é reportado para a Guatemala. Havendo, desse modo, diferentes tipos de respostas de cactáceas com potencial de aptidão agrícola, à radiação.

A taxa fotossintética é incrementada com a intensidade luminosa até certo ponto, conhecido como ponto de saturação luminosa, a partir do qual começa a diminuir (PASCALE; DAMARIO, 2004). O conhecimento das relações entre florescimento e condições ambientais é de considerável importância para uma produção regular de frutos durante o ano, considerando-se a sensibilidade da planta a altas densidades de fluxo luminoso. Isso torna necessário na maioria dos casos, a inclusão de sistema de sombreamento para que ocorram floração e frutificação satisfatórias na pitaia e pitaia vermelha, ao decorrer dos anos (CAVALCANTE et al., 2011; RAVEH et al., 1998).

Em trabalho sobre o gênero *Hylocereus*, RAVEH et al. (1993) observaram que o sombreamento tem efeito significativo no crescimento das plantas e na produção de frutos. Mizrahi e Nerd (1999) recomendam que o cultivo de *Hylocereus sp.* seja feito sob sombreamento de 30 a 60%, dependendo da espécie e do local. Algumas espécies do gênero *Hylocereus*, no entanto, são mais tolerantes à luz, pois apresentam uma cobertura de cera na extensão dos cladódios, que evita a exposição direta dos estômatos à radiação solar.

No Ceará, a pitaia vermelha é cultivada em condições de pleno sol e nas épocas mais quentes do ano, evidenciam-se plantas com cladódios amarelados, que consistem em sintomas com efeitos, ainda desconhecidos sobre a produção de frutos. Em muitas espécies, a magnitude das taxas de trocas gasosas está associada ao manejo da radiação luminosa na área de cultivo. Entretanto, poucos estudos, em nível mundial, correlacionaram o efeito do sombreamento sobre as trocas gasosas, pigmentação, anatomia, morfologia e produção de cactáceas, particularmente, a pitaia vermelha.

2.5 Propagação vegetativa de pitaia vermelha

A propagação vegetativa de pitaia vermelha é comumente realizada pela estaquia. As plantas originadas por esse método iniciam o florescimento após um ou dois anos depois do plantio. Além da precocidade na produção, a propagação por estaquia, de cladódios inteiros ou segmentados, é a forma mais recomendável do ponto de vista prático, pois possibilita obter plantios uniformes, fator importante para cultivos comerciais, em virtude da manutenção das características fenológicas e de qualidade de frutos, necessárias ao mercado (ANDRADE et al., 2007; GUNASENA et al., 2007; PIMENTA, 1990).

A capacidade de enraizamento de estacas é influenciada pelas condições ambientais, tipo de propágulo, origem na copa, época de coleta, maturação e características internas da planta-matriz, como o conteúdo de água, teor de reservas e nutrientes, e o nível hormonal na ocasião da coleta do material propagativo. A escolha do tipo de estaca a ser utilizada tem grande importância, principalmente para espécies com dificuldade no enraizamento (BORGES et al., 2011). Para a pitaia vermelha há várias indefinições no que se refere à propagação vegetativa para a produção de mudas. Dentre essas indefinições pode-se citar o sombreamento da planta matriz e aplicação de enraizador comercial.

Para que o enraizamento de estacas ocorra de forma satisfatória, é necessário que haja um balanço inicial entre hormônios estimuladores e inibidores (PASQUAL et al., 2001). Lima (2013), Marques et al. (2011b) e Pontes filho et al. (2014) comprovaram que, em pitaia (*Hylocereus undatus*), estacas de 25 cm enraízam melhor comparativamente às de tamanho inferior e exibem sistemas radiculares vigorosos. Barroso (2014) complementou que estacas vigorosas (45 cm de comprimento e 43 mm de diâmetro) são as mais recomendadas para o sistema de produção de mudas de pitaia vermelha, pois dispensam o uso de reguladores vegetais e apresentam elevada qualidade de enraizamento.

Segundo Barroso (2014), os cladódios estiolados (48 cm de comprimento e 29 mm de diâmetro), também apresentam maior capacidade de enraizamento que os cladódios de tamanho padrão (25 cm de comprimento), os quais foram recomendados por Lima (2013), Marques et al. (2011 b) e Pontes filho et al. (2014), em estudos com pitaia. Barroso (2014) complementa que na escassez de estacas vigorosas de pitaia vermelha, a aplicação de enraizador comercial pode aumentar a qualidade de enraizamento e precocidade de mudas propagadas por cladódios padrão e/ou estiolados.

Conforme Hartmann e Kester (1990), em algumas espécies, principalmente naquelas de difícil enraizamento, o cultivo das plantas matrizes e o enraizamento das estacas deve ser

realizado sob baixa radiação. A manutenção da umidade, segundo Fachinello et al. (2005), é fundamental, tendo em vista que a perda de água é uma das principais causas de morte de estacas, em boa parte das espécies vegetais. Johnson e Hamilton (1977) acrescentaram que elevadas intensidades luminosas podem ativar o sistema enzimático AIA-oxidase que destrói as auxinas, reduzindo o potencial de enraizamento de estacas coletadas em plantas matrizes cultivadas a pleno sol.

Em pitiaia vermelha, a influência da intensidade luminosa sobre as plantas matrizes é uma incógnita. Portanto, não há nenhuma validação científica para os produtores de mudas sobre quais condições de luminosidade cultivar as matrizes, de modo a obterem-se estacas com elevado potencial de enraizamento.

2.5.1 Uso de enraizadores

Há vários grupos de substâncias endógenas que atuam na formação de raízes adventícias, dentre eles as auxinas, citocininas e giberelinas. Entretanto, as auxinas são as de maior interesse no enraizamento de estacas (PAIVA; GOMES, 2001). As auxinas são fitorreguladores que possuem ação na formação de raízes adventícias, ativação de células do câmbio e promoção do crescimento de plantas (BRESINSKY, 2012; KERBAUY, 2012). A auxina endógena é sintetizada principalmente nas gemas apicais e nas folhas jovens e, de maneira geral, move-se através da planta, do ápice para a base (HARTMANN; KESTER, 1990).

Dentre os compostos com atividades auxínicas têm-se o ácido indolacético, o ácido indolbutírico, o ácido naftalenoacético e o ácido 2,4-diclorofenoxiacético, que são comprovadamente indutores de enraizamento. A aplicação de auxina exógena em estacas de propagação vegetativa é uma prática utilizada para promover e/ou melhorar o enraizamento. Dentre os reguladores citados, o ácido indol-butírico (AIB) é o mais utilizado (FACHINELLO et al., 2005). O AIB estimula a iniciação radicial promovendo aumento da porcentagem de estacas e uniformidade de enraizamento, características estas que possibilitam a redução do tempo de permanência das estacas na fase de produção de mudas (DUTRA et al., 2012).

Em pitiaia vermelha, a imersão das estacas em AIB fomenta rapidamente a formação de raízes adventícias (VARGAS-SANTIAGO et al., 2003). Barroso (2014), Bastos et al. (2006) Pontes Filho et al. (2014) observaram que a dosagem de 3.000 mg dm⁻³ de AIB promoveu expressivo aumento no enraizamento de estacas com 25 cm de comprimento. Por

sua vez, Santos et al. (2010) constataram que o uso de 200 mg dm^{-3} de ácido naftalenoacético (ANA) não influenciou o crescimento inicial de pitiaia. Todavia, o efeito combinado do sombreamento das plantas matrizes e uso de enraizador comercial, ainda não foi testado para a pitiaia vermelha, especialmente nas condições climáticas de Fortaleza (CE).

3. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. M. Z. *et al.* Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. **Ciência Rural**, v. 35, p. 62-68, 2005.
- ALVARADO, M. R. M.; CRUZ, M. A. G.; RINDERMANN, R. S. Pitahaya de México: Producción y comercialización en el contexto internacional. In: FLORES VALEZ, C. A. (Editor): **Pitayas y Pitahayas**. CIESTAAM, Universidade Autónoma Chapingo, México, 2003. p. 97-121.
- ANDRADE, R. A *et al.* Influência da fonte e do tempo de cura na propagação vegetativa da pitaiá vermelha (*Hylocereus undatus* Haw.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, p. 183-186, 2007.
- BARROSO, M. M. A. **Enraizamento de estacas de pitaiá vermelha com diferentes características morfológicas e sob efeito de enraizadores**. 2014. 32f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- BASTOS, D. C. *et al.* Propagação de pitaiá vermelha por estaquia. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, p. 1106-1109, 2006.
- BORGES, S. R. *et al.* Enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus globulus*. **Revista Árvore**, v. 35, p. 425 - 434, 2011.
- BRESINSKY, A. **Tratado de botânica de Strasburger**. 36. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012, 1166p.
- CANTO, A. R. **El cultivo de pitahaya em Yucatán**. Yucatán: Universidad Autónoma Chapingo, 1993. 53p.
- CASTRO, E. M; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: Estrutura e função de Órgãos Vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234p.
- CAVALCANTE, I. H. L. *et al.* Adubação orgânica e intensidade luminosa no crescimento e desenvolvimento inicial da pitaya em Bom Jesus-PI. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 970-982, 2011.
- DONADIO, L. C. Pitaya. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, p. 1-2. 2009.
- DUTRA, T. R. *et al.* Desenvolvimento inicial de mudas de copaíba sob diferentes níveis de sombreamento e substratos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 321-329, 2012.
- DUZ, S. R. *et al.* Crescimento inicial de três espécies arbóreas da Floresta Atlântica em resposta à variação na quantidade de luz. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, p. 587-596, 2004.

ECHEVERRI, A. C. **El cultivo de la pitaya**. Instituto de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente, Bogotá, Colombia. 19 p. 1990.

ESQUIVEL, P.; ARAYA QUESADA, Y. Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. **Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos**, Valencia, v. 3, p.113- 129, 2012.

ESTELLANA, N. T. **Dragon fruit production guide**. Pinoy bisnes ideas: money making business ideas for entrepreneurs. Disponível em:<<http://www.pinoybisnes.com/agribusiness/dragon-fruit-production>>. Acesso em 22 de outubro de 2014.

FACHINELLO, J. C. *et al.* Propagação vegetativa por estaquia. *In:* FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. **Propagação de plantas frutíferas**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2005. p. 69-109.

FIGUEROA, R. *et al.* Actividad antioxidante de antocianinas presentes en cáscara de pitahaya (*Hylocereus undatus*). **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, Hermosillo, v. 12, p. 44-50, 2011.

FRANCO, A. M. S.; DILLENBURG, L. R. Ajustes morfológicos e fisiológicos em plantas jovens de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em resposta ao sombreamento. **Hoehnea**, v. 34, p. 135-144, 2007.

GOBBI, K. F. *et al.* Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capimbraquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p.1436-1444, 2011.

GUNASENA, H. P. M. *et al.* Dragon fruit *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton and Rose. *In:* PUSHPAKUMARA, D. K. N.; GUNASENA, H. P.M.; SINGH, V. P. (Ed.). **Underutilized fruit trees in Sri Lanka**. Naiobi: World Agroforestry Centre, 2007. p. 110-142.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E. **Propagacion de plantas: principios y practicas**. México: Compañía Editorial Continental, 1990. 760p.

KERBAUY, Gilberto Barbante. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. 431 p.

KIM, H. *et al.* **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Mexico: Fondo de Cultura Economica, 1918. 478 p.

LAMBERS, H.; CHAPIM III, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer, 1998. 540p.

LE BELLEC, F. *et al.* Pitahaya (*Hylocereus* ssp.): a new fruit crop, a market with future. **Fruits**, v. 61, p. 237-250. 2006.

LIMA, C. A. de. **Caracterização, propagação e melhoramento genético de pitaya comercial e nativa do cerrado**. 2013. 124f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

- MARQUES, V. B. *et al.* Fenologia reprodutiva de pitáia vermelha no município de Lavras, MG. **Ciência Rural**, v. 41, p. 984-987, 2011a.
- MARQUES, V.B. *et al.* Tamanho de cladódios na produção de mudas de pitáia vermelha. *Revista Caatinga*, v. 24, n. 4, p. 50-54, 2011b.
- MIZRAHI, Y.; NERD, A. Climbing and columnar cacti: new arid land fruit crops. In: JANICK, J.(Ed.). **Perspectives on new crops and new uses**. Alexandria: ASHS Press, 1999.
- NUNES, E. N. *et al.* Pitáia (*Hylocereus* sp.): uma revisão para o Brasil. **Gaia Scientia**, Areia, v. 8, p. 90-98, 2014.
- ORTIZ H, Y. D. **Hacia el conocimiento y conservación de la pitahaya (*Hylocereus* sp.)**. Oaxaca: Ed. IPN-CONACYT-SIBEJ-FMCN, 2000. 124p.
- ORTIZ-HERNÁNDEZ, Y. D.; CARRILLO-SALAZAR, J. A. Pitahaya (*Hylocereus spp.*): a short review. **Comunicata Scientiae**, v. 3, p. 220-237, 2012.
- ORTIZ-HERNÁNDEZ, Y. J. Pitahaya: Un Nuevo Cultivo para México. **Colección de Textos Politécnicos**. Serie Biotecnologías, Limusa/Noriega Editores, México, 1999. 111p.
- PASCALE, A. J.; DAMARIO, E. A. **Bioclimatología agrícola e agroclimatología**. Buenos Aires: Editorial Facultad Agronomía, 2004. 550p.
- PASQUAL, M. *et al.* Fruticultura Comercial: Propagação de plantas frutíferas. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 137p.
- PIMENTA, Barrios, E. **El nopal tunero**. Guadalajara, Jalisco, México, 1990. 246 p.
- PONTES FILHO *et al.* Comprimento de estacas e concentrações de ácido indolbutírico (AIB) na propagação vegetativa de pitáia. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 46-51, 2014.
- PROHORT. Programa Brasileiro de Modernização do Mercado Hortigranjeiro. <http://dw.prohort.conab.gov.br/pentaho/Prohort>. 2014.
- RAVEH, E. *et al.* **Pitayas (genus *Hylocereus*): a new fruit crop for the Negev Desert of Israel**. In: JANICK, J.; SIMON, J.E.(Eds.). *New Crops*. New York: Wiley, 1993. p. 491-495.
- RAVEH, E. *et al.* Responses of two hemiepiphytic fruit crop cacti to different degrees of shade. **Scientia Horticulturae**, v. 73, p. 151-164, 1998.
- SANTOS, C. M. G. *et al.* Substratos e regulador vegetal no enraizamento de estacas de pitaya. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 625-629, 2010.
- SCHLÜTER, U.; MUSCHAK, M.; BERGER D.; ALTMANN, T. Photosynthetic performance of an *Arabidopsis* mutant with elevated stomatal density (*sdd1-1*) under different light regimes. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, p. 867-874, 2003.
- SESMA, E. B. *et al.* Efeito de diferentes níveis de sombreamento sobre o crescimento inicial de *Jatropha curcas* L. em casa de vegetação. **Natureza online**, v. 7, p. 31-36, 2009.

SILVA, A. C. C.; MARTINS, A. B. G.; CAVALLARI, L. L. Qualidade de frutos de pitaya em função da época de polinização, da fonte de pólen e da coloração da cobertura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 1162-1168, 2011.

VARGAS-SANTIAGO, G. *et al.* Vegetative propagation of *Hylocereus undatus* and its relationship with substrate and IBA. **Cactaceas-succulentas-Mexicanas**, v. 48, p. 111-117, 2003.

WU, L. *et al.* Antioxidant and antiproliferative activities of red pitaya. **Food Chemistry**, v. 95, p. 319–327, 2006.

ZEE, F.; YEN, C. R.; NISHINA, M. Pitaya (Dragon Fruit, Strawberry Pear). **Fruits and Nuts**, Cooperative Extension Service, College of Tropical Agriculture and Human Resources, (CTAHR), University of Hawaii, v. 3, p. 1-3, 2004.

CAPÍTULO II – Crescimento, anatomia, pigmentos fotossintéticos, trocas gasosas e produção de pitaia vermelha sombreada artificialmente

RESUMO

Em pomares comerciais de pitaiia vermelha, no Ceará, é comum a presença de plantas com cladódios amarelados, principalmente nas épocas mais quentes do ano. Diante disso, realizou-se um estudo com o intuito de avaliar a interferência do sombreamento sobre o crescimento, anatomia, pigmentos fotossintéticos, trocas gasosas e produção de pitaiia vermelha. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos, cinco repetições e duas plantas por parcela. Os tratamentos foram constituídos pelos níveis de sombreamento: pleno sol, 35, 50; 65 e 80% de sombreamento. As avaliações foram divididas em duas etapas (180 e 365 dias), de modo a observar o efeito dos tratamentos sobre o crescimento inicial e o primeiro ciclo produtivo da cultura. A pitaiia vermelha, inicialmente (aos 180 dias), apresentou melhor desempenho sob condições de sombreamento, especialmente a 35% de sombra. No entanto, ao decorrer do seu ciclo, as plantas cultivadas a pleno sol foram as mais produtivas, com número de frutos, duas vezes superior às sombreadas. Para as condições edafoclimáticas de Fortaleza (CE) recomenda-se a produção de mudas em condições sombreadas de 35% e a implantação do pomar de pitaiia vermelha a pleno sol.

Palavras-chave: *Hylocereus* sp. Cactaceae. Frutíferas exóticas. Intensidade luminosa. Trocas gasosas.

ABSTRACT

In commercial orchards of red pitaya, in Ceará, is common the presence of plants with yellow cladodes, especially in the warmer seasons. Therefore, it was conducted a study, potted conditions the open field, in order to evaluate the effect of shading on growth, anatomy, pigments, gas exchange and production of red pitaya. The experimental design was a randomized block design (RBD), with five treatments, five replicates and two plants per plot. The treatments were composed of shading levels: full sun, 35, 50; 65 and 80% shading. The evaluations were divided into two stages (180 and 365 days) in order to observe the effect of treatments on the initial growth and the first production culture's cycle. After 180 days there was the analysis of vegetative characters and gas exchange, whereas at 365 days were analyzed, morphology, anatomy, pigmentation, gas exchange and production of red pitaya. Initially (at 180 days), the red pitaya, performed better under shade conditions, especially the 35% shade. However, the course of its cycle, plants grown in full sun were the most productive, with number of fruits, twice the shaded. To soil and climatic conditions of Fortaleza (CE) is recommended to grow plants in shaded conditions 35% and the implementation of the red pitaya orchard in full sun.

Keywords: *Hylocereus* sp. Cactaceae. Exotic fruit. Light intensity. Gas exchange.

1 INTRODUÇÃO

A pitaia vermelha está distribuída, principalmente, na América Central, em países, como Costa Rica, El Salvador, Guatemala e México (DONADIO, 2009). No Ceará, a produção está concentrada nos municípios de Limoeiro do Norte e Quixeré, e ocorre durante o ano inteiro, com pequeno decréscimo nos meses mais chuvosos, que normalmente se estendem de janeiro a abril (NUNES et al., 2014).

A produtividade média de pitaia vermelha oscila de 10 a 30 t ha⁻¹, a qual varia em função das condições edafoclimáticas, técnicas de cultivo e idade do pomar (LE BELLEC et al., 2006). Dentre os fatores ambientais, a luz age na regulação de vários processos do desenvolvimento, como a taxa fotossintética líquida, biossíntese de pigmentos, assimilação de nitrogênio, anatomia foliar, dentre outros (SESMA et al., 2009).

A pitaia vermelha é encontrada espontaneamente em condições de sub-bosque, em florestas tropicais da América, sob baixa radiação luminosa, que leva a crer que quando cultivada comercialmente faz-se necessária a instalação de um sistema de proteção contra a incidência direta dos raios solares sobre a planta. Nesse contexto, estudos preliminares foram realizados em Israel (MIZRAHI & NERD, 1999; RAVEH et al., 1998), os quais atestaram a necessidade de sombreamento, conforme as condições locais.

Em cultivos comerciais no Ceará, a condução é realizada em pleno sol, evidenciando-se a presença de muitos cladódios amarelados, principalmente nas épocas mais quentes do ano. A influência desses danos sobre o crescimento e produção de pitaia vermelha é uma incógnita. Diante do exposto, objetivou-se avaliar a interferência do sombreamento sobre o crescimento, anatomia, pigmentos fotossintéticos, trocas gasosas e produção de pitaia vermelha, cultivada nas condições climáticas em Fortaleza (CE).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da área experimental, delineamento estatístico e detalhamento da montagem do experimento I

O experimento I foi conduzido no período de agosto de 2013 a agosto de 2014, em vaso, no Setor de Horticultura do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE (3°43'02" de latitude S e 38°32'35" de longitude W; altitude de 19,6 m) (IPECE, 2011). De acordo com a classificação de Köppen (1918), o clima é do tipo Aw'. Trata-se de uma região pertencente ao grupo de clima tropical chuvoso, com temperatura média anual de 26,5 °C. Dados meteorológicos referentes à temperatura e umidade relativa (máxima, mínima e média), precipitação, insolação e evaporação total, durante o período experimental, foram adquiridos na Estação Meteorológica do Campus do Pici, Fortaleza (CE) (Tabela 1).

Tabela 1. Dados meteorológicos registrados durante o período de condução do experimento, compreendido entre agosto de 2013 e agosto de 2014. Fortaleza (CE), 2014.

Meses	Temperatura (°C)			Umidade Relativa (%)			Insolação Total (h)	Evaporação Total (mm)	Precipitação Total (mm)
	9h	15h	21h	9h	15h	21h			
Ago-2013							294,1	159,4	15,6
Max	29,2	31,0	27,4	87	67	91			
Min	26,4	29,7	26,0	45	48	75			
Med	28,0	29,0	26,5	63	57	80			
Set - 2013							301,5	154,7	16,7
Max	29,8	31,0	27,0	89	72	88			
Min	25,6	20,8	26,0	42	50	74			
Med	28,3	29,3	26,5	64	59	79			
Out - 2013							319,4	189,0	5,7
Max	31,6	31,0	27,0	86	68	86			
Min	26,6	28,2	26,0	43	48	38			
Med	29,3	29,8	26,6	60	58	77			
Nov - 2013							256,4	130,1	10,1
Max	30,2	30,4	27,0	83	59	86			
Min	28,6	29,2	26,2	53	50	72			
Med	29,1	28,8	26,7	64	78	79			
Dez - 2013							313,8	136,5	5,4
Max	30,4	31,6	28,8	90	81	89			
Min	26,0	26,0	26,4	57	51	69			
Med	29,2	31,6	27,2	66	60	77			
Jan - 2014							236,4	118,9	50,0
Max	30,4	31,2	27,6	92	83	90			
Min	24,4	26,8	27,6	54	51	73			
Med	28,2	29,9	27,0	71	62	81			
Fev - 2014							180,4	104,8	124,4
Max	29,6	31,0	27,4	98	75	90			
Min	23,0	28,0	26,0	63	54	76			
Med	28,0	29,6	26,7	74	64	82			
Mar - 2014							207,0	112,1	219,0
Max	30,0	30,8	28,0	94	81	91			
Min	25,4	27,6	26,2	66	60	75			
Med	28,3	29,4	26,9	75	68	82			
Abr - 2014							150,0	76,9	272,0
Max	30,4	31,0	28,8	98	92	97			
Min	24,2	26,4	24,8	64	72	72			
Med	27,7	29,3	27,0	81	85	85			
Mai - 2014							181,6	67,5	255,6
Max	29,0	31,0	27,6	97	87	97			
Min	24,4	26,8	24,6	69	61	79			
Med	27,6	29,4	26,7	80	70	86			
Jun -							237,0	116,3	34,0

2014									
Max	29,4	30,8	27,8	92	70	88			
Min	25,6	27,8	25,8	52	49	78			
Med	28,1	29,8	26,8	68	61	83			
Jul - 2014							273,6	149,0	43,2
Max	29,8	30,0	27,2	97	77	90			
Min	24,2	27,0	24,4	50	46	75			
Med	27,7	29,2	26,3	65	59	80			
Ago - 2014							311,8	191,1	10,5
Max	29,2	30,6	27,0	77	66	84			
Min	26,8	27,8	25,4	46	50	72			
Med	28,3	29,6	26,3	59	56	78			

O delineamento estatístico foi em blocos casualizados (DBC) com cinco tratamentos de sombreamento (0, 35, 50, 65 e 80%), cinco repetições e duas plantas úteis por parcela.

Nos tratamentos de sombreamento foram utilizadas telas sombrites de PVC. As telas sombrites com 1,50 m de largura foram posicionadas na extensão da linha de cultivo a 1,80 m do solo, presas em arame liso, sustentado com estacas e mourões.

Na implantação do experimento foram utilizadas mudas de pitaia vermelha (*Hylocereus* sp.) com 120 dias de idade, formadas a partir de propágulos, com aproximadamente 25 cm de comprimento (LIMA, 2013; MARQUES et al., 2011b; PONTES FILHO et al.; SILVA, 2014), coletados em plantas matrizes cultivadas no Setor de Horticultura. As mudas foram transplantadas “com torrão” para vasos de 11 dm³, preenchidos com substrato de areia, argila e composto orgânico na proporção de 1:1:1, com base em volume (Tabela 2).

Tabela 2 – Características químicas do substrato utilizado para o preenchimento dos vasos.

M.O.	pH	P	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H+Al	C/N	V
g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	.....	.....	cmol dm ⁻³	.....				%
28,86	7,0	30	1,82	5,8	2,2	1,72	0,25	1,16	10	91

Extratores: P, K e Na – Mehlich; Ca, Mg e Al – KCl; H+Al – Acetato de cálcio; pH – Água

Após o enraizamento e emissão das primeiras brotações, as mudas foram podadas, deixando-se apenas uma brotação e, em seguida, os vasos foram transferidos para condições de campo, espaçados em 0,70 m na linha de cultivo e 2,00 m entre as linhas e posicionados sobre uma base tijolo de 0,10 m de altura. Aos 60 dias, iniciou-se o tutoramento das plantas com amarração das emissões laterais a uma estaca de madeira, com aproximadamente 1,20 m de altura (Anexos 1 e 2).

2.2. Tratos culturais

O controle de plantas daninhas foi realizado por capina manual, ao longo da área experimental, e por retirada manual no interior dos vasos. A irrigação foi realizada por sistema de irrigação localizado (acoplado à tubulação de polietileno, após perfuração da mesma), aplicando-se 850 mL de água por vaso, duas vezes ao dia, durante quatro minutos, contabilizando 4,76 L por semana. Essas informações técnicas foram estimadas com base em resultados obtidos para o cultivo de *Hylocereus undatus* (MIZHARI; NERD, 1999) e *Hylocereus* sp. (MIZHARI, 2014).

As adubações de macro e micronutrientes foram realizadas manualmente, solubilizados em água, em intervalos de 30 dias, à exceção do potássio que foi aplicado a cada 15 dias, a partir sexto mês (180 dias). As doses seguiram as recomendações de Almeida et al. (2014) e Corrêa et al., (2014), e foram as seguintes: 4,10 g vaso⁻¹ de cloreto de potássio; 10,49 g vaso⁻¹ de superfosfato triplo; 19,67 g vaso⁻¹ de sulfato de amônio; e 0,60 g vaso⁻¹ de FTE BR-12.

Exceto o superfosfato triplo e o FTE BR-12 que foram aplicados em quantidade total, durante o transplântio, as doses dos demais adubos foram divididas em doze parcelas iguais, sendo solubilizada em quantidade total (x50 vasos), em 5 L de água, a cada mês de aplicação. A solução nutritiva foi aplicada através de copos plásticos de 50 ml.

2.3 Análises

2.3.1 Análises de crescimento

Aos 180 e 365 dias após a instalação do experimento (fases de crescimento inicial e produção inicial, respectivamente), fez-se a avaliação biométrica das plantas. Os caracteres vegetativos avaliados, aos 180 dias, foram os seguintes:

- ✓ Diâmetro de emissões secundárias (DES) – determinado pela medição da porção mediana das emissões secundárias (medido no sentido transversal do cladódio, com auxílio de paquímetro digital). Os resultados foram expressos em milímetros (mm);
- ✓ Espessura de emissões secundárias (EES) – determinada pela medição da porção mediana das costilhas superiores (medido no sentido transversal da costilha, com auxílio de paquímetro digital). Os resultados foram expressos em milímetros (mm);

- ✓ Número de emissões laterais (NEL) – determinado pelo contagem dos cladódios laterais. Os resultados foram expressos em unidades (un);
- ✓ Somatório do comprimento dos cladódios (SCEL) – determinado pelo somatório do comprimento das emissões laterais (medido com trena milimetrada, no sentido longitudinal de cada cladódio). Os resultados foram expressos em centímetros (cm).

Aos 365 dias, avaliaram-se o SCEL, NEL, assim como, o:

- ✓ Diâmetro de emissões terminais (DET) – determinado pela medição da porção mediana das emissões terminais (medido no sentido transversal do cladódio, com auxílio de paquímetro digital). Os resultados foram expressos em milímetros (mm);
- ✓ Espessura de emissões terminais (EET) – determinada pela medição da porção mediana das costilhas superiores de cladódios terminais (medido no sentido transversal da costilha, com auxílio de paquímetro digital). Os resultados foram expressos em milímetros (mm);
- ✓ Massa fresca de emissões laterais (MFEL) – medida pela pesagem das emissões laterais (frescas). Os resultados foram expressos em gramas (g);
- ✓ Massa seca de emissões laterais (MSEL) – medida pela pesagem das emissões laterais, secas em estufa de ar forçado (65 °C), durante 120 horas. Os resultados foram expressos em gramas (g).

2.3.2 Análise de trocas gasosas

As características de assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática ao vapor de água (g_s), transpiração (E), concentração interna de CO₂ (C_i), razão entre as concentrações interna e ambiente de CO₂ (C_i/C_a) foram medidas aos 180 e 365 dias, em sistema aberto e concentração de CO₂ ambiente, utilizando-se um analisador portátil de gás no infravermelho – IRGA (modelo LCI System ADC, Bioscientific Ltd. Hoddesdon, UK). As eficiências intrínsecas (A/g_s) e instantâneas (A/E) do uso da água e a eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) foram estimadas pelo quociente da assimilação líquida do carbono com a condutância estomática ao vapor de água, transpiração e concentração interna de CO₂, respectivamente.

Em virtude de a pitaia vermelha ser uma planta com metabolismo CAM, as avaliações de trocas gasosas foram realizadas durante o período noturno (02:00 às 04:00 h). Esse horário foi definido, em ensaio experimental, como o período de máxima fixação de CO₂ pela cultura. As avaliações foram realizadas em cladódios secundários sadios e vigorosos. Foi

necessário fazer uma adaptação na pinça do IRGA, para poder determinar essas características fisiológicas.

2.3.3 Análises de pigmentos fotossintéticos

As amostras para a determinação dos teores de clorofila *a*, *b* e total, e de carotenóides foram coletadas aos 365 dias e analisadas pelo método descrito por Wellburn (1994). Foi coletado um disco de 1,0 cm de diâmetro em cladódios maduros, representativos de cada tratamento e colocados em tubos de ensaio contendo 3 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) saturado com CaCO₃, os quais foram previamente revestidos com papel alumínio e permaneceram tampados durante toda a análise. Em seguida, as amostras foram incubadas a 65°C, em banho-maria, por 30 minutos. Decorrido esse tempo e após atingir-se a temperatura ambiente, os discos vegetativos foram retirados e o extrato de pigmentos foi utilizado para a determinação da absorvância a 665, 649 e 480 nm, respectivamente.

Os discos foliares foram lavados, para a retirada do excesso de solução, e secos a 60°C, por 48 h, em estufa, para a obtenção de sua massa seca. Os teores de clorofila *a* (C_a), clorofila *b* (C_b), clorofila total (C_t) e carotenóides foram calculados com base nas seguintes equações: C_a = (12,47 × A₆₆₅) - (3,62 × A₆₄₉); C_b = (25,06 × A₆₄₉) - (6,5 × A₆₆₅); C_t = (7,15 × A₆₆₅) + (18,71 × A₆₄₉); Carotenóides = (1000 × A₄₈₀ - 1,29 × C_a - 53,78 × C_b)/220, em que A representa a absorvância em um respectivo comprimento de onda. Os resultados foram expressos em µg g⁻¹ MS

2.3.4 Análises anatômicas

As análises anatômicas foram realizadas em cladódios de plantas cultivadas a pleno e sob 80% de sombreamento que representaram os dois extremos dos tratamentos analisados. Em laboratório, foram realizadas secções transversais e longitudinais nas faces abaxial e adaxial dos cladódios coletados nos referidos níveis de intensidade luminosa. Após, os procedimentos iniciais foram definidos oito variações de tratamento: pleno sol, face abaxial, transversal; pleno sol, face abaxial, longitudinal; pleno sol, face adaxial, transversal; pleno sol, face adaxial, longitudinal; 80% de sombreamento, face abaxial, transversal; 80% de sombreamento, face abaxial, longitudinal; 80% de sombreamento, face adaxial, transversal; e 80% de sombreamento, face adaxial, longitudinal.

As amostras foram fixadas em glutaraldeído 1% e *p*-formadeído 4% em tampão fosfato de sódio 0,1M, pH 7,2, por 24 horas (Karnovisk, 1965). Após a fixação, as amostras foram lavadas em tampão fosfato e água destilada. Em seguida foram desidratadas em uma bateria crescente de etanol e embebidas em kit de Histo-resina (Jung). Posteriormente à polimerização da resina foram realizadas secções de 4-5 µm em micrótomo semi-automático SLEE 5062. As secções em lâmina de vidro foram corados com Azul de Toluidina 0,025% pH 4,0, um corante catiônico, utilizado para detecção de basofilia e basofiliametacromática (Vidal, 1977), e com azul de astra e safranina (soluções aquosas a 1%, na proporção 9:1 v/v) (BUKATSCH, 1972, modificado por KRAUS; ARDUIN, 1997).

A obtenção de imagens e medições do tecido primário (espessura da cutícula e hipoderme) foi realizada em microscópio de luz (Modelo BX41, Olympus Optical) acoplado a uma câmera digital (Modelo UC30) e um computador, utilizando-se o *software* “CELL”. Foram realizadas 50 medições para todos os tratamentos que possibilitaram a estimativa quantitativa do tecido primário (cutícula, epiderme e hipoderme).

2.3.5 Produção

A produção de frutos foi avaliada após 185 dias de avaliação, quando as plantas iniciaram o desenvolvimento reprodutivo. A quantidade, em unidades de frutos colhidos, foi quantificada pela contagem de frutos colhidos por planta de cada parcela.

2.3.6 Análise de dados

Os dados foram submetidos à análise de variância. Para os casos em que a hipótese de nulidade foi rejeitada, procedeu-se a comparação de médias através de análise de regressão (características vegetativas), na qual o eixo das abscissas foi representado pelos níveis de sombreamento (0, 35, 50, 65 e 80%) e o eixo das ordenadas foi expresso pela característica vegetativa analisada. As trocas gasosas e pigmentos foram comparados pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$) e apresentados em gráficos do tipo “coluna”, compostos pelas médias e os erros padrões de cada tratamento, em virtude dessas variáveis representarem medidas fisiológicas e/ou bioquímicas pontuais.

As estimativas das correlações fenotípicas foram obtidas entre a maioria dos caracteres avaliados, aos 180 e 365 dias. Como nem todos os caracteres foram considerados importantes

para o estudo, resolveu-se promover as análises subsequentes apenas para os caracteres com correlação de média a elevada magnitude com a variável de produção (aos 365 dias).

Com o intuito de desdobrar os coeficientes de correlação em efeitos diretos e indiretos, procederam-se as análises de trilha em cadeia única. Para isto, considerou-se como variável básica, a produção de frutos e as demais variáveis como explicativas. Assim, coeficientes de correlação de média a elevada magnitude entre a variável básica e as explicativas, foram desdobradas nas condições a pleno sol e a 80% de sombreamento.

No diagnóstico foi verificada a presença de multicolinearidade de magnitude moderada a severa. Em razão disto, realizou-se a análise de trilha sob multicolinearidade. Neste método, utilizou-se um procedimento similar ao da análise de regressão em cumeieira (CARVALHO; CRUZ, 1996).

Em contraste com a análise de trilha convencional, a análise de trilha sob multicolinearidade foi feita com a introdução de uma constante k na matriz de correlação $X'X$ para reduzir a variância associada com o estimador de quadrados mínimos da análise de trilha (CARVALHO; CRUZ, 1996). Assim, o sistema de equações normais $X'X\beta = X'Y$ torna-se $(X'X + k)\beta + X'Y$. Vinte e um valores de k ($k = 0,00; 0,05 \dots 1,00$) foram testados. O menor destes valores, que estabilizou os coeficientes de trilha, foi escolhido como recomendado por Carvalho & Cruz (1996).

As análises estatísticas foram realizadas com a utilização do programa estatístico computacional *Statistical Analysis System* (SAS) versão 9.1 (SAS Institute, 2003). Os diagnósticos de multicolinearidade e as análises de trilha foram realizadas com auxílio do Programa GENES-aplicativo computacional em Genética e Estatística (CRUZ, 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Efeito do sombreamento no crescimento de pitaia vermelha, aos 180 dias de avaliação

Os tratamentos ocasionaram efeito significativo ($p < 0,05$) sobre as características vegetativas: SCEL, NEL, DES e EES. Os valores dos coeficientes de variação oscilaram de 3,00 a 8,73%, o que indica boa precisão experimental (Tabela 3).

Tabela 3 – Resumo da análise de variância para os caracteres somatório do comprimento de emissões laterais (SCEL), número de emissões laterais (NEL), diâmetro de emissões secundárias (DES) e espessura de emissões secundários (EES) de pitaia vermelha, aos 180 dias após a instalação do experimento. Fortaleza (CE), 2015.

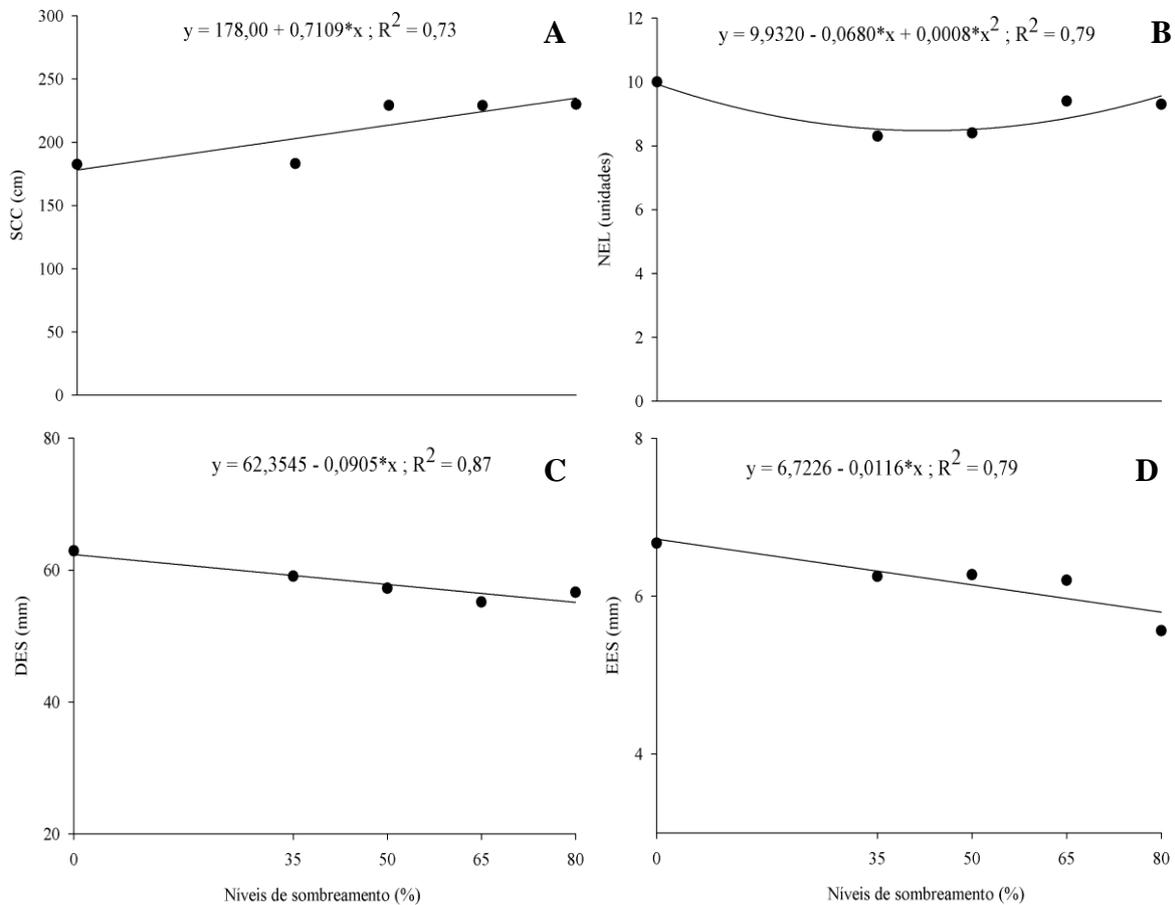
FV	GL	.....Quadrados Médios.....			
		SCEL	NEL	DES	EES
Sombreamento	4	3256,6089**	2,5850*	44,4766**	0,7968**
Blocos	4	64,0846 ^{ns}	0,7714 ^{ns}	2,3782 ^{ns}	0,0118 ^{ns}
Resíduo	16	176,9158	0,6288	3,0387	0,0488
C.V. (%)		6,31	8,73	3,00	3,57

FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; C.V. – Coeficiente de variação; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – Não Significativo.

O SCEL aumentou conforme o incremento dos níveis de sombreamento, sendo estimada uma amplitude de 56,87 cm, entre o SCEL de plantas cultivadas sob 80% de sombreamento e a pleno sol, que representaram a maior e menor média, respectivamente (Figura 1A). Esses resultados corroboram com Andrade et al. (2006) e Cavalcante et al. (2011), os quais constataram aumento no comprimento dos cladódios laterais de pitaias sombreadas.

É provável que o aumento de SCEL tenha ocorrido em virtude de um estiolamento nos cladódios de plantas sombreadas, tendo em vista que o número de brotações (NEL) das referidas plantas foi semelhante ao de plantas cultivadas a pleno sol. Ou seja, tanto as plantas sombreadas quanto a pleno sol apresentaram o mesmo número de brotações (NEL), porém sob condições sombreadas foram obtidos cladódios com magnitude de alongamento maior (SCEL).

Figura 1 – Influência do sombreamento sobre o crescimento vegetativo de pitaia vermelha, aos 180 dias após a instalação do experimento. 1A: somatório do comprimento dos cladódios (SCEL); 1B: número de emissões laterais (NEL); 1C: diâmetro de emissões secundárias (DES); espessura de emissões secundárias (EES). Fortaleza (CE), 2015.



No que concerne ao DES e EES, os maiores valores foram obtidos para plantas cultivadas em condições de pleno sol (Figuras 1C e 1D) e corroboraram com as constatações de Cavalcante et al. (2011), no cultivo sombreado de pitaia, em Bom Jesus (PI).

Gonçalves et al. (2010) e Sarijeva et al. (2007) sugeriram que o aumento da espessura de órgãos fotossintetizantes visa proteger o aparato fotossintético, regular os níveis internos de luz e CO_2 e permitir que maior volume de células sejam protegidas da desidratação e ressecamento pelo sol. Com isso, é provável que o aumento de EES a pleno sol funcionou como um mecanismo de foto-proteção da pitaia vermelha à intensa radiação solar presente nessa condição de luminosidade.

O aumento de SCEL e a redução de EES e DES em plantas sombreadas, especialmente sob níveis mais intensos de sombreamento (65 e 80%), pode ter culminado em estiolamento e se enquadra com as características descritas por Merten (2003) para cactáceas

estioladas. Conforme este autor, as plantas estioladas apresentam cladódios estreitos e alongados, semelhante aos observados no presente estudo.

3.2 Efeito do sombreamento nas trocas gasosas de pitaia vermelha, aos 180 dias de avaliação

Os tratamentos ocasionaram efeito significativo ($p < 0,05$) sobre as trocas gasosas de pitaia vermelha, representadas por A , g_s , E , A/g_s , A/E , C_i , C_i/C_a , A/C_i . Os valores dos coeficientes de variação oscilaram de 6,18 a 21,59%, o que indica boa precisão experimental (Tabela 4).

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para as variáveis de assimilação líquida do carbono (A), condutância estomática ao vapor de água (g_s), transpiração (E) e eficiência intrínseca de uso da água (A/g_s), de pitaia vermelha, aos 180 dias após a instalação do experimento. Fortaleza (CE), 2015.

FV	GL	.....Quadrados Médios.....			
		A	g_s	E	A/g_s
Sombreamento	4	68,0364**	0,0006*	0,0213**	14,5765**
Blocos	4	2,5088 ^{ns}	0,0002 ^{ns}	0,0023 ^{ns}	493,8693 ^{ns}
Resíduo	16	1,9242	0,0002	0,0016	252,2636
C.V. (%)		12,73	21,59	6,18	8,99
dms		2,69	0,026	0,078	30,83

FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; C.V. – Coeficiente de variação; dms – Diferença mínima significativa; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – Não Significativo.

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para as variáveis de eficiência instantânea de uso da água (A/E), concentração interna de CO_2 (C_i), relação C_i/C_a e eficiência de carboxilação (A/C_i), de pitaiá vermelha, aos 180 dias após a instalação do experimento. Fortaleza (CE), 2015.

FV	GL	.....Quadrados Médios.....			
		A/E	C_i	C_i/C_a	A/C_i
Sombreamento	4	95,1653**	1036,7464**	0,0067**	0,0014**
Blocos	4	3,2905 ^{ns}	15,1264 ^{ns}	0,00009 ^{ns}	0,00004 ^{ns}
Resíduo	16	4,0666	46,1164	0,0003	0,00004
C.V. (%)		12,20	2,99	2,93	12,64
dms		3,91	13,18	0,035	0,012

FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; C.V. – Coeficiente de variação; dms – Diferença mínima significativa; - Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – Não Significativo.

No que concerne às análises de trocas gasosas notou-se que o uso de telas sombrites de 35, 50 e 65% de sombreamento aumentou a taxa fotossintética. A maior média foi obtida sob 35% de sombra, seguidas por 50 e 65% de sombra, as quais não diferiram estatisticamente. As menores assimilações líquidas de carbono foram constatadas a pleno sol e 80% de sombra (Figura 2A).

É provável que o excesso de radiação, a pleno sol, possa ter culminado em danos ao aparato fotossintético ou limitação estomática (redução de A e g_s concomitante ao aumento de C_i), ao passo que o forte sombreamento (80%) induziu o estiolamento dos cladódios (aumento de SCEL e redução de EES) com consequente redução da capacidade de produção de fotoassimilados.

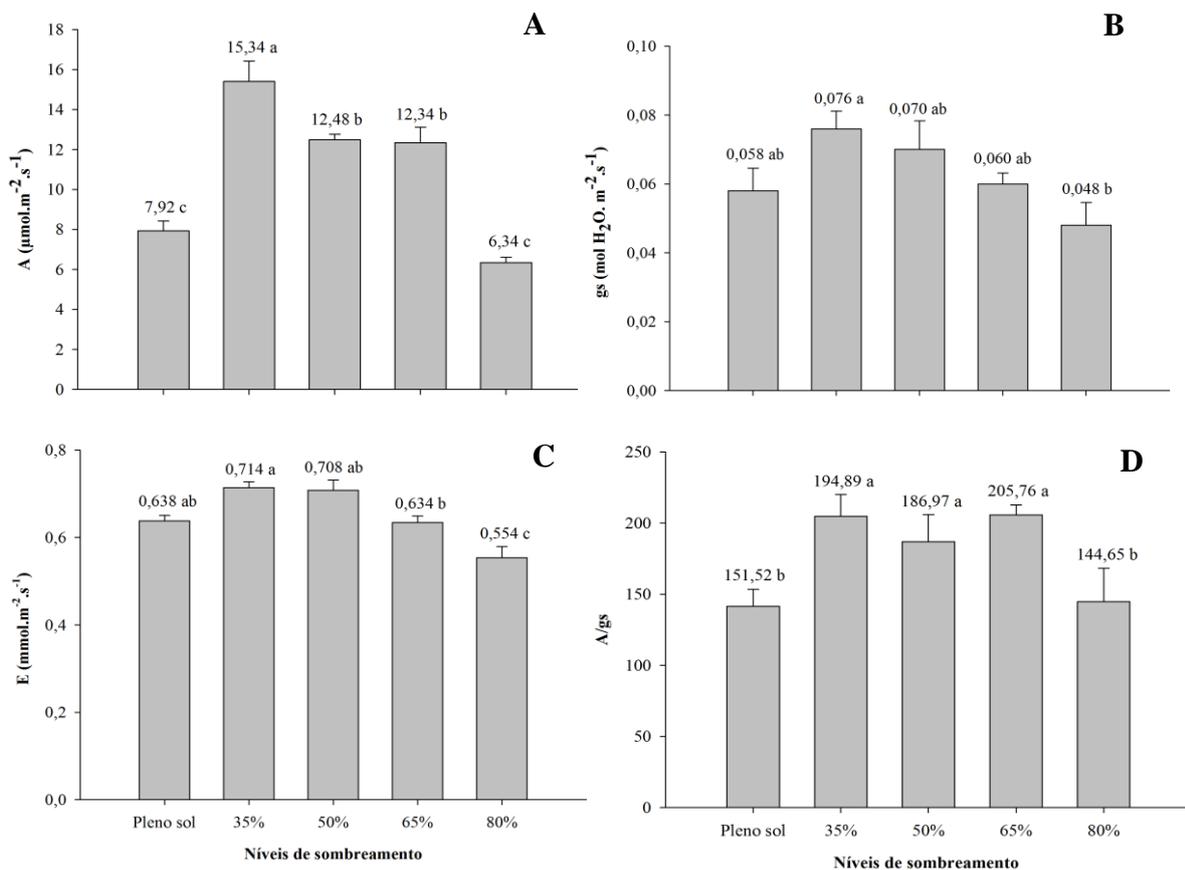
De acordo com Baliza et al. (2012), plantas cultivadas em elevado nível de sombra podem apresentar modificações anatômicas que limitam a fotossíntese, como por exemplo, a redução na espessura do órgão fotossintético, o que permite menor aproveitamento da radiação incidente.

Portanto, a menor EES nas plantas cultivadas a 80% de sombra pode ter ocasionado baixo aproveitamento da luz disponível, interferindo diretamente na produção de fotoassimilados.

A maior transpiração foi obtida a pleno sol, 35 e 50% de sombra, os quais não diferiram estatisticamente. Os resultados obtidos nos dois tratamentos sombreados citados (35 e 50% de sombra) podem ser explicados por Souza et al. (2011). Segundo os autores, a obtenção de valores transpiratórios mais elevados em plantas sombreadas deve-se à menor variação da umidade relativa do ar, geralmente comum a ambientes mantidos nessas

condições. Não obstante, a pleno sol, a total exposição à luminosidade pode ter proporcionado maior susceptibilidade às condições adversas de temperatura e umidade relativa do ar, culminando em maior perda de água via transpiração.

Figura 2 – Influência do sombreamento sobre as trocas gasosas de pitaiá vermelha aos 180 dias após a instalação do experimento. 2A: assimilação líquida de carbono (A); 2B: condutância estomática ao vapor de água (g_s); 2C: transpiração (E); 2D: eficiência intrínseca de uso da água (A/g_s). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Fortaleza (CE), 2015.



Em geral, o aumento da transpiração se associou ao incremento da condutância estomática. As maiores foram obtidas a pleno sol, 35, 50 e 65% de sombra, as quais não diferiram estatisticamente. O menor valor foi evidenciado a 80% de sombra, possivelmente, devido a sua baixa capacidade produtiva.

Embora tenha ocorrido aumento de g_s e E numa proporção linear, sob 35, 50 e 65% de sombra, as plantas apresentaram elevadas eficiências de uso da água, representadas pelas relações A/g_s e A/E (Figuras 2D e 3A). Segundo Oliveira et al. (2011), as estimativas da eficiência de uso da água relacionam quanto de água é perdida via transpiração para que a planta consiga integrar uma molécula de CO_2 em algum composto orgânico.

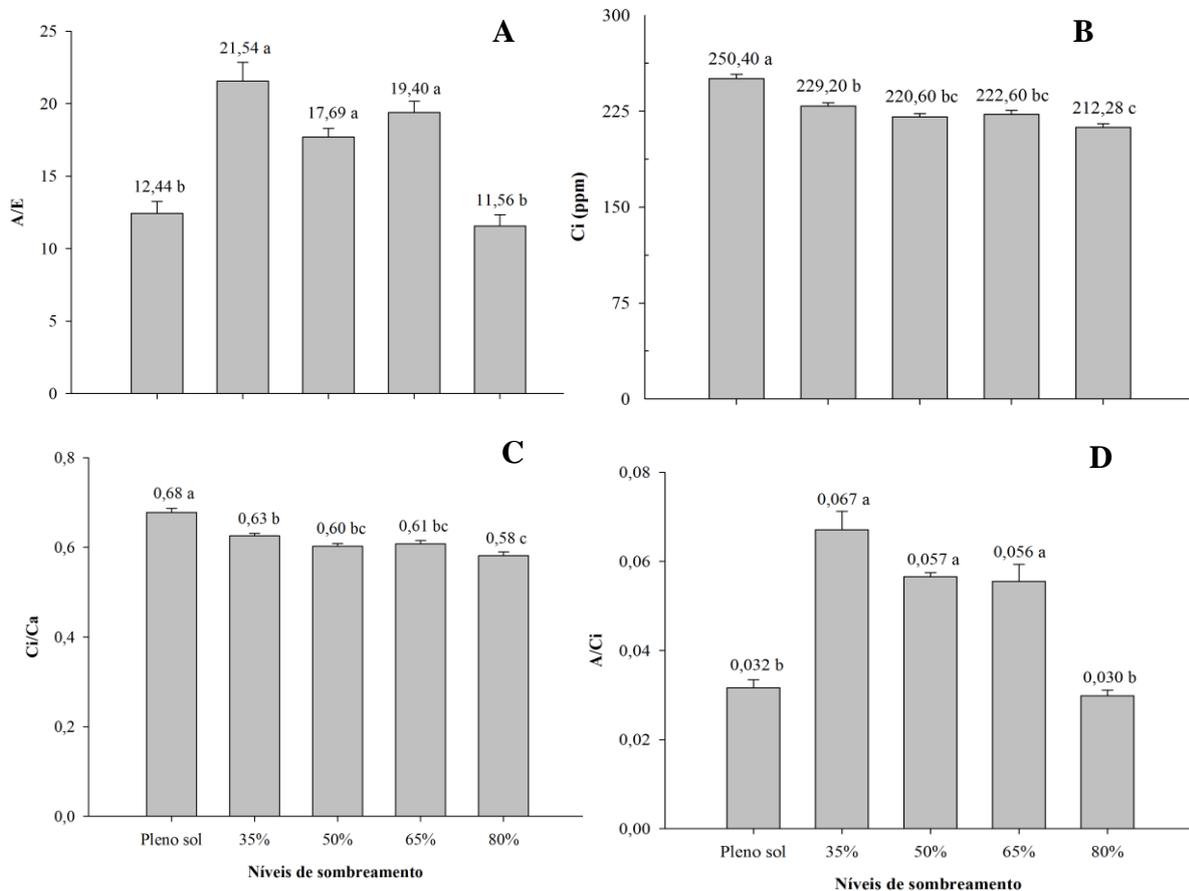
Gomes (2014) complementou que, fisiologicamente, as cactáceas caracterizam-se por apresentarem um tipo específico de metabolismo, denominado metabolismo CAM, o qual constitui um sistema altamente eficiente no uso da água quando comparado aos demais metabolismos (C3 e C4).

Graham e Nobel (2005) reportaram que a transpiração e o movimento de água no caule de pitiaia devem influenciar no crescimento em diâmetro, especificamente sobre condições de estresse. Portanto, é provável que o maior DES observado em plantas cultivadas a pleno sol esteja relacionado a um mecanismo de armazenamento de água e consequente aclimação às condições adversas.

No que se refere à C_i , a maior média foi obtida a pleno sol. O aumento de C_i sob essa condição de luminosidade pode ser relacionado à queda da atividade fotossintética por limitação estomática. Ou seja, um alto valor de C_i associado aos baixos valores de g_s , indicaria um decréscimo na eficiência de carboxilação, com posterior redução de A .

No que diz respeito à eficiência de carboxilação (A/C_i), os menores valores foram obtidos para o cultivo a pleno sol e 80% de sombreamento (Figura 3D). A pleno sol, o resultado pode ser justificado pelo aumento de C_i que ocasionou uma redução na condutância estomática (g_s) e fotossíntese (A). Já, sob 80% de sombreamento, a relação A/C_i foi baixa, em virtude da reduzida capacidade produtiva (A), possivelmente associada à limitação na etapa fotoquímica da fotossíntese pela baixa disponibilidade de radiação luminosa.

Figura 3 – Influência do sombreamento sobre as trocas gasosas de pitaia vermelha, aos 180 dias após a instalação do experimento. 3A: eficiência instantânea de uso da água (A/E); 3B: concentração interna de CO_2 (C_i); 3C: relação C_i/C_a ; 3D: eficiência de carboxilação (A/C_i). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Fortaleza (CE), 2015.



Em resumo, aos 180 dias de avaliação, os melhores resultados foram obtidos a 35% de sombra, e encontra-se entre a faixa de 30 a 60% de sombreamento, recomendada por Nobel e De La Barrera (2004), e Mizrahi e Nerd (1999), para cultivos comerciais de pitaia. Isso demonstra que a pitaia vermelha apresenta exigências de sombreamento na fase de crescimento inicial.

Portanto, a utilização de sombrites com a intenção de provocar reduções gradativas na radiação solar disponível para as plantas, foi adequada para os direcionamentos desse estudo, pois, constatou-se que o crescimento e as trocas gasosas de pitaia vermelha foram afetados positivamente pelas condições de sombreamento, especialmente sob 35% de sombra.

3.3 Correlação fenotípica de Pearson (r_f) entre caracteres vegetativos e de trocas gasosas

Para as correlações existentes entre os caracteres vegetativos e trocas gasosas, a pleno sol observou-se que a assimilação líquida de carbono (A) se correlacionou positivamente com as eficiências de uso da água e número de emissões laterais.

É possível que, até os 180 dias, as plantas cultivadas sob total exposição à radiação luminosa tenham restringido a captação de carbono e a fotossíntese, em virtude da baixa eficiência da água. Ou seja, hipoteticamente as plantas aumentaram os seus mecanismos de reserva de água e fotoassimilados, com conseqüente redução da capacidade produtiva. Nesse contexto, o crescimento vegetativo a pleno sol ocorreu através de várias e pequenas brotações com fortes correlações de NEL com A, A/E e A/g_s.

No que se refere ao diâmetro e espessura dos cladódios secundários de plantas cultivadas a pleno, observaram-se fortes correlações negativas entre essas variáveis e a eficiência de uso da água. Isso nos permite afirmar que o engrossamento e espessamento dos cladódios se associaram tanto ao acúmulo de água e fotoassimilados, quanto à foto-proteção contra o excesso de luz no ambiente de cultivo. Sob baixa de uso da água houve maior predisposição ao mecanismo de armazenamento com conseqüente redução da assimilação líquida de carbono.

Para o cultivo sob 80% de sombra podem-se destacar as fortes correlações positivas existentes entre o crescimento vegetativo (SCEL e NEL) e o aumento de g_s e E. Nesse ambiente de cultivo o incremento de massa verde não culminou em interferência positiva sobre a assimilação líquida de carbono, pelo contrário, ele diminuiu a eficiência de uso água (A/E e A/g_s). A EES se correlacionou negativamente com a fotossíntese (A), provavelmente devido ao estiolamento (cladódios finos, alongados e com baixa capacidade produtiva).

Tabela 2. Coeficientes de correlação fenotípica de Pearson (r_f) entre caracteres de trocas gasosas [concentração interna de CO₂ (C_i), transpiração (E), condutância estomática ao vapor de água (g_s), assimilação líquida de carbono (A), eficiência de carboxilação (A/C_i), eficiência instantânea de uso da água (A/E), eficiência intrínseca de uso da água (A/g_s)] e vegetativos [somatório do comprimento (SCEL), número de emissões laterais (NEL), diâmetro (DES) e espessura de emissões secundárias (EES)], sob condições de pleno sol (diagonal superior) e 80% de sombra (diagonal inferior), aos 180 dias após a instalação do experimento. Fortaleza (CE), 2015.

Caráter	C_i	E	g_s	A	A/C_i	A/E	A/g_s	SCEL	NEL	DES	EES
C_i		0,54	0,94*	0,41	-0,10	0,23	-0,83	0,52	0,02	0,37	-0,07
E	-0,68		0,53	0,01	0,24	-0,31	-0,63	-0,32	0,00	0,80	0,71
g_s	-0,15	0,83		0,40	0,08	0,22	-0,89*	0,29	0,00	0,47	0,13
A	0,07	-0,48	-0,68		0,62	0,95*	0,06	0,45	0,88*	-0,48	-0,29
A/C_i	0,00	0,00	0,00	0,00		0,50	0,22	-0,42	0,79	-0,10	0,45
A/E	0,40	-0,85	-0,88*	0,87*	0,00		0,25	0,54	0,83	-0,71	-0,51
A/g_s	-0,10	-0,66	-0,97**	0,69	0,00	0,81		-0,10	0,42	-0,76	-0,30
SCEL	-0,45	0,77	0,62	0,08	0,00	-0,40	-0,49		0,14	-0,49	-0,88
NEL	0,65	0,08	0,62	-0,44	0,00	-0,33	-0,77	0,06		-0,55	-0,11
DES	-0,10	0,40	0,35	0,35	0,00	-0,03	-0,32	0,88*	0,08		0,77
EES	-0,18	0,15	0,18	-0,82	0,00	-0,56	-0,17	-0,51	0,04	0,79	

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t respectivamente. Os demais foram não significativos.

3.4 Efeito do sombreamento no crescimento de pitaita vermelha, aos 365 dias de avaliação

Os níveis de sombreamento ocasionaram efeito significativo ($p < 0,05$) sobre as características vegetativas (SCEL, NEL, DET, EET, MFPA, MSPA) de pitaita vermelha, analisadas aos 365 dias. Os valores dos coeficientes de variação oscilaram de 3,12 a 9,88% e indicam boa precisão experimental.

Tabela 7 – Resumo da análise de variância para os caracteres somatório do comprimento de emissões laterais (SCEL), número de emissões laterais (NEL), diâmetro de emissões terminais (DET), espessura de emissões terminais (EET), massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA) de pitaita vermelha, aos 365 dias após a instalação do experimento. Fortaleza (CE), 2015.

FV	GL	Quadrados Médios					
		SCEL	NEL	DET	EET	MFPA	MSPA
Sombreamento	4	9758,1078**	2,6600*	55,0357**	1,6511**	465085,4896**	9633,9809**
Blocos	4	204,9385 ^{ns}	0,8600 ^{ns}	0,3724*	0,0143 ^{ns}	8587,8496 ^{ns}	538,4916 ^{ns}
Resíduo	16	236,2328	0,6600	3,2427	0,0634	31808,3446	925,6699
C. V. (%)		4,16	5,37	3,12	4,15	8,50	9,88

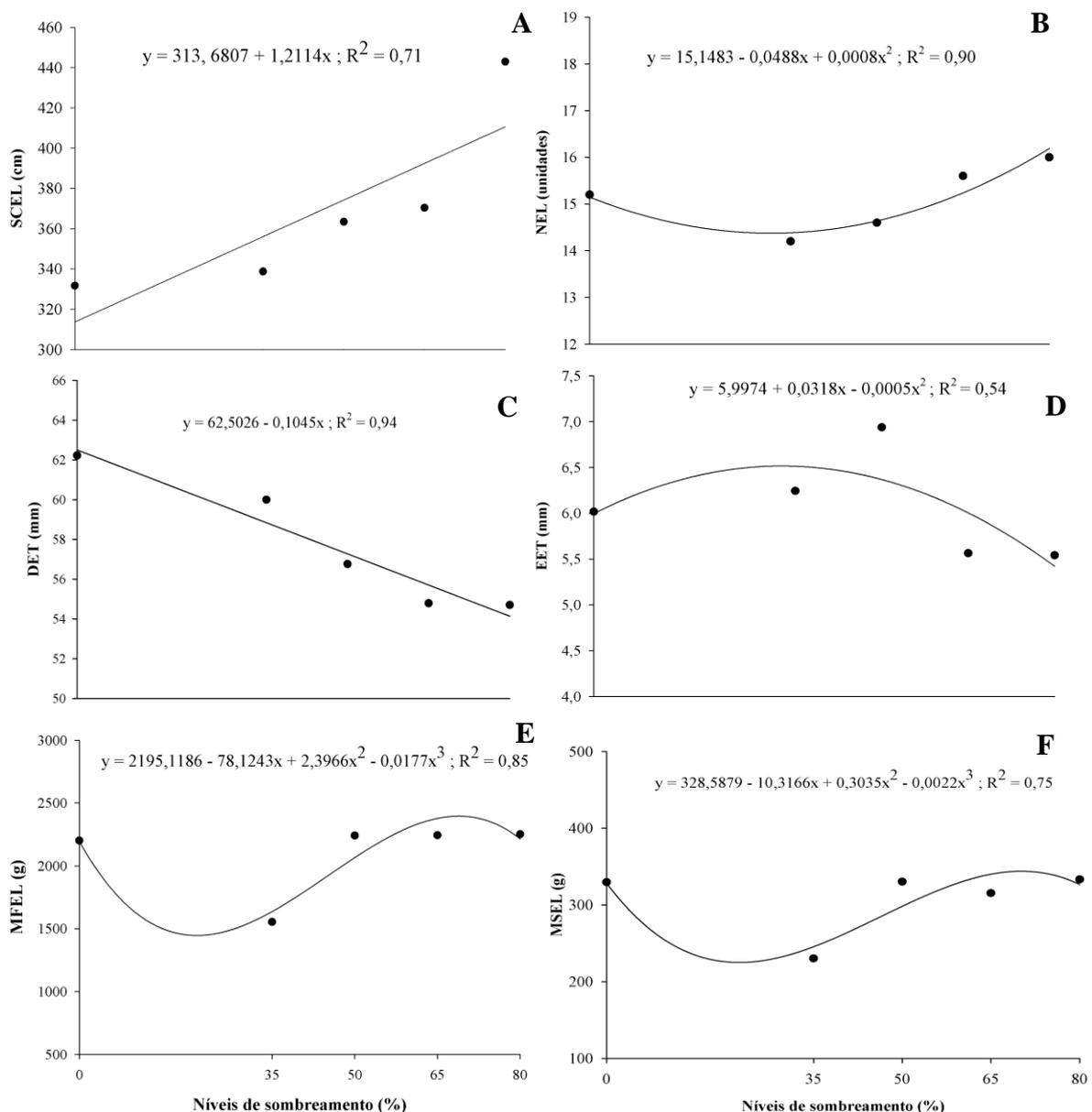
FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; C.V. – Coeficiente de variação; dms – Diferença mínima significativa; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – Não Significativo.

O SCEL aumentou linearmente conforme o incremento dos níveis de sombreamento no cultivo de pitaita vermelha (Figura 4A). A maior média foi obtida sob 80% de sombra e as plantas cultivadas nesta condição apresentaram um crescimento vegetativo, em torno de 97,91 cm, superior às cultivadas a pleno sol. Andrade et al. (2006) e Cavalcante et al. (2011) também obtiveram maiores alongamentos de cladódios em condições sombreadas, sendo os resultados mais expressivos encontrados sob 50 e 80% de sombreamento, respectivamente.

As plantas cultivadas sob 80% de sombreamento, similarmente, apresentaram maior NEL, evidenciando-se elevado crescimento vegetativo via aumento de NEL e SCEL (Figuras 4A e 4B). No que se refere a pleno sol, constatou-se que o crescimento vegetativo ocorreu pela emissão de inúmeras e pequenas brotações laterais. É provável que o modo de crescimento a pleno sol seja uma aclimação às condições ambientais mais adversas (sem proteção à radiação solar), ao passo que o elevado incremento vegetativo evidenciado sob os

tratamentos sombreados, especialmente sob 65 e 80% de sombra, pode ser decorrente de estiolamento.

Figura 4 – Influência do sombreamento sobre o crescimento vegetativo de pitaiá vermelha, aos 365 dias após a instalação do experimento. 4A: somatório do comprimento de emissões laterais (SCEL); 4B: número de emissões laterais (NEL); 4C: diâmetro de emissões terminais (DET); 4D: espessura de emissões terminais (EET); 4E: massa fresca de emissões laterais; 4F: massa seca de emissões laterais. Fortaleza (CE), 2015.



O DET diminuiu linearmente com o aumento do sombreamento (Figura 4C). É provável que o maior DET, a pleno sol, tenha ocorrido como mecanismo de resposta à total exposição à radiação luminosa e demonstra que as emissões terminais apresentaram

aclimação semelhante às brotações secundárias, que foram emitidas no início do crescimento vegetativo e medidas aos 180 dias.

Em relação ao EET, as plantas cultivadas sob 65 e 80% de sombreamento apresentaram menor espessamento dos cladódios. Ao comparar DET, EET e SCEL (Figuras 4A, 4C e 4D) resultantes dessas duas condições de luminosidade, observou-se que, de modo geral, as plantas apresentaram-se com cladódios finos e alongados com características semelhantes às citadas por Merten (2003) para cactáceas estioladas. Segundo este autor, o principal problema do estiolamento é a severa redução da floração e produção de frutos. Portanto, o sombreamento pode ocasionar o estiolamento de pitáia vermelha com reflexos negativos na produção de frutos. Isso porque aos 365 dias, foi aproximadamente duas vezes inferior à obtida a pleno sol.

As maiores MFPA e MSPA foram observadas nos dois extremos dos tratamentos testados, ou seja, a pleno sol e sob 80% de sombreamento, o que possivelmente, deveu-se ao aumento de DET a pleno sol e de SCEL e NEL em 80% de sombra (Figuras 4E e 4F).

3.5 Efeito do sombreamento nos pigmentos fotossintéticos de pitáia vermelha, aos 365 dias de avaliação

Os níveis de sombreamento ocasionaram efeito significativo ($p < 0,05$) sobre os pigmentos fotossintéticos (*clor a*, *clor b*, *clor t* e *caroten*) de pitáia vermelha, analisados aos 365 dias. Os valores dos coeficientes de variação oscilaram de 8,14 a 14,16% e indicam boa precisão experimental (Tabela 8).

Tabela 8 – Resumo da análise de variância para as variáveis bioquímicas: teores de clorofila *a* (*clor a*), clorofila *b* (*clor b*), clorofila total (*clor t*), carotenóides (*caroten*), de pitaia vermelha, aos 365 dias após a instalação do experimento. Fortaleza (CE), 2015.

FV	GL	.....Quadrados Médios.....			
		<i>Clor a</i>	<i>Clor b</i>	<i>Clor t</i>	<i>Caroten</i>
Sombreamento	4	59657,8838**	41186,9138**	209143,1014**	28,7916**
Blocos	4	1520,3040 ^{ns}	693,5407 ^{ns}	3192,4335 ^{ns}	2,9081 ^{ns}
Resíduo	16	612,2033	593,7725	1793,8301	13,3394
C.V. (%)		8,17	10,85	8,14	14,16
dms		48,02	47,29	82,20	7,09

FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; C.V. – Coeficiente de variação; dms – Diferença mínima significativa; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – Não Significativo.

No que se refere aos teores de clorofila *a*, *b* e total, as plantas cultivadas a pleno sol apresentaram os menores valores, o que pode estar associado à intensa luminosidade, pois em condições sombreadas aconteceu resposta recíproca (maior acúmulo) (Figuras 5A, 5B e 5C). Segundo Taiz e Zeiger (2013), o acréscimo de clorofila total em plantas sombreadas ocorre para aumentar a eficiência de captação luminosa, pois nessas condições, a luz é um fator escasso. Isso corrobora o fato de que as plantas sombreadas, especialmente a 65 e 80% de sombra, acumularam maior teor de clorofila total que a pleno sol.

Com o aumento do sombreamento até 65%, incrementou-se em 284,90 $\mu\text{g g}^{-1}$, o teor de clorofila *a* nos cladódios. Entretanto, sob 80% de sombreamento houve uma inversão representada por baixo acúmulo de clorofila *a* e maior teor de clorofila *b* na extensão dos cladódios (Figuras 5A, 5B e 5C). Apesar disso, as plantas cultivadas sob 65 e 80% de interceptação luminosa exibiram teores semelhantes de clorofila total, os quais foram estatisticamente superiores às demais condições de luminosidade.

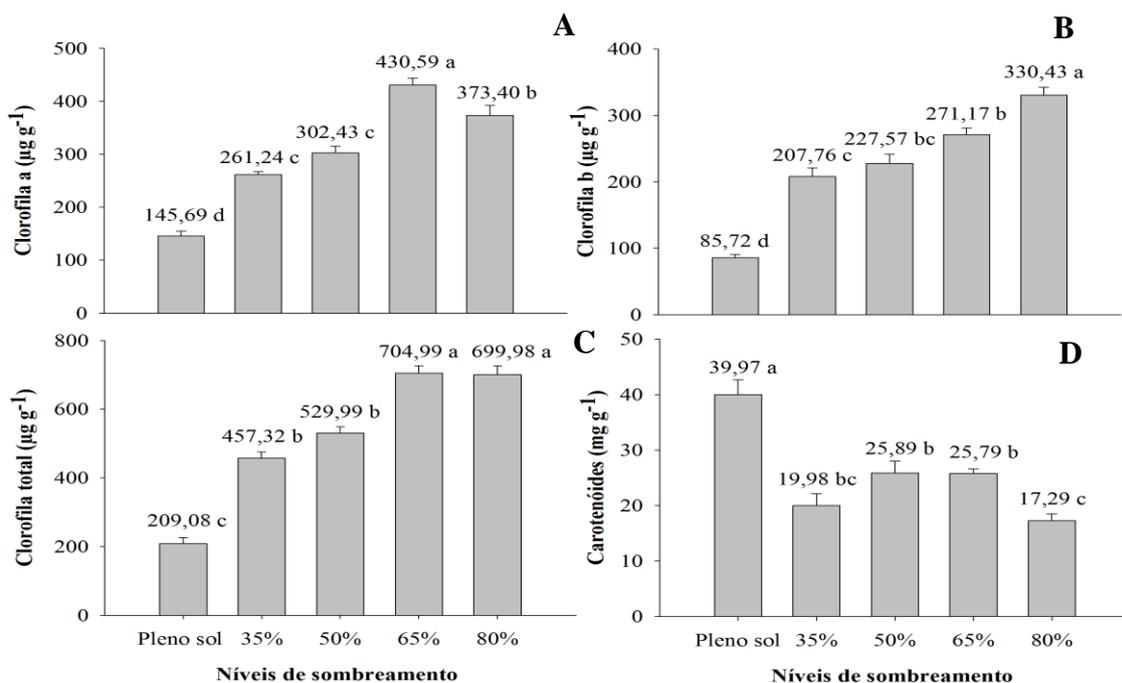
De acordo com Taiz e Zeiger (2013), as plantas sombreadas exibem maior teor de clorofila por centro de reação, apresentam razão clorofila *b* e clorofila *a* mais alta, e geralmente seus órgãos fotossintéticos são mais finos do que em plantas não sombreadas. Segundo Lima et al. (2010), geralmente, a proporção entre clorofila *b* e *a* aumenta com o incremento do sombreamento, porque a clorofila *b* apresenta degradação mais lenta do que a clorofila *a* e é beneficiada pelo acúmulo de fotossistema II, o qual é rico em clorofila *b*. Desse modo, a capacidade das plantas em maximizar a captação luminosa em ambientes sombreados está principalmente relacionada com a relação clorofila *a/b*.

Diversos trabalhos, como os de Martins et al. (2009) e Souza et al. (2011), relataram maiores teores de clorofila total em plantas sombreadas comparativamente às de pleno sol e se enquadram com os resultados expostos no presente estudo.

No que diz respeito ao teor de carotenóides constatou-se acúmulo antagônico ao presenciado para clorofila total, pois, em geral, os cladódios com menores teores de clorofila total apresentaram elevado acúmulo de carotenóides.

As plantas cultivadas a pleno sol, apresentaram o maior teor de carotenóides, o que pode explicar a coloração intensamente amarelada nos cladódios sob essa condição de luminosidade (Figura 5D). Teoricamente o maior acúmulo de carotenóides nessa condição de luminosidade trata-se de um mecanismo de foto-proteção da pitáia vermelha à intensa luminosidade, uma vez que os carotenóides são pigmentos com função foto-protetora e agem através da rápida extinção dos estados excitados da clorofila, protegendo-a da foto-oxidação, conforme descreveu Oliveira et al. (2009).

Figura 5 – Influência do sombreamento sobre os pigmentos de pitáia vermelha, aos 365 dias após a instalação do experimento. 5A: clorofila *a* (A); 5B: clorofila *b*; 5C: clorofila total; 5D: carotenóides. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Fortaleza (CE), 2015.



3.6 Efeito do sombreamento nas trocas gasosas de pitaia vermelha, aos 365 dias de avaliação

Os níveis de sombreamento ocasionaram efeito significativo ($p < 0,05$) sobre a produção e trocas gasosas (A , g_s , E , C_i , C_i/C_a , A/g_s , A/E e A/C_i) de pitaia vermelha, analisadas aos 365 dias. Os valores dos coeficientes de variação oscilaram de 2,93 a 20,45% e indicam boa precisão experimental (Tabelas 9 e 10).

Tabela 9 – Resumo da análise de variância para as variáveis de produção (prod), assimilação líquida do carbono (A), condutância estomática ao vapor de água (g_s), transpiração (E) e eficiência intrínseca de uso da água (A/g_s), de pitaia vermelha, aos 365 dias após a instalação do experimento. Fortaleza (CE), 2015.

FV	GL	.....Quadrados Médios.....				
		Prod	A	g_s	E	A/g_s
Sombreamento	4	4,2400**	19,3828**	0,0006*	0,4152**	181,0064 ^{ns}
Blocos	4	0,4400 ^{ns}	0,6554 ^{ns}	0,00006 ^{ns}	0,5317 ^{ns}	350,9936 ^{ns}
Resíduo	16	0,4900	0,8373	0,0002	0,0356	595,4882
C.V. (%)		26,56	8,09	18,17	12,04	14,53
dms			1,78	0,024	0,37	47,36

FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; C.V. – Coeficiente de variação; dms – Diferença mínima significativa; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – Não Significativo.

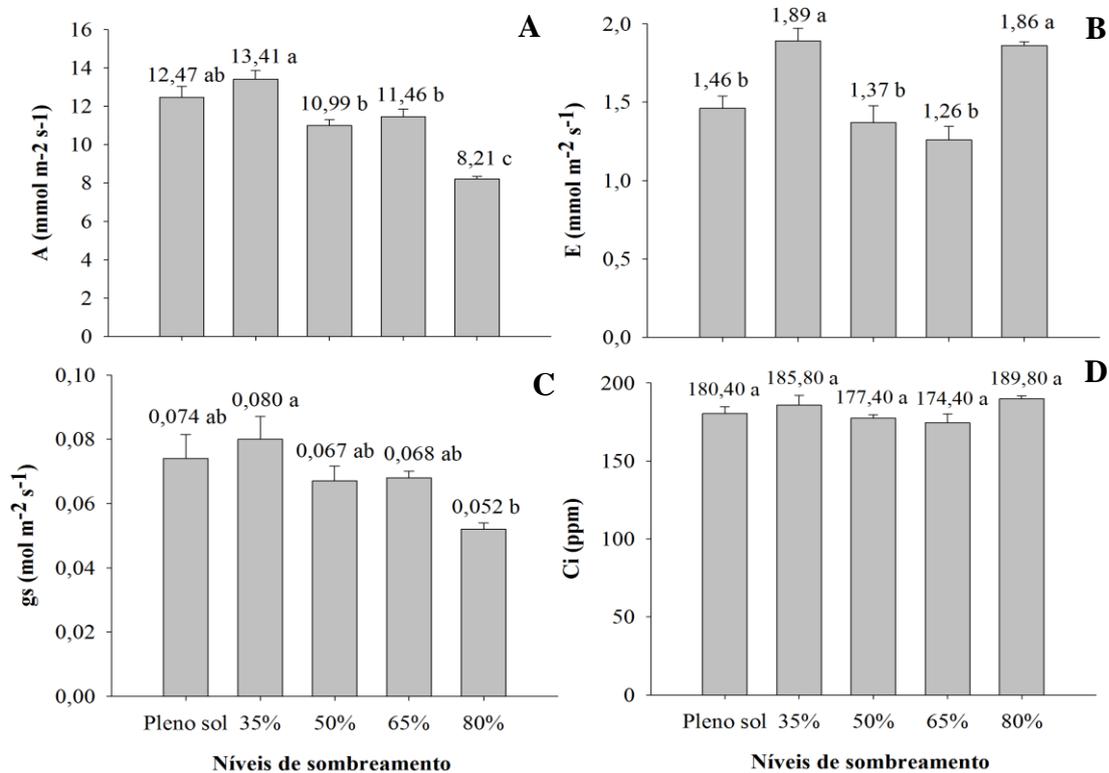
Tabela 10 – Resumo da análise de variância para as variáveis de eficiência instantânea de uso da água (A/E), concentração interna de CO_2 (C_i), relação C_i/C_a e eficiência de carboxilação (A/C_i), de pitaia vermelha, aos 365 dias após a instalação do experimento. Fortaleza (CE), 2015.

FV	GL	.....Quadrados Médios.....			
		A/E	C_i	C_i/C_a	A/C_i
Sombreamento	4	18,3037**	194,7400 ^{ns}	0,0076**	0,0007**
Blocos	4	0,1996*	130,5400 ^{ns}	0,00009 ^{ns}	0,00003 ^{ns}
Resíduo	16	2,3893	87,6900	0,0003	0,00003
C.V. (%)		20,45	5,16	2,93	8,64
dms		3,00	18,18	0,035	0,105

FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; C.V. – Coeficiente de variação; dms – Diferença mínima significativa; * - Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – Não Significativo.

A assimilação líquida de carbono (A) oscilou de 8,21 a 13,41 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, e os melhores rendimentos foram a pleno sol e sob 35% de sombreamento, respectivamente, os quais não diferiram estatisticamente (Figura 6A). Embora, a pleno sol, as plantas apresentem reduzido crescimento vegetativo (SCEL, NEL) e baixo acúmulo de clorofila total, a pitaiia vermelha demonstrou sob essa condição luminosa, boa aclimatação para captar a radiação fotossinteticamente ativa, resultando em expressiva média de A e significativa conversão dos fotoassimilados na produção de frutos (Figuras 4A, 4B, 5C e 6A).

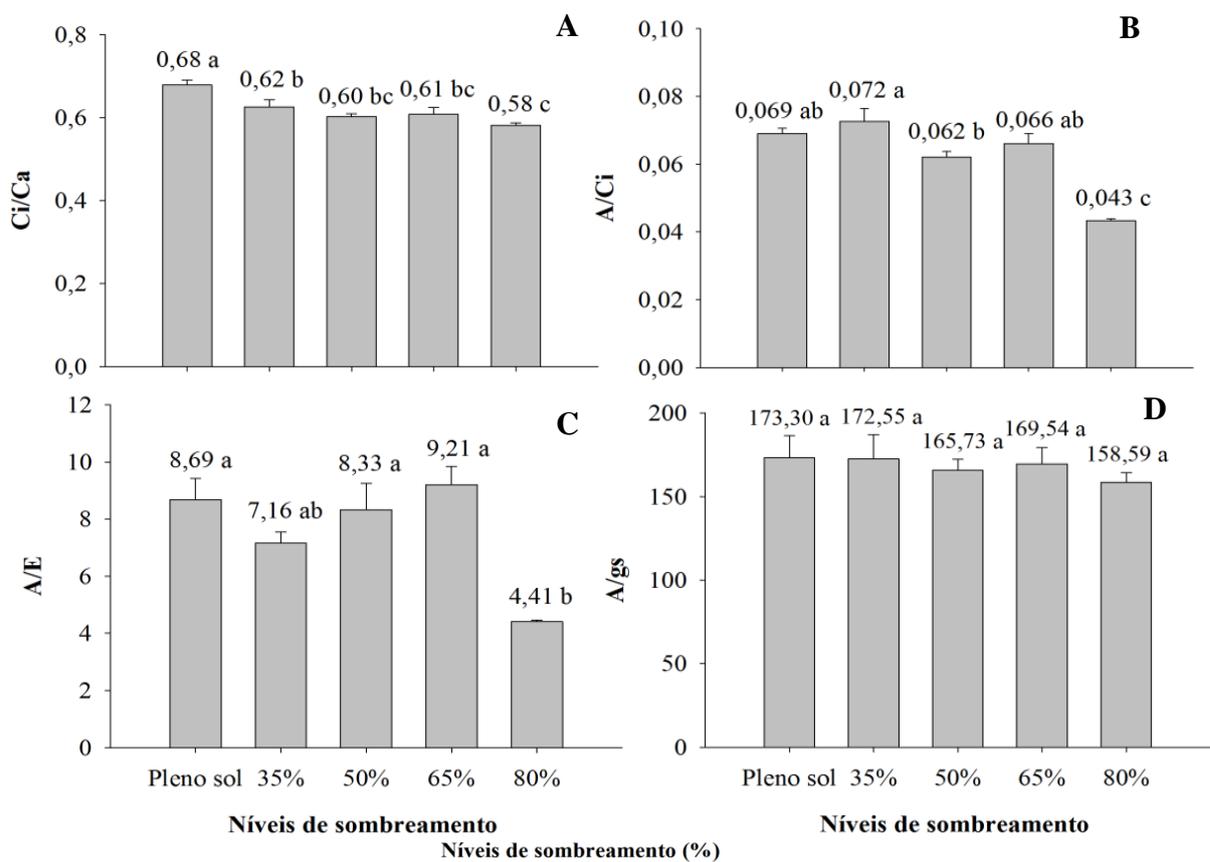
Figura 6 – Influência do sombreamento sobre as trocas gasosas de pitaiia vermelha, aos 365 dias após a instalação do experimento. 6A: assimilação líquida de carbono (A); 6B: transpiração (E); 6C: condutância estomática ao vapor de água (g_s); 6D: concentração interna de CO_2 (C_i). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Fortaleza (CE), 2015.



Os cultivos a pleno sol, 50 e 65% de sombreamento apresentaram alta A e menor perda de água (E), conseqüentemente, houve maior eficiência instantânea de uso da água (A/E). É provável que a maior parte dos fotoassimilados sintetizados nas plantas cultivadas a pleno sol tenha sido investida na produção de frutos, a qual foi aproximadamente duas vezes superior aos tratamentos sombreados (35, 50, 65 e 80%) (Figura 8).

Embora tenha ocorrido expressiva eficiência instantânea de uso da água (A/E) sob 50 e 65% de sombra, certamente os fotoassimilados investidos no incremento de massa verde através de SCEL, NEL, MFPA e MSPA, interferiram para que, aos 365 dias, a produção de frutos sob tais condições, não fosse tão significativa quanto a pleno sol (Figura 7C).

Figura 7 – Influência da interceptação luminosa sobre as trocas gasosas de pitaiá vermelha, aos 365 dias após a instalação do experimento. 7A: relação C_i/C_a ; 7B: eficiência de carboxilação (A/C_i); 7C: eficiência instantânea de uso da água (A/E); 7D: eficiência intrínseca de uso da água (A/g_s). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Fortaleza (CE), 2015



3.7 Correlação fenotípica de Pearson (r_f) entre os caracteres de trocas gasosas, pigmentos fotossintéticos, vegetativos e de produção

Em relação às correlações entre os caracteres vegetativos, de trocas gasosas e de pigmentos fotossintéticos com a produção de frutos (PROD), a pleno sol, observou-se associação deste último com somatório do comprimento das emissões laterais (SCEL) e espessura de emissões terminais (EET). Estimativas de média a elevada magnitude foram verificadas entre a produção de frutos e transpiração (E), eficiência instantânea no uso da água (A/E) e número de emissões laterais (NEL). É muito provável que essas relações não tenham sido detectadas pelo teste t, em razão do baixo número de observações contempladas no presente trabalho.

A associação positiva entre EET e PROD possivelmente se deva ao maior número de pontos para emissão de flores e, por consequência, de frutos. Por outro lado, a relação negativa entre SCEL e PROD evidenciou que plantas mais produtivas foram aquelas de menor porte. Todavia, em condições sombreadas, o crescimento vegetativo parece ter sido incrementado pelo investimento de fotoassimilados no aumento de área para captação luminosa, comprovado pela correlação negativa de elevada magnitude entre SCEL e PROD.

Quanto às correlações entre os caracteres vegetativos, de trocas gasosas e de pigmentos fotossintéticos com a produção de frutos (PROD), a 80% de sombra, verificou-se associação deste último com o somatório do comprimento das emissões laterais (SCEL). Estimativas de média magnitude foram verificadas entre a produção de frutos e a eficiência instantânea no uso da água (A/E) e número de emissões laterais (NEL). É possível que essas relações não tenham sido detectadas pelo teste t, em razão do baixo número de observações contempladas no presente trabalho.

A correlação negativa entre A/E, SCEL e NEL com PROD provavelmente se deve à interferência negativa do estiolamento sobre a produção, a qual já havia sido reportada por Merten (2003), em estudos com cactáceas frutíferas cultivadas sob diferentes níveis de luminosidade.

Tabela 11. Coeficientes de correlação fenotípica de Pearson (r_f) entre caracteres de trocas gasosas [concentração interna de CO₂ (C_i), transpiração (E), condutância estomática ao vapor de água (g_s), assimilação líquida de carbono (A), eficiência de carboxilação (A/C_i), eficiência instantânea de uso da água (A/E), eficiência intrínseca de uso da água (A/g_s)], pigmentos fotossintéticos [clorofila a ($clor\ a$), b ($clor\ b$) e total ($clor\ t$), carotenóides ($caroten$)], vegetativos [somatório do comprimento (SCEL), diâmetro (DET) e espessura de emissões terminais (EET), massa fresca (MSPA) e seca da parte aérea (MSPA), número de emissões laterais (NEL)] e produção, sob condições de pleno sol (diagonal superior) e 80% de sombra (diagonal inferior), aos 365 dias após a instalação do experimento. Fortaleza (CE), 2015.

Caráter	C_i	E	g_s	A	A/C_i	A/E	A/g_s	Clor a	Clor b	Carot	SCEL	DET	EET	MSPA	NEL	PROD
C_i		-0,20	0,52	0,99**	0,67	0,62	-0,13	0,25	0,72	0,23	0,14	-0,82	-0,29	0,18	0,05	0,09
E	0,89*		0,08	-0,32	-0,37	-0,89*	-0,17	0,66	0,22	0,45	-0,48	0,21	0,73	-0,65	0,86	0,74
g_s	0,15	0,18		0,44	0,47	0,15	-0,91*	-0,01	0,20	0,52	0,64	-0,42	-0,58	-0,53	0,29	-0,30
A	0,29	0,64	0,18		0,69	0,72	-0,03	0,18	0,69	0,15	0,15	-0,82	-0,33	0,31	-0,07	0,03
A/C_i	0,15	0,48	-0,25	0,90*		0,61	-0,16	0,29	0,68	0,66	0,61	-0,95*	-0,54	-0,14	0,13	-0,38
A/E	-0,72	-0,42	-0,02	0,42	0,51		0,10	-0,41	0,16	-0,19	0,43	-0,55	-0,70	0,63	-0,67	-0,53
A/g_s	-0,03	0,10	-0,91*	0,25	0,62	0,20		0,19	0,17	-0,41	-0,65	0,03	0,54	0,65	-0,25	0,39
Clor a	0,28	0,15	0,83	-0,33	-0,70	-0,57	-0,85		0,83	0,63	-	-	-	-	-	0,47
Clor b	0,18	0,34	0,87	0,28	-0,15	-0,06	-0,73	0,76		0,60	-	-	-	-	-	0,43
Carot	0,39	0,43	-0,61	0,47	0,74	0,42	0,80	-0,77	-0,64		-	-	-	-	-	-0,06
SCEL	-0,61	-0,20	-0,15	0,41	0,46	0,75	0,32	-	-	-		-0,35	-0,91*	-0,33	-0,15	-0,89*
DET	-0,46	-0,52	0,71	-0,20	-0,42	0,36	-0,79	-	-	-	-0,05		0,31	0,06	-0,24	0,07
EET	0,50	0,21	0,21	-0,57	-0,73	-0,92*	-0,45	-	-	-	-0,61	-0,11		-0,05	0,49	0,91*
MSPA	-0,48	-0,57	0,30	-0,67	-0,82	-0,12	-0,58	-	-	-	0,11	0,47	0,47		-0,82	-0,02
NEL	0,56	0,84	0,00	0,68	0,56	-0,17	0,29	-	-	-	0,30	-0,64	0,07	-0,36		0,53
PROD	0,28	-0,12	-0,25	-0,44	-0,25	-0,50	0,06	-0,16	-0,43	0,38	-0,90*	0,00	0,19	-0,31	-0,56	

3.8 Análise de trilha: efeito dos caracteres vegetativos e de trocas gasosas sobre a variável de produção

Nas análises de trilha nas condições a pleno sol e a 80% de sombreamento foram utilizados valores de k bem baixos (Tabela 12). Nessas duas condições, os coeficientes de determinação foram acima de 80%. Isso indica que grande parte da variação da produção de frutos foi determinada pelos caracteres explicativos.

Em ambas as análises de trilha, não ocorreram valores que inflacionam as variâncias (VIFs) superiores a 10. Segundo Neter et al. (1983), os VIFs podem ser utilizados para detectar a existência de multicolinearidade. A existência de VIFs superiores a 10 pode indicar que os coeficientes de regressão associados a esses valores, tenham estimativas demasiadamente influenciadas pela multicolinearidade. Além do mais, os números de condição foram inferiores a 100 e indicaram, conforme Montgomery e Peck (1981), baixa colinearidade. Neste sentido, os resultados obtidos no presente estudo indicam que a multicolinearidade ocasionou pouco *viés* nas análises de regressão e que, portanto, estimativas confiáveis foram obtidas (CARVALHO; CRUZ, 1996).

Para E, 0,3610 do seu efeito sobre a produção foi positivo e direto, enquanto que para o NEL é importante destacar-se a maior parcela de efeitos indiretos sobre a variável básica, especialmente via transpiração (E) (Tabela 12).

É provável que o efeito positivo da transpiração sobre a produção de frutos, em ambas as correlações, esteja relacionado à captação do CO_2 , pois esses processos ocorrem simultaneamente à condutância estomática. Com a fixação do carbono poderia haver a produção de fotoassimilados que, a pleno sol, culminaria na possibilidade de maior parcela de carboidratos investidos na frutificação.

Ainda, em relação aos resultados obtidos na condição de pleno sol, constatou-se que a eficiência instantânea de uso da água (A/E), o somatório do comprimento (SCEL) e espessura de emissões terminais (EET) se correlacionaram negativamente com a variável básica. Provavelmente isso ocorreu, em virtude do aproveitamento preferencial de fotoassimilados para o incremento vegetativo, o que ocasionou dispêndio de energia que poderia ser utilizada na frutificação.

No que concerne ao desdobramento dos efeitos diretos e indiretos sob 80% de sombra, é importante destacar-se a correlação negativa do SCEL, NEL, E e A/E com PROD. Diferentemente do cultivo a pleno sol, no qual a transpiração exerceu efeito positivo sobre a variável básica, a 80% de sombra, a quantidade de água perdida via E pode ter sido maior que

a captação de carbono (A/E se correlacionou negativamente com PROD), o que culminou em baixa capacidade produtiva. Somado a isso, sob 80% de sombra, o incremento de massa verde (SCEL e NEL) pode ter ocorrido através de estiolamento, com drásticos efeitos negativos na frutificação.

Tabela 12. Estimativas dos efeitos diretos e indiretos, que envolvem a variável principal produção (PROD) e as variáveis independentes explicativas [transpiração (E), eficiência instantânea de uso da água (A/E), somatório do comprimento de emissões laterais (SCEL), espessura de emissões terminais (EET) e número de emissões laterais (NEL)] sob pleno sol e 80% de sombra, aos 365 após a instalação do experimento. Fortaleza (CE), 2015.

Caráter	Efeitos de Associação	Estimativa		VIFs	
		Pleno sol		80% de ...	
E	Direto sobre PROD	0,361	7,055	-0,043	4,841
	Indireto via A/E	-0,282	2,620	0,157	0,920
	Indireto via SCEL	0,273	1,088	0,143	0,138
	Indireto via EET	0,167	3,295	-0,111	0,157
	Indireto via NEL	0,190	2,470	-0,261	3,318
	Total	0,738		-0,119	
A/E	Direto sobre PROD	0,317	3,848	-0,476	6,315
	Indireto via E	-0,322	4,802	0,018	0,705
	Indireto via SCEL	-0,243	0,867	-0,537	1,958
	Indireto via EET	-0,161	3,034	0,477	2,929
	Indireto via NEL	-0,148	1,496	0,053	0,136
	Total	-0,532		-0,501	
SCEL	Direto sobre PROD	-0,564	5,447	-0,772	4,140
	Indireto via E	-0,174	1,409	0,009	0,161
	Indireto via A/E	0,137	0,613	-0,284	2,986
	Indireto via EET	-0,209	5,149	0,317	1,290
	Indireto via NEL	-0,033	0,075	-0,093	0,416
	Total	-0,890		-0,891	
EET	Direto sobre PROD	0,230	7,253	-0,516	4,116
	Indireto via E	0,263	3,205	-0,009	0,185
	Indireto via A/E	-0,221	1,610	0,348	4,493
	Indireto via SCEL	0,514	3,868	0,437	1,298
	Indireto via NEL	0,108	0,793	-0,021	0,021
	Total	0,912		0,189	
NEL	Direto sobre PROD	0,221	3,900	-0,310	5,603
	Indireto via E	0,311	4,469	-0,036	2,866
	Indireto via A/E	-0,212	1,476	0,064	0,153
	Indireto via SCEL	0,085	0,105	-0,213	0,308
	Indireto via EET	0,112	1,474	-0,035	0,015
	Total	0,535		-0,559	
Coeficiente de determinação		0,9282		0,8226	
Valor de k usado na análise		0,0812		0,0964	
Número de condição		45,007		29,195	
Efeito residual		0,2679		0,4213	
Determinante da matriz $X'X$		0,0171		0,0368	

3.9 Efeito do sombreamento nas características anatômicas de pitaia vermelha

Embora a pitaia vermelha seja uma espécie semi-epífita, as suas características morfoanatômicas e de trocas gasosas, como caule suculento fotossintético (cladódio), folhas modificadas em espinhos, epiderme recoberta por cutícula espessa, hipoderme colenquimática, parênquima aquífero, estruturas secretoras de mucilagem e trocas gasosas noturna de CO₂ (metabolismo CAM), revelam que a referida cultura apresenta xeromorfismo (Figuras 9 e 10).

O xeromorfismo consiste em adaptações típicas das cactáceas, relatadas em estudos botânicos realizados por Gibson e Nobel (1986), Terrazas e Arias (2003), Mauseth (2006), e Ayoma e Mazzoni-Viveiros (2006), em diferentes cactáceas, inclusive do gênero *Hylocereus*.

Dentre as secções anatômicas coletadas em cladódios de plantas cultivadas a pleno sol e sob 80% de sombreamento, apenas a transversal na face abaxial propiciou comparação entre as médias de espessura da cutícula e epiderme-hipoderme. Para os demais tratamentos foram possíveis apenas caracterizações, representadas pelas médias e o desvio padrão, e/ou identificação das estruturas anatômicas apresentadas em imagens microscópicas.

Figura 9. Secções transversais da face abaxial de cladódios de pitáia vermelha cultivada sob diferentes níveis de luminosidade. 9A, 9B, 9C: pleno sol (PPS 1T); 9D, 9E e 9F: 80% de sombreamento (P80 1T). ct = cutícula; e = epiderme; esm = estrutura secretora de mucilagem; hp= hipoderme; p = parênquima. Barras: A, B, C, D, E, F = 100 µm. Fortaleza (CE), 2015. Fonte: O autor (2015).

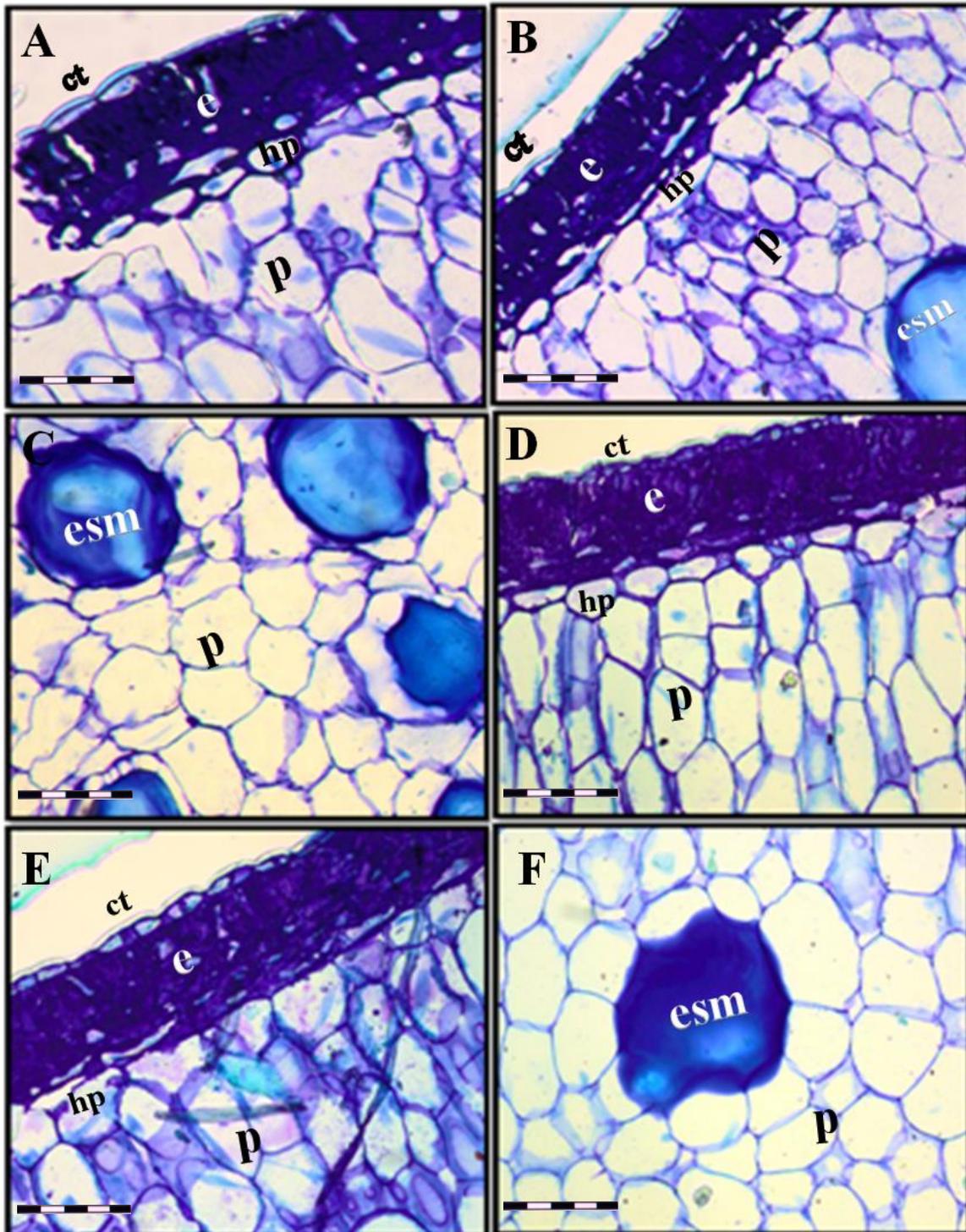
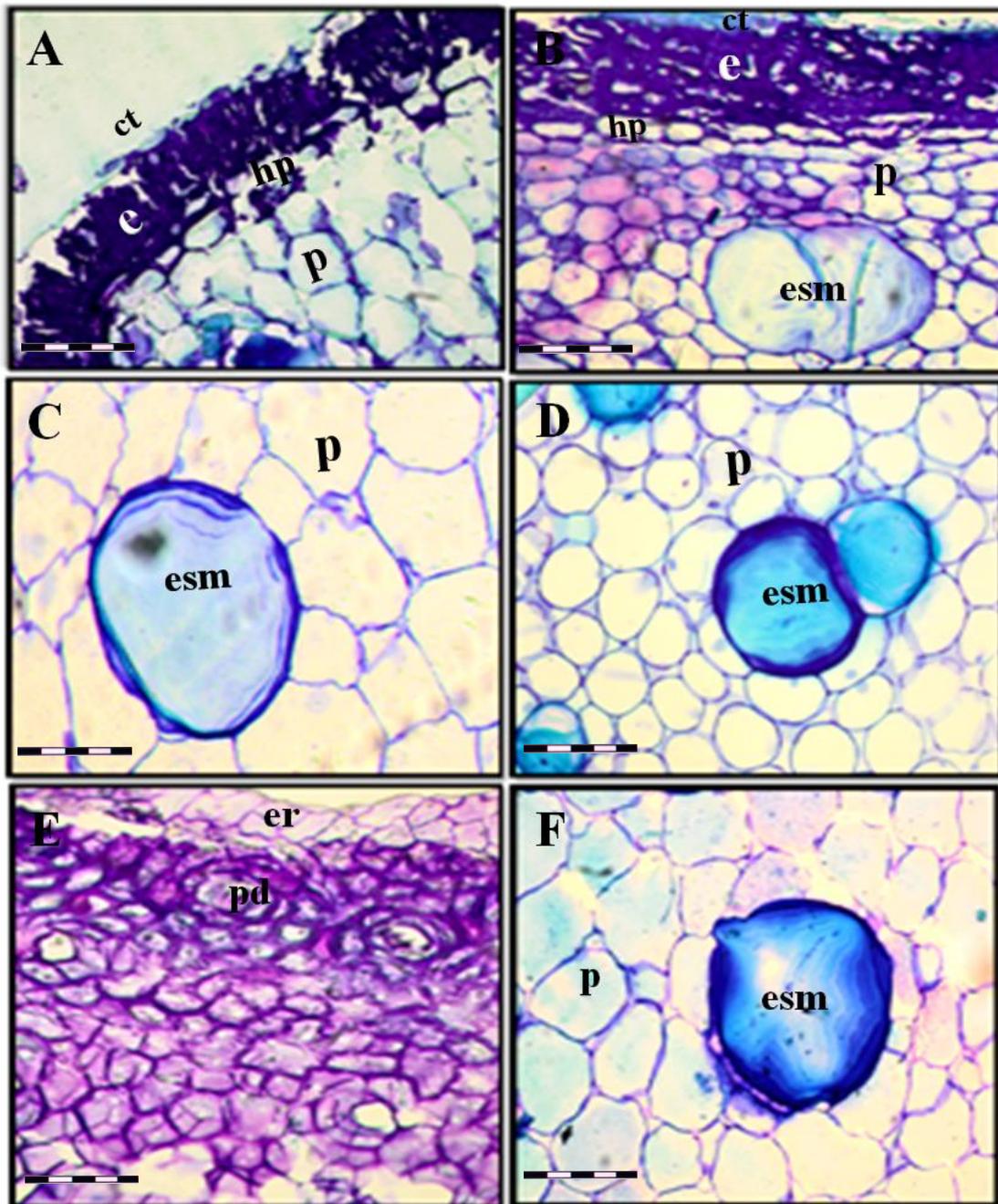


Figura 10. Secções transversais e longitudinais em cladódios de pitaiia vermelha cultivada sob diferentes níveis de luminosidade (pleno sol e 80% de sombreamento). 10A: secção transversal da face adaxial de cladódio coletado sob 80% sombreamento; 10B: secção longitudinal da face abaxial de cladódio coletado sob 80% sombreamento; 10C: secção longitudinal da face abaxial de cladódio coletado a pleno sol; 10D e 10E; secção longitudinal da face adaxial de cladódio coletado a pleno sol; 10F: secção transversal da face adaxial de cladódio coletado a pleno sol. ct = cutícula; e = epiderme; er = epiderme remanescente; esm = estrutura secretora de mucilagem; hp= hipoderme; p = parênquima; pd = periderme. Barras: A, B, C, D, E, F = 100 µm. Fortaleza (CE), 2015. Fonte: O autor (2015).



No que se refere à comparação dos dados relativos à secção transversal, abaxial, pleno sol e a transversal, abaxial, 80% de sombreamento constatou-se diferença significativa ($p < 0,01$) para as espessuras da cutícula e epiderme-hipoderme (Tabela 13).

Tabela 13 – Resumo da análise de variância para as variáveis de espessuras da cutícula (ESCT) e epiderme-hipoderme (ESEH) em cladódios de pitaiá vermelha, aos 365 dias após a instalação do experimento. Fortaleza (CE), 2015.

FV	GL	.....Quadrados Médios.....	
		ESCT	ESEH
Sombreamento	1	1083,9375**	2685,2108**
Resíduo	58	2,3970	49,6443
C.V.(%)		15,59	4,01

FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; C.V. – Coeficiente de variação; dms – Diferença mínima significativa; ** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

A espessura da cutícula a pleno sol foi de 14,18 μm , enquanto que sob 80% de sombra, foi de 5,68 μm . Essa expressiva diferença, de aproximadamente três vezes, pode estar diretamente relacionada ao excesso de luminosidade em pleno sol e corrobora as inferências relativas à maior proeminência de mecanismos de foto-proteção e uso eficiente da água sob tais condições de cultivo (Tabela 14).

Tabela 14. Efeito do sombreamento sobre as espessuras da cutícula (ESCT) e epiderme-hipoderme (ESEH). Fortaleza (CE), 2015.

Tratamento	ESCT (μm)	ESEH (μm)
Pleno sol, abaxial, transversal	14,18 a	168,98 b
80% de sombra, abaxial, transversal	5,68 b	182,36 a
dms	0,80	3,64

As médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com Aguilar et al. (2009) e Ayoma e Mazzoni-Viveiros(2006), a presença de cutícula espessa, em cactos e outros grupos de plantas xerófitas, reduz a perda de água por transpiração e auxilia a epiderme na proteção dos tecidos fotossintetizantes.

Sendo assim, a pleno sol, o aumento da espessura da cutícula pode ter funcionado como uma barreira física (anatômica) ao excesso de radiação solar e de perda de água, referenciada em nível morfológico pelo diâmetro e espessura dos cladódios (DET e EET), ao passo que o incremento no teor de carotenóides, eficiência de uso água e carboxilação representaram ajustes bioquímicos e fisiológicos.

A atuação simultânea de todos esses mecanismos foi eficiente e culminou numa produção mais expressiva a pleno sol (4,20 frutos), contrariando as recomendações para o

cultivo sombreado de pitáia vermelha referenciadas por Mizrahi e Nerd (1999), e Raveh et al. (1998) para as condições climáticas de Israel, e Cavalcante et al. (2011) para Bom Jesus (PI).

Mizrahi e Nerd (1999) acrescentam, no entanto, que algumas espécies do gênero *Hylocereus* podem ser mais tolerantes à luz, pois apresentam uma cobertura de cera na extensão dos cladódios, que evita a exposição direta dos estômatos à radiação solar. Portanto, conforme os resultados obtidos no presente estudo, a pitáia vermelha (*Hylocereus* sp) se enquadrou plenamente no contexto de exceções apresentado pelos autores, há aproximados 15 anos atrás.

A amplitude entre a menor e maior média, 5,68 – 14,18 μm (Tabela 14), corrobora com as espessuras da cutícula obtidas por Boegeret al. (2010), Garcia (2011), Giovanoni (2012) e Silva (2012). Conforme classificação apresentada por Dettke e Milaneze-Gutierrez (2008) e adaptada de Morris et al. (1996), as espessuras das cutículas de secções transversais da face abaxial de cladódios coletados a pleno sol e 80% de sombreamento podem ser tipificadas como espessa e moderadamente espessa, respectivamente.

Para a espessura da epiderme-hipoderme, diferentemente da cutícula, a maior média foi obtida para o cultivo sob 80% de sombra, revelando que sob condições de baixa luminosidade, houve um incremento de 13,38 μm no espessamento da epiderme-hipoderme, comparativamente a pleno sol (Tabela 14).

Provavelmente, a redução da espessura da cutícula e o aumento da espessura da epiderme-hipoderme visaram aumentar a eficiência na captação de energia luminosa, que sob 80% de sombreamento era um fator escasso. Não obstante, a pleno sol, é possível o incremento cuticular objetivou proteger o aparato fotossintético e aumentar a eficiência de uso da água, na abundância de radiação solar. As médias obtidas para a espessura de epiderme-hipoderme (Tabela 14) se enquadraram com as encontradas por Aguilar et al. (2009) para três espécies do gênero *Hylocereus* (*H. ocamponis*, *H. purpusii* e *H. undatus*).

O aumento da espessura da epiderme-hipoderme em condições sombreadas corrobora com Voltoline e Santos (2011), os quais observaram que as espessuras de folhas de bromélias terrícolas desenvolvidas sob baixa radiação luminosa foram maiores que a pleno sol, e provavelmente deveu-se à expansão da hipoderme aquífera.

No que se refere à secção transversal na face adaxial e longitudinal na face abaxial em cladódios de plantas cultivadas sob 80% sombra, verificou-se espessuras da cutícula de $8,97 \pm 1,32$ e $8,74 \pm 0,69$ μm , respectivamente (Tabela 15). Esses valores se enquadraram na faixa de valores obtidos por Dettke e Milaneze-Gutierrez (2008). De acordo com a classificação

apresentada por esses autores, as referidas espessuras da cutícula podem ser tipificadas como moderadamente espessa.

Tabela 15 – Espessuras da cutícula (ESCT) e epiderme-hipoderme (ESEH) em cladódios pitaia vermelha, aos 365 dias após a instalação do experimento. Fortaleza (CE), 2015.

Tratamento	ESCT (μm)	ESCH (μm)
80% de sombra, adaxial, transversal	$8,97 \pm 1,32$	$139,01 \pm 3,14$
80% de sombra, abaxial, longitudinal	$8,74 \pm 0,69$	$141,92 \pm 5,53$

Os dados representam a média \pm o erro padrão da média (n=30).

Por sua vez, as espessuras da epiderme-hipoderme de secções transversal da face adaxial e longitudinal da face abaxial de cladódios coletados sob 80% de sombra, foram de $139,01 \pm 3,14$ e $141,92 \pm 5,53$ μm , respectivamente (Tabela 15). De acordo com Rosas et al. (2012), a ocorrência de hipoderme em espécies xerófitas suculentas é uma característica global, pois, juntamente com a epiderme e cutícula, desempenha funções de proteção e sustentação. Mauseth (2006) e Silva (2012) acrescentam que as paredes celulares da hipoderme possuem altas concentrações de hemicelulose e pectina, o que contribui para o armazenamento de água nos cladódios.

A presença de estruturas secretoras de mucilagem, irregularmente distribuídas no parênquima, foi uma característica marcante em todos os tratamentos e, de acordo com Azevedo et al. (2013) está relacionada ao armazenamento de água nos cladódios, pois a mucilagem ser uma substância altamente higroscópica (Figuras 9B, 9C, 9F, 10B, 10C, 10D e 10F).

Os resultados permitiram caracterizar, em diferentes posições do cladódio, a estrutura anatômica de pitaia vermelha, assim como evidenciar diferenças significativas de algumas dessas estruturas sob diferentes níveis de luminosidade (pleno sol e 80% de sombra), com destaque à espessa cutícula, a pleno sol, a qual pode ser uma das principais razões que possibilitam explicar a expressiva produção de frutos nessa condição de cultivo (Figuras 9A e 9B; Tabelas 13 e 14).

Aos 365 dias de avaliação observou-se que a utilização de sombrites com a intenção de provocar reduções gradativas na radiação solar disponível para as plantas, não foi adequada para os direcionamentos desse estudo, pois, constatou-se que as trocas gasosas e produção de pitaia vermelha não foram limitadas pela exposição à total radiação solar.

Os melhores resultados, especialmente a produção de frutos, foram obtidos no cultivo a pleno sol, e não se enquadram na faixa de 30 a 60% de sombreamento, recomendada

por Nobel e De La Barrera (2004), e Mizrahi e Nerd (1999), para cultivos comerciais de pitaia.

Embora o presente estudo tenha sido conduzido em condições de vaso e refira-se ao primeiro ciclo de produção da pitaia vermelha fornece um importante direcionamento sobre a capacidade adaptativa da espécie e a possibilidade de que nas condições edafoclimáticas do Ceará, a pitaia vermelha descarte a utilização de sombrite, reduzindo os custos de produção.

4 CONCLUSÕES

A pitiaia vermelha, inicialmente (aos 180 dias), apresentou melhor desempenho sob condições de sombreamento, especialmente a 35% de sombra. No entanto, ao decorrer do ciclo, as plantas cultivadas a pleno sol foram as mais produtivas, com número de frutos, duas vezes superior às sombreadas.

Para as condições edafoclimáticas de Fortaleza (CE) recomenda-se a produção de mudas em condições sombreadas de 35% e a implantação do pomar de pitiaia vermelha a pleno sol.

5 REFERÊNCIAS

- AGUILAR, M. A. G. *et al.* Anatomía caulinar de três especies del género *Hylocereus* (bBerger) Britton & Rose (Cactaceae) en México. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 32, n. 3, p. 201-208, 2009.
- ALMEIDA, E. I. B. *et al.* Nitrogênio e potássio no crescimento de mudas de pitaiá [*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose]. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, p. 1018-1027, 2014.
- ANDRADE, J. L. *et al.* Microambientes de luz, crecimiento y fotosíntesis de la pitahaya (*Hylocereus undatus*) en un agrosistema de yucatán, México. **Agrociencia**, Montecillo, noviembrediciembre, vol. 40, p. 687-697, 2006.
- BALIZA, D. P. *et al.* Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de Cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, v. 7, p. 250-258, 2012.
- BOEGER, M. R. T. *et al.* Functional morphology of two *Lepismium* species (Rhipsalideae, Cactaceae). **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 81, p. 393-400, 2010.
- CARVALHO, S. P; CRUZ, C. D. Diagnosis of multicollinearity: assessment of the condition of correlation matrices used in genetic studies. **Revista Brasileira de Genética**, v. 3, p. 479-484, 2006.
- CAVALCANTE, I. H. L. *et al.* Adubação orgânica e intensidade luminosa no crescimento e desenvolvimento inicial da pitaya em Bom Jesus-PI. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 970-982, 2011.
- CORRÊA, M. C. M. *et al.* Crescimento inicial de pitaiá em função de combinações de doses de fósforo-zinco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, p. 23-38, 2014.
- CRUZ, C. D. GENES - A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, p. 271-276, 2013.
- DETTKE, G. A.; MILANEZE-GUTIERRE, M. A. Anatomia caulinar de espécies epífitas de Cactaceae, subfamília Cactoideae. **Hoehnea**, v. 35, p. 583-595, 2008.
- GONÇALVES, J. F. C. *et al.* Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. **Acta Amazônica**, v. 40, p. 89-98, 2010.
- GRAHAM, E. A.; NOBEL, P.S. Daily changes in stem thickness and related gas exchange patterns for the hemiepiphytic cactus *Hylocereus undatus*. **International Journal of Plant Science**, Chicago, v. 166, p.13–20, 2005.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Estatística e Geografia. **Lista mantida pelo IPECE**. Online. Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br>>. Acesso em 10 out. 2014.

- KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Mexico: Fondo de Cultura Economica, 1918. 478 p.
- KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: EDUR, 1997. 198 p.
- LE BELLEC, F. *et al.* Pitahaya (*Hylocereus* ssp.): a new fruit crop, a market with future. **Fruits**, v. 61, p. 237-250. 2006.
- LIMA, M. A. O. *et al.* Crescimento e plasticidade fenotípica de três espécies arbóreas com uso potencial em sistemas agroflorestais. **Scientia Forestalis**, v. 38, p. 527-534, 2010.
- LIMA, C. A. de. **Caracterização, propagação e melhoramento genético de pitaya comercial e nativa do cerrado**. 2013. 124f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- MAUSETH, J. D. Invited Review. Structure-function relationships in highly modified shoots of Cactaceae. **Annals of Botany**, v. 98, p. 901-926, 2006.
- MARQUES, V.B. *et al.* Tamanho de cladódios na produção de mudas de pitaya vermelha. *Revista Caatinga*, v. 24, n. 4, p. 50-54, 2011.
- MARTINS, J. R. *et al.* Anatomia foliar de plantas de alfavaca-cravo cultivadas sob malhas coloridas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, p. 82-87, 2009.
- MERTEN, S. A review of *Hylocereus* production in the United States. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, Davis, v. 5, p. 98-105. 2003.
- MIZHARI, Y. Vine-Cacti pitayas – The new crops of the world. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 36, p. 124-138, 2014.
- MIZRAHI, Y.; NERD, A. Climbing and columnar cacti: new arid land fruit crops. In: JANICK, J.(Ed.). **Perspectives on new crops and new uses**. Alexandria: ASHS Press, 1999.
- MONTGOMERY D. C; PECK, E. A (1981). **Introduction to linear regression analysis**. New York: John Wiley & Sons. 504 p.
- MORRIS, M. W. *et al.* Vegetative anatomy and systematic of subtribe Dendrobiinae (Orchidaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 120, p. 89-114, 1996.
- NOBEL, P. S.; DE LA BARRERA, E. CO₂ uptake by the cultivated hemiepiphytic cactus, *Hylocereus undatus*. **Annals of Applied Biology**, v. 144, p. 1-8, 2004.
- NUNES, E. N. *et al.* Pitaya (*Hylocereus* sp.): uma revisão para o Brasil. **Gaia Scientia**, Areia, v. 8, p. 90-98, 2014.
- OLIVEIRA, M. I. *et al.* Características biométricas, anatômicas e fisiológicas de *Artemisia vulgaris* L. cultivada sob telas coloridas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 11, p. 56-62, 2009.

- OLIVEIRA, G. A. *et al.* Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 872-882, 2011.
- PONTES FILHO *et al.* Comprimento de estacas e concentrações de ácido indolbutírico (AIB) na propagação vegetativa de pitaiá. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 46-51, 2014.
- RAVEH, E. *et al.* Responses of two hemiepiphytic fruit crop cacti to different degrees of shade. **Scientia Horticulturae**, v. 73, p. 151-164, 1998.
- ROSAS, U. *et al.* Developmental reaction norms for water stressed seedlings of succulent cacti. *Plosone*, v. 7, p. 1-7, 2012.
- SARIJEVA, G. *et al.* Differences in photosynthetic activity, chlorophyll and carotenoid levels, and in chlorophyll fluorescence parameters in green sun and shade leaves of Ginkgo and Fagus. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, p. 950-955, 2007.
- SAS Institute (2003). **SAS/STAT software versão 9.1**, Cary.
- SESMA, E. B. *et al.* Efeito de diferentes níveis de sombreamento sobre o crescimento inicial de *Jatropha curcas* L. em casa de vegetação. **Natureza online**, v. 7, p. 31-36, 2009.
- SILVA, A. C. C. Pitaya: melhoramento e produção de mudas. 2014. 132f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.
- SILVA, A. C. C.; MARTINS, A. B. G.; CAVALLARI, L. L. Qualidade de frutos de pitaya em função da época de polinização, da fonte de pólen e da coloração da cobertura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 1162-1168, 2011.
- SOUZA, C. D. *et al.* Transpiração de espécies típicas do cerrado medida por transpirômetro de equilíbrio e porômetro. **Cerne**, v. 17, p. 509-515, 2011.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.
- TERRAZAS, T.; ARIAS, S. Comparative stem anatomy in the subfamily Cactoideae. **Botanical Review**, v. 68, p. 444-473, 2003.
- VOLTOLINO, C. H.; SANTOS, M. Variações na morfoanatomia foliar de *Aechmea lindenii* (E. Morren) Baker var. *lindenii* (Bromeliaceae) sob distintas condições ambientais. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, p. 2-10, 2011.
- 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 of Plant Physiology*, v. 144, p. 307-313, 1994.
- WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, v. 20, p. 557-585, 1921.

CAPÍTULO III – Sombreamento das plantas matrizes e uso de auxina na propagação vegetativa de pitaia vermelha

RESUMO

Embora tenha ocorrido uma grande expansão do cultivo de pitaia tanto no Brasil como em outros países, a cultura necessita de informações científicas que subsidiem a definição de sistemas de produção de mudas, mais adequados às condições edafoclimáticas brasileiras. A capacidade de enraizamento de estacas é influenciada pelas condições ambientais, tipo de propágulo, origem na copa, época de coleta, maturação e características internas da planta-matriz, como o conteúdo de água, teor de reservas e nutrientes, e o nível hormonal na ocasião da coleta do material propagativo. Em pitaia vermelha, a influência da intensidade luminosa sobre as plantas matrizes está indefinida, e, portanto, não há nenhuma validação científica que direcione os produtores de mudas sobre as melhores condições de luminosidade para o cultivo de plantas matrizes, de modo a obterem-se estacas com elevado potencial de enraizamento e, portanto, mudas de boa qualidade. Diante disso, o presente estudo visou avaliar, em casa de vegetação, o efeito do uso de enraizador comercial e diferentes níveis de sombreamento na planta matriz, sobre o enraizamento e qualidade de mudas de pitaia vermelha. Foram testados o uso de enraizador comercial (presença e ausência) e cinco níveis de sombreamento nas plantas matrizes (pleno sol, 35, 50, 65 e 80% de sombreamento), os quais foram arranjos em fatorial 2 x 5, com quatro blocos casualizados e duas plantas por parcela. Aos 90 dias, fez-se a análise vegetativa das plantas e a coleta dos cladódios laterais. Avaliaram-se as seguintes características vegetativas: comprimento da maior raiz (CR), massa seca das raízes (MSR), largura radicular (LR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), número de emissões laterais (NEL), somatório do comprimento de emissões laterais (SCEL) e razão parte aérea-raiz (RPAR). Ao término do estudo constatou-se que o sombreamento das plantas matrizes e uso de enraizador afeta o crescimento de mudas de pitaia vermelha. Para a produção de mudas de boa qualidade recomenda-se a coleta de estacas em plantas matrizes cultivadas a pleno sol e/ou 80% de sombra. Para essas condições, o uso do enraizador Sela Gel® deverá ser descartado. Os resultados fornecem um embasamento científico para investigações posteriores sobre o enraizamento de estacas coletadas em plantas matrizes adultas, cultivadas em condições de campo, nos diferentes níveis de luminosidade avaliados.

Palavras-chave: *Hylocereus* sp. Cladódios. Enraizamento. Frutíferas exóticas. Regulador de crescimento.

ABSTRACT

Although there was a large expansion of pitaya cultivation in Brazil and other countries, the culture needs scientific information that subsidize the definition of plants production systems best suited to Brazilian soils and climate. The rooting capacity of cuttings is influenced by environmental conditions, type of propagules, origin in canopy, epoch for collecting, maturation and internal characteristics of the stock plant, such as water content, content of reserves and nutrients, and the hormone level at the time of collection of nursery material. In red pitaya, the influence of light intensity on the stock plants is undefined, and thus there is no scientific validation that direct plant producers about the best lighting conditions for the cultivation of stock plants, in such a way to obtain cuttings with high rooting potential and therefore good quality plants. Therefore, this study aimed to evaluate, in a greenhouse, the effect of use of commercial rooting and different shading levels in the stock plant, on rooting and quality of red pitaya plants. The use of commercial rooting (with and without) and five shading levels in plants matrices (full sun, 35, 50, 65 and 80% shading) were tested, which were arranged in a factorial 2 x 5, with four randomized blocks and two plants per plot. At 90 days, was made the vegetative plants analysis and the collecting of lateral cladodes. The following vegetative characteristics were evaluated: length of bigger root (LR), root dry matter (RDM), root width (RW), fresh weight of shoot (FWS), dry weight of shoot (DWS), dry weight total (DWT), number of lateral emissions (NLE), sum of the length of lateral emissions (SLLE), and shoot/root relation (SRR). At the end of the study it was found that the shading of stock plants and use of rooting affects the growth of red pitaya plants. For the production of high quality plants is recommended to collect cuttings in stock plants grown in full sun and or 80% shade. For these conditions, the use of rooting Sela Gel® should be discarded. The results provide a scientific basis for further investigations on the rooting of cuttings collected in adult stock plants grown under field conditions, at different levels of brightness evaluated.

Keywords: *Hylocereus* sp. Cladodes. Rooting. Exotic fruits. Growth regulator.

1 INTRODUÇÃO

A propagação de pitaia vermelha é comumente assexuada, através de estaquia. As plantas originadas por esse método iniciam o florescimento após um ou dois anos do plantio. Além da precocidade na produção, a propagação por estaquia, de cladódios inteiros ou segmentados, possibilita obter plantios uniformes, com características fenológicas e qualidade de frutos, necessárias ao mercado (ANDRADE et al., 2007).

Lima (2013) e Marques et al. (2011) constataram que mudas de pitaia (*Hylocereus undatus*) propagadas por estacas de 25 centímetros (cm) de comprimento enraizaram melhor que as de menor tamanho (<25,00 cm). De acordo com Santos et al. (2010), o comprimento da estaca pode afetar o crescimento inicial de pitaia devido a sua relação com as reservas de carboidratos e conteúdo de auxinas endógenas.

Pontes Filho et al. (2014) acrescentaram que a aplicação de 3000 mg L⁻¹ de AIB potencializou a qualidade de enraizamento de estacas de pitaia com comprimento médio de 25 cm. Galvão (2015) também validou que a aplicação de auxina exógena, na base de estacas, favorece a iniciação de raízes adventícias de *H. undatus*. Porém, é importante salientar que os estudos sobre o uso de enraizadores comerciais, em pitaia e pitaia vermelha são pouco conhecidos. Informações nesse direcionamento poderão ter uma aplicação prática e facilitar as operações no viveiro de produção de mudas de pitaia e pitaia vermelha, quando o uso de AIB for recomendado.

Em algumas espécies vegetais, o cultivo das plantas matrizes e o enraizamento das estacas devem ser realizados sob baixa radiação (HARTMANN; KESTER, 1990). De acordo com Johnson e Hamilton (1977), as elevadas intensidades luminosas no ambiente de cultivo podem ativar o sistema enzimático AIA-oxidase que destrói as auxinas, reduzindo o potencial de enraizamento de estacas coletadas em plantas matrizes cultivadas a pleno sol.

Sob condições naturais, a pitaia vermelha é encontrada em florestas tropicais da América, em condições de sub-bosque, sob irradiância de 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, o que leva a crer que quando cultivada comercialmente faz-se necessária a instalação de um sistema de proteção contra a incidência direta dos raios solares sobre a planta. Nesse contexto, estudos preliminares foram realizados em Israel e no Brasil, os quais atestaram a necessidade de sombreamento de 30 a 60%, conforme as condições locais.

No entanto, a maioria dos pomares comerciais do Brasil é cultivada a pleno sol e até o presente momento não se sabe os efeitos dessa total exposição à radiação solar sobre a capacidade produtiva das plantas matrizes e a qualidade de enraizamento das estacas nelas

coletadas. Diante disso, o presente trabalho foi realizado com o intuito de avaliar o efeito de enraizador comercial e sombreamento das matrizes sobre o enraizamento de estacas de pitaia vermelha.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local

O experimento foi conduzido durante 90 dias, no período de agosto a novembro de 2014, em casa de vegetação com irradiação de $550 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, localizada no setor de Horticultura do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ci\u00eancias Agr\u00e1rias da Universidade Federal do Cear\u00e1, em Fortaleza (CE) ($3^{\circ}43'02''$ de latitude S e $38^{\circ}32'35''$ de longitude WGr; altitude de 19,6 m) (IPECE, 2011). De acordo com a classifica\u00e7\u00e3o de K\u00f6ppen (1918), o clima \u00e9 do tipo Aw'. Trata-se de uma regi\u00e3o pertencente ao grupo de clima tropical chuvoso, com temperatura m\u00e9dia anual de 26,5 \u00b0C.

2.2 Delineamento estat\u00edstico

O delineamento estat\u00edstico utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 2×5 , com quatro repeti\u00e7\u00f5es e duas plantas \u00fateis por parcela. O primeiro fator representou a presen\u00e7a e aus\u00eancia de enraizador (Sela Gel\u2122, constitu\u00eddo por 3000 mg dm^{-3} de AIB), e o segundo, os n\u00edveis de sombreamento nas plantas matrizes (pleno sol, 35, 50, 65 e 80% de sombreamento). A dose de enraizador baseou-se na recomenda\u00e7\u00e3o de Barroso (2014), Bastos et al. (2006) e Pontes Filho et al. (2014).

2.3 Procedimentos de coleta, padroniza\u00e7\u00e3o do material propagativo e aplica\u00e7\u00e3o do enraizador comercial

As estacas foram coletadas em plantas com 380 dias de idade, cultivadas sob diferentes n\u00edveis de radia\u00e7\u00e3o luminosa, em vasos pl\u00e1sticos de 11 dm^{-3} de volume. O material propagativo utilizado para a produ\u00e7\u00e3o das mudas foi selecionado quanto \u00e0 sanidade e vigor, apresentando em m\u00e9dia 25 cm de comprimento, conforme recomenda\u00e7\u00f5es de Lima (2013), Marques et al. (2011b), Pontes Filho et al. (2014) e Silva (2014).

Ap\u00f3s a coleta, as estacas foram lavadas em \u00e1gua corrente e postas \u00e0 secagem ambiente ($\pm 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $\pm 70\%$ de UR), durante o intervalo de 60 minutos. Posteriormente, fez-se um corte transversal na regi\u00e3o de inser\u00e7\u00e3o das estacas no substrato, de modo a possibilitar a exposi\u00e7\u00e3o do tecido interno \u00e0 solu\u00e7\u00e3o de auxina ex\u00f3gena. A aplica\u00e7\u00e3o do gel enraizador comercial foi realizada pela r\u00e1pida imers\u00e3o, de 3 segundos, da por\u00e7\u00e3o terminal da estaca na solu\u00e7\u00e3o. Em

seguida, as estacas passaram por um período de repouso de 10 minutos, conforme as recomendações do fabricante.

Os demais cladódios foram imersos em água destilada e imediatamente plantados em sacos de polietileno de capacidade volumétrica de 3 dm³, preenchidos com substrato de areia e pó de casca de coco, na proporção de 2:1 (Tabela 16). A análise química do substrato se encontra na Tabela 16. Foi realizada aplicação de 187,50 mg dm⁻³ de P (ALMEIDA, 2013; CORRÊA et al., 2014), na forma de superfosfato simples (18% de P₂O₅, 16% de Ca e 8% de S). A manutenção da umidade no substrato durante o período experimental foi feita manualmente, em intervalo de dois dias.

Tabela 16 – Características químicas do substrato utilizado para o preenchimento dos vasos. Fortaleza (CE), 2014.

M.O.	pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	S	T	V	C	N
g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹	..... cmol _c kg ⁻¹ .....				.....				%	..... g kg ⁻¹	
22,9	5,2	6,00	0,28	1,00	1,00	0,46	0,28	3,1	2,7	5,9	95,0	22,2	2,10

Extratores: P, Na e K – Mehlich; Ca, Mg e Al – KCl; H+Al – Acetato de cálcio; pH – Água

2.4 Análises

2.4.1 Análises de crescimento

Aos 90 dias, as seguintes características vegetativas foram avaliadas:

- ✓ **Sobrevivência e enraizamento** – determinado pela avaliação qualitativa das estacas, ao término do experimento. Os resultados foram expressos em porcentagem de estacas enraizadas por estacas plantadas (%);
- ✓ **Comprimento da maior raiz (CR)** – medido com trena milimetrada, a partir da região de inserção do sistema radicular à extremidade terminal da maior raiz. Os resultados foram expressos em centímetros (cm);
- ✓ **Largura radicular (LR)** – medida com paquímetro digital, no sentido transversal do sistema radicular. Os resultados foram expressos em centímetros (cm);
- ✓ **Massa seca das raízes (MSR)** – medida pela pesagem das raízes secas em estufa de ar forçado (65°C), durante 120 horas. Os resultados foram expressos em gramas (g);
- ✓ **Massa fresca da parte aérea (MFPA)** – medida pela pesagem das emissões laterais (frescas). Os resultados foram expressos em gramas (g);

- ✓ **Massa seca da parte aérea (MSPA)** – medida pela pesagem das emissões laterais, secas em estufa de ar forçado (65 °C), durante 120 horas. Os resultados foram expressos em gramas (g);
- ✓ **Massa seca total (MST)** – determinada pelo somatório entre a massa seca da parte aérea e a massa seca das raízes. Os resultados foram expressos em gramas (g);
- ✓ **Número de emissões laterais (NEL)** – medido pela contagem das brotações emitidas. Os resultados foram expressos em unidades;
- ✓ **Somatório do comprimento das emissões laterais (SCEL)** – determinado pelo somatório do comprimento das emissões laterais. Foi medido com trena milimetrada, no sentido longitudinal de cada cladódio. Os resultados foram expressos em centímetros (cm);
- ✓ **Razão parte aérea raiz (RPAR)** – estimada pela razão entre SCEL e CR;

2.4.2 Análise de dados

Os dados foram submetidos à análise de variância (teste F com nível de significância $p < 0,01$), de modo a avaliar os efeitos principais de cada uma das variáveis (A e B) e da interação (A x B). A comparação das médias foi realizada através do Teste de Tukey para o fator qualitativo ($p < 0,05$) e regressão para o fator quantitativo (modelo linear: $a + bx$; modelo quadrático: $a + bx + cx^2$). Para a interação significativa, procedeu-se o desdobramento das médias e a interpretação do efeito de uma variável sobre a outra.

No diagnóstico foi verificada a presença de multicolinearidade de magnitude moderada a severa. Em razão disto, realizou-se a análise de trilha sob multicolinearidade. Neste método, utilizou-se um procedimento similar ao da análise de regressão em cumeeira (CARVALHO; CRUZ, 1996). Em contraste com a análise de trilha convencional, a análise de trilha sob multicolinearidade é feita com a introdução de uma constante k na matriz de correlação $X'X$ para reduzir a variância associada com o estimador de quadrados mínimos da análise de trilha (CARVALHO; CRUZ, 1996). Assim, o sistema de equações normais $X'X\beta = X'Y$ torna-se $(X'X + k)\beta = X'Y$. Vinte e um valores de k ($k = 0,00; 0,05 \dots 1,00$) foram testados. O menor destes valores, que estabilizou os coeficientes de trilha, foi escolhido como recomendado por Carvalho e Cruz (1996).

Os diagnósticos de multicolinearidade e as análises de trilha foram realizadas com auxílio do Programa Genes-Aplicativo Computacional em Genética e Estatística (CRUZ, 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre o enraizador e os níveis de sombreamento da planta matriz ocasionou efeito significativo ($p < 0,01$) sobre CR, SCEL, MSPA, MST e RPAR. A MFPA foi afetada pelos dois fatores isoladamente ($p < 0,05$), ao passo que, LR e MSR foram influenciadas, apenas pelo enraizador ($p < 0,01$). Os coeficientes de variação oscilaram de 6,09 a 26,10% e podem apontar que houve boa precisão experimental (Tabelas 17 e 18).

Tabela 17 – Resumo da análise de variância para os caracteres comprimento da maior raiz (CR), largura radicular (LR), massa seca das raízes (MSR), somatório do comprimento de emissões laterais (SCEL), número de emissões laterais (NEL), aos 90 dias. Fortaleza (CE), 2015.

FV	GL	----- Quadrados médios -----				
		CR	LR	MSR	SCEL	NEL
Enraizador (E)	1	0,6052 ^{ns}	14,1016**	7,1635**	20,1924*	0,2250 ^{ns}
Sombreamento (S)	4	27,2309**	1,1352 ^{ns}	0,3509 ^{ns}	58,7764**	0,1000 ^{ns}
E x S	4	15,0559**	1,7070 ^{ns}	0,2320 ^{ns}	32,0288**	0,1000 ^{ns}
Blocos	3	21,1926**	2,2099*	0,0696 ^{ns}	3,2348 ^{ns}	0,0417 ^{ns}
Resíduo	27	3,2175	0,7064	0,1646	3,3378	0,0787
C. V.		6,09	6,77	15,13	13,54	26,10

FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; C.V. – Coeficiente de variação; - Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – Não Significativo.

Tabela 18 – Resumo da análise de variância para os caracteres massa fresca e seca da parte aérea (MFPA e MSPA), massa seca total (MST) e razão parte aérea-raiz (RPAR), aos 90 dias. Fortaleza (CE), 2015.

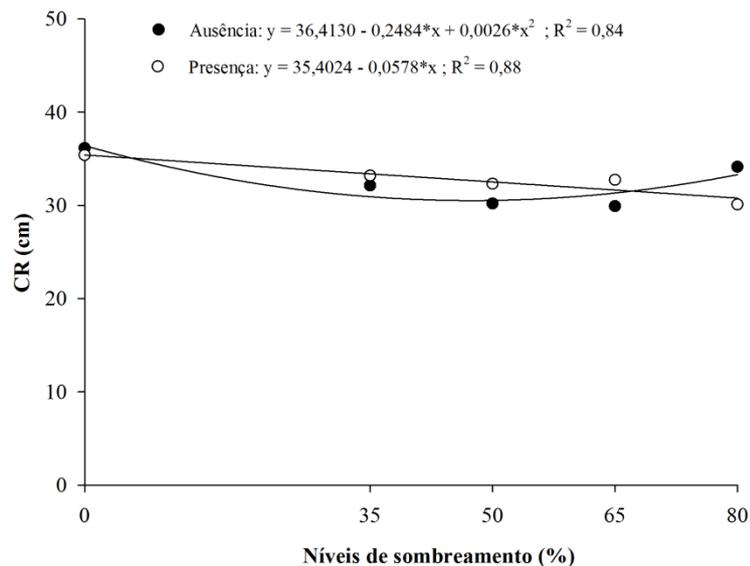
FV	GL	----- Quadrados médios -----			
		MFPA	MSPA	MST	RPAR
Enraizador (E)	1	58,5398*	0,5869 ^{ns}	12,1728**	0,0205*
Sombreamento (S)	4	280,00753**	3,7562**	10,2289**	0,0797**
E x S	4	26,4301 ^{ns}	1,2765**	4,9787**	0,0259**
Blocos	3	33,2011 ^{ns}	0,1723 ^{ns}	0,1159 ^{ns}	0,0069 ^{ns}
Resíduo	27	13,5838	0,1744	0,2998	0,0033
C. V.		12,01	13,81	9,60	13,76

FV – Fonte de Variação; GL – Grau de liberdade; C.V. – Coeficiente de variação; - Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} – Não Significativo.

Verificou-se 100% de enraizamento e sobrevivência para todos os tratamentos, semelhante aos resultados obtidos por Bastos et al. (2006), Marques et al. (2011 b) e Pontes Filho et al. (2014), para mudas de *Hylocereus undatus* produzidas em sacos de polietileno sob ripado e casa de vegetação.

O aumento do sombreamento nas plantas matrizes e a não aplicação do enraizador resultaram em ajuste quadrático dos valores de CR, representado pelo declínio entre pleno sol e 65% de sombreamento, e acíve de 65 a 80% de sombreamento nas plantas matrizes (Figura 11).

Figura 11 – Desdobramento da interação significativa para o comprimento da maior raiz (CR). Efeito dos níveis de sombreamento das plantas matrizes na ausência e presença de enraizador. Fortaleza (CE), 2015.



É provável que o estiolamento evidenciado nas matrizes cultivadas a 65 e 80% de sombra tenha influenciado positivamente no enraizamento das estacas nelas coletadas. Essas observações corroboram com Hartmann e Kester (1990), os quais reportaram que o estiolamento pode favorecer a ação da auxina, através do aumento da sensibilidade dos tecidos à fonte de auxina exógena, e, portanto, favorece o enraizamento.

Em contrapartida, para as estacas tratadas com enraizador, os valores de CR reduziram, concomitantemente ao incremento do sombreamento nas plantas matrizes (Tabela 19). De acordo com Lone et al. (2010), o aumento da concentração de auxina exógena, aplicada em estacas, provoca efeito estimulador de enraizamento adventício até certo valor máximo, a partir do qual, tem-se efeito inibitório.

Sendo assim, é provável que a dosagem de AIB constituinte do enraizador comercial (3000 mg dm^{-3}) tenha sido excessiva e por isso ocasionou efeito negativo no crescimento vertical da raiz (CR) e positivo sobre o crescimento de parte aérea (SCEL, MSPA, RPAR) (Tabela 19). Barroso (2014), também observou efeitos negativos da dosagem de 3000 mg dm^{-3}

³ de AIB sobre o enraizamento de estacas de pitaiá vermelha, com 45 cm de comprimento e 43 mm de diâmetro.

Tabela 19. Desdobramento da interação significativa para o comprimento da maior raiz (CR). Ausência e presença no uso de enraizador dentro de cada um dos níveis de sombreamento. Fortaleza (CE), 2015.

Enraizador	Níveis de sombreamento na planta matriz (%)				
	0	35	50	65	80
	-----cm-----				
Ausência	36,13 a	32,13 a	30,19 a	29,91 a	34,13 a
Presença	35,38 a	33,19 a	32,31 a	32,74 a	30,10 b

As médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. dms = 2,89.

De modo geral, os maiores comprimentos das raízes foram obtidos com o uso de cladódios provenientes de matrizes cultivadas a pleno sol, independente do uso de enraizador (Figura 11; Tabela 19). Isso possivelmente deveu-se ao maior acúmulo de reservas de fotoassimilados nessas estacas.

Lima (2013) e Pontes Filho et al. (2014), ao estudar o efeito do comprimento da estaca sobre o enraizamento de *H. undatus*, ressaltaram que a reserva de carboidratos é um fator importante para o enraizamento de estacas. É provável que no presente estudo, a condição de cultivo da planta matriz tenha sido determinante no teor de carboidratos da estaca e, conseqüentemente, na sua capacidade de enraizamento.

A MSR foi incrementada pela aplicação de enraizador, provavelmente devido a interferência positiva dessa fonte de auxina exógena sobre a LR (Tabela 20). Ou seja, o uso de enraizador induziu o aumento de LR culminando em maior MSR, com correlação positiva e significativa ($p < 0,01$) de 0,78** (Tabela 21).

Tabela 20. Efeito da ausência e presença no uso de enraizador sobre a LR, MSR e MFPA. Fortaleza (CE), 2015.

Enraizador	LR (cm)	MSR (g)	MFPA (g)
Ausência	11,83 b	2,26 b	31,89 a
Presença	13,01 a	3,10 a	29,47 b

As médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. dms = 0,55.

Tabela 21. Coeficientes de correlação fenotípica de Pearson (r_f) entre caracteres comprimento da maior raiz (CR), largura radicular (LR), massa seca da raiz (MSR), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), somatório do comprimento de emissões laterais (SCEL), massa seca total (MST) e razão parte aérea-raiz. Fortaleza (CE), 2015.

Caráter	LR	MSR	MFPA	MSPA	SCEL	MST	RPAR
CR	0,16	0,28	-0,15	-0,40	-0,24	-0,15	-0,47
LR		0,78**	-0,02	-0,04	-0,10	0,07	-0,10
MSR			-0,35	-0,30	0,19	-0,16	0,12
MFPA				0,88**	0,37	0,92**	0,38
MSPA					0,54	0,95**	0,60
SCEL						0,74*	0,97**
MST							0,67*

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t respectivamente. Os demais foram não significativos.

De acordo com Betanin e Nienow (2010), a utilização de reguladores de crescimento pode ser decisiva no processo de enraizamento, por acelerar a formação de raízes, aumentar a porcentagem de enraizamento, incrementar a qualidade das raízes formadas e gerar maior uniformidade no enraizamento.

Em relação às características de parte aérea observou-se que em mudas propagadas por estacas não tratadas com enraizador, o estiolamento a 80% de sombreamento propiciou equilibrada RPAR, com bom enraizamento (CR) e crescimento de parte aérea (SCEL e MFPA) (Figuras 12 e 13; Tabela 22). Para essa situação, é possível que as estacas coletadas em matrizes sob 80% de sombra, tenham enraizado com maior precocidade, permitindo o posterior incremento de parte aérea, através da melhor exploração de água e nutrientes no solo.

O SCEL e MST apresentaram correlação positiva e significativa ($p < 0,05$), de 0,97** e 0,67*, respectivamente, com a RPAR (Tabela 21). Ao passo que CR se correlacionou negativamente com a referida variável (-0,47) (Tabela 21).

Figura 12 – Efeito dos níveis de sombreamento nas plantas matrizes sobre a massa fresca da parte aérea. Fortaleza (CE), 2015.

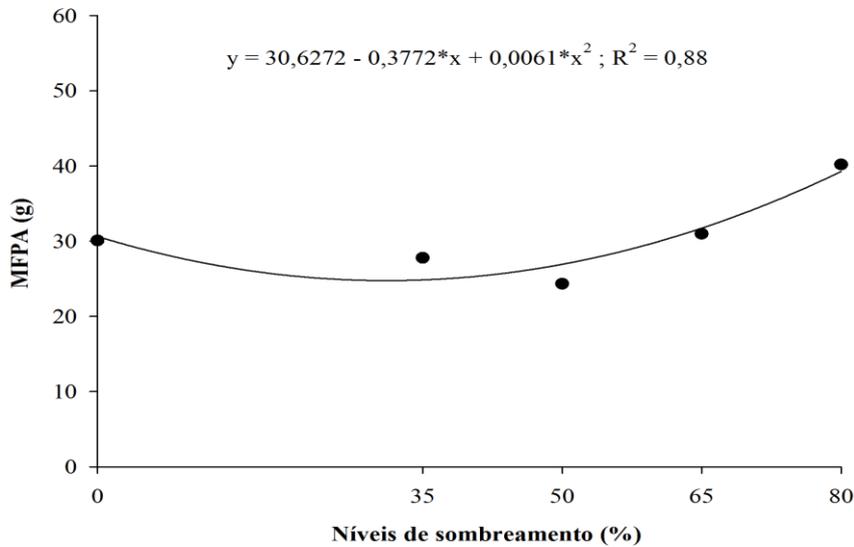
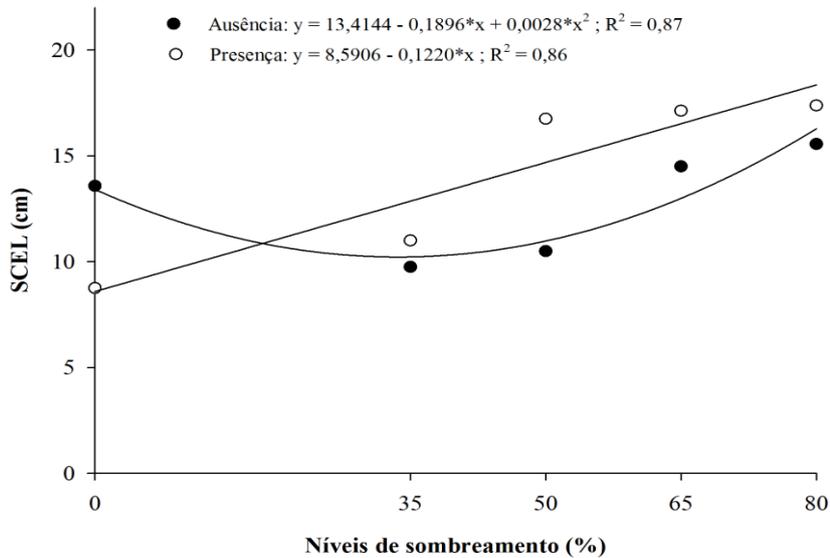


Tabela 22. Desdobramento da interação significativa para o somatório do comprimento das emissões laterais (SCEL). Ausência e presença no uso de enraizador dentro de cada um dos níveis de sombreamento. Fortaleza (CE), 2015.

Enraizador	Níveis de sombreamento na planta matriz (%)				
	0	35	50	65	80
	----- cm -----				
Ausência	13,58 a	9,75 a	10,50 b	14,50 a	15,56 a
Presença	8,75 b	11,00 a	16,75 a	17,13 a	17,38 a

As médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. dms = 2,65.

Figura 13 – Desdobramento da interação significativa para o somatório do comprimento das emissões laterais (SCEL). Efeito dos níveis de sombreamento das plantas matrizes na ausência e presença de enraizador. Fortaleza (CE), 2015.



Embora, os resultados obtidos com estacas provenientes de matrizes cultivadas sob 80% de sombreamento tenham sido satisfatórios, é importante destacar que a pitia vermelha é uma espécie de fácil enraizamento e, também apresentou bons resultados para estacas coletadas em pleno sol, descartando para ambos os casos, aplicação de enraizador.

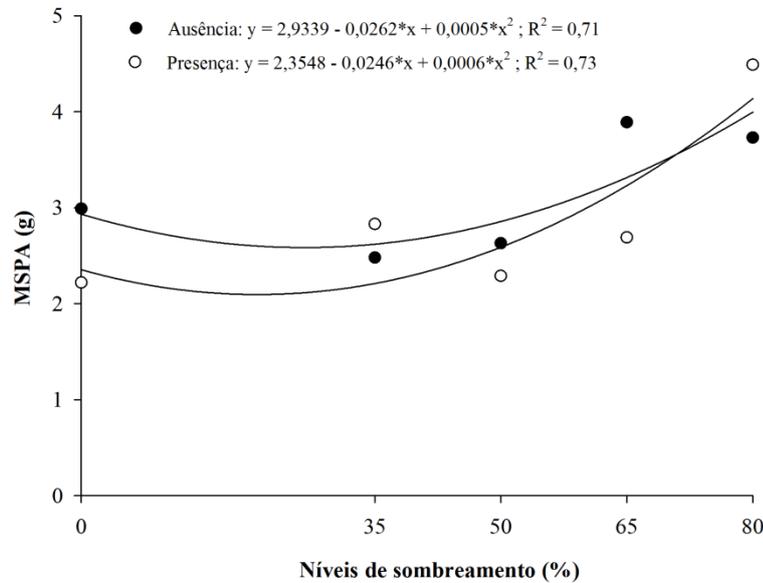
A MFPA se correlacionou positivamente com a MSPA (0,88**) e foi afetada apenas pelo sombreamento das plantas matrizes (Tabela 21). As médias ajustaram-se um modelo polinomial quadrático, no qual as maiores MFPA foram alcançados com o uso de estacas provenientes de plantas cultivadas a 50, 65 e 80% de sombreamento. Isso pode está relacionado ao aumento do conteúdo de auxina endógena simultaneamente ao estiolamento dos cladódios em condições sombreadas de cultivo (Figura 12 e 14) (Tabelas 23).

Tabela 23. Desdobramento da interação significativa para a massa seca da parte aérea (MSPA). Ausência e presença no uso de enraizador dentro de cada um dos níveis de sombreamento. Fortaleza (CE), 2015.

Enraizador	Níveis de sombreamento na planta matriz (%)				
	0	35	50	65	80
Ausência	2,99 a	2,48 a	2,63 a	3,89 a	3,73 b
Presença	2,22 b	2,83 a	2,29 a	2,69 b	4,49 a

As médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. dms = 0,60.

Figura 14 – Desdobramento da interação significativa para a massa seca da parte aérea (MSPA). Efeito dos níveis de sombreamento das plantas matrizes na ausência e presença de enraizador. Fortaleza (CE), 2015.



De acordo com Bastos et al. (2009), nos ramos estiolados há uma maior concentração de auxinas endógenas, que reduz a quantidade de co-fatores negativos ao enraizamento, e consequentemente, podem propiciar melhor capacidade de crescimento da parte aérea. Taiz e Zeiger (2013) fundamentam que os pontos de crescimento radiculares são fontes de reguladores vegetais, principalmente a citocianina, que são translocados aos pontos de crescimento da parte aérea, interferindo na multiplicação celular. Ou seja, num limiar ideal de auxina endógena, tanto o sistema radicular quanto a parte aérea tem o crescimento estimulado.

No que se refere à MSPA, os maiores valores foram obtidos para o uso de estacas tratadas com enraizador e coletadas em matrizes sombreadas a 80% (Tabela 23, Figura 14). Esse incremento de MSPA resultou também, em maiores MST (0,95**), principalmente com a aplicação de enraizador (Tabela 21). Possivelmente, o uso de gel enraizador propiciou um excesso de auxina endógena, o qual aumentou a RPAR, via incremento de SCC e MSPA.

Porém, na ausência do regulador e incremento do sombreamento nas matrizes, houve maior equilíbrio da RPAR, com parcela equitativa de crescimento das raízes (CR e MSR) e parte aérea (SCC e MSPA). A RPAR interferiu direta e positivamente na MST (0,67*), ocasionando equidade ou não, da participação quantitativa das variáveis de parte aérea e raiz sobre a MST (Tabela 21).

Tabela 24. Desdobramento da interação significativa para a massa seca total (MST). Ausência e presença no uso de enraizador dentro de cada um dos níveis de sombreamento. Fortaleza (CE), 2015.

Enraizador	Níveis de sombreamento na planta matriz (%)				
	0	35	50	65	80
Ausência	5,72 a	4,69 b	4,77 a	6,13 a	5,71 b
Presença	5,27 a	6,03 a	5,22 a	6,19 a	7,33 a

As médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. dms = 0,80.

Figura 15 – Desdobramento da interação significativa para a massa seca total (MST). Efeito dos níveis de sombreamento das plantas matrizes na ausência e presença de enraizador. Fortaleza (CE), 2015.

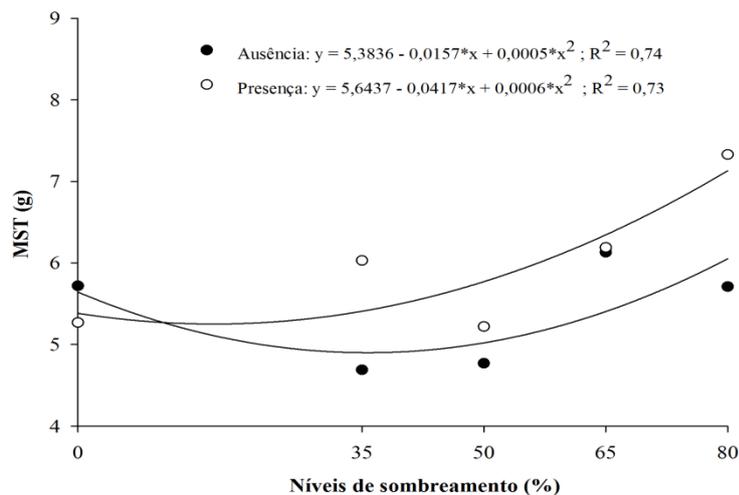
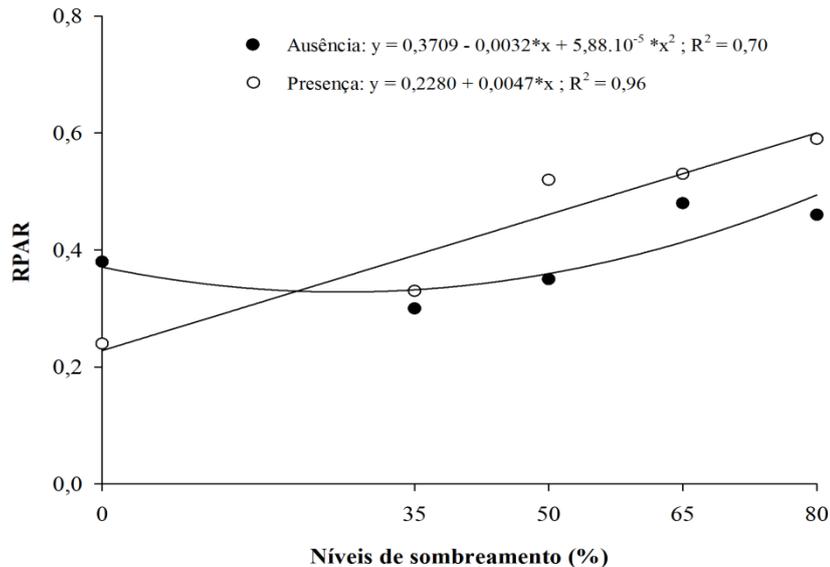


Tabela 25. Desdobramento da interação significativa para a razão parte aérea-raiz (RPAR). Ausência e presença no uso de enraizador dentro de cada um dos níveis de sombreamento. Fortaleza (CE), 2015.

Enraizador	Níveis de sombreamento na planta matriz (%)				
	0	35	50	65	80
Ausência	0,38 a	0,30 a	0,35 b	0,48 a	0,46 b
Presença	0,24 b	0,33 a	0,52 a	0,53 a	0,58 a

As médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. dms = 0,08.

Figura 16 – Desdobramento da interação significativa para a razão parte aérea-raiz (RPAR). Efeito dos níveis de sombreamento das plantas matrizes na ausência e presença de enraizador. Fortaleza (CE), 2015.



É importante destacar, os satisfatórios resultados obtidos para a RPAR de mudas propagadas por estacas não tratadas com enraizador e coletadas de matrizes cultivadas a pleno sol (Figura 16, Tabela 25). Segundo Schwengber et al. (2000), elevadas intensidades luminosas podem ativar o sistema enzimático AIA-oxidase e catalisar a degradação de auxinas, com redução no potencial de enraizamento.

No presente trabalho, essa hipótese não surtiu efeito sobre o enraizamento de estacas provenientes de matrizes de pitaia vermelha cultivadas a pleno sol e demonstra que o uso desse material propagativo possibilita a produção de mudas de qualidade. Somado a isso, a pitaia vermelha demonstrou fácil enraizamento e descartou o uso de enraizador comercial.

Caso o produtor de mudas de pitaia vermelha necessite utilizar plantas matrizes sombreadas para adquirir o material propagativo, recomenda-se a coleta de material, sob 80% de sombreamento e não utilização de enraizador, pois como foi apresentado anteriormente, o excesso de auxina exógena pode favorecer o incremento da RPAR, que não se enquadra no objetivo desejado para mudas que serão destinadas a implantação do pomar. Santos et al. (2010) destacam que mudas com sistema radicular bem desenvolvido apresentam menor sensibilidade ao transplante e, portanto, têm mais chances de sobrevivência no campo.

De acordo com Ortiz-Hernández e Carrillo-Salazar (2012), e Mizrahi e Nerd (1999), a faixa de 30 a 60% de interceptação luminosa é a mais recomendada para o cultivo comercial de pitaia e pitaia vermelha. Se o produtor seguir essas especificações e necessitar obter

material propagativo em plantas matrizes cultivadas sob tais condições de luminosidade, dever-se-á evitar a aplicação de dosagens excessivas de AIB ou restringir a utilização de produtos comerciais que possuam concentração de 3000 mg dm^{-3} de AIB prescrita no rótulo.

4 CONCLUSÕES

Para a produção de mudas de boa qualidade recomenda-se a coleta de estacas em plantas matrizes cultivadas a pleno sol e/ou 80% de sombra. Para essas condições, o uso do enraizador Sela Gel® deve ser descartado.

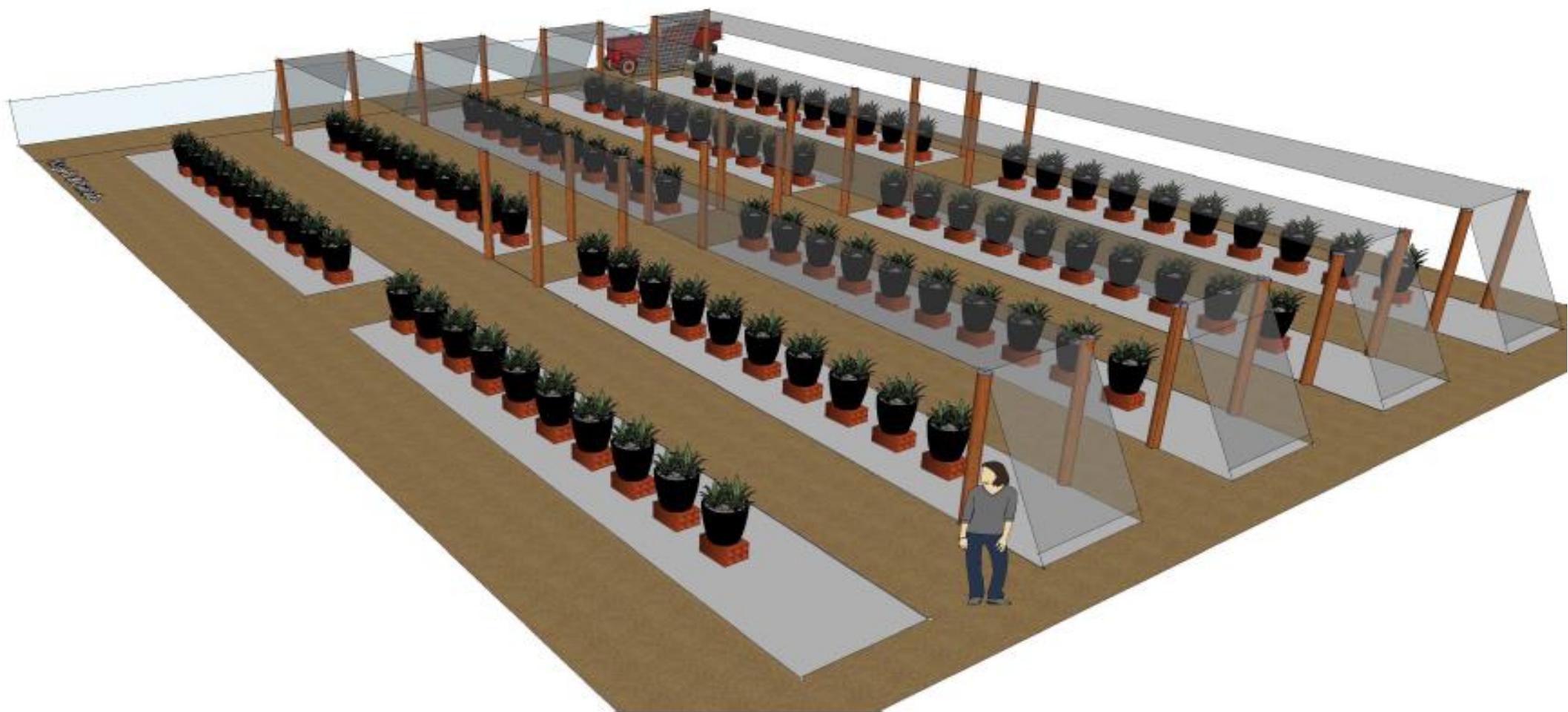
Os resultados fornecem um embasamento científico para investigações posteriores sobre o enraizamento de estacas coletadas em plantas matrizes adultas, cultivadas em condições de campo, nos diferentes níveis de luminosidade avaliados.

5 REFERÊNCIAS

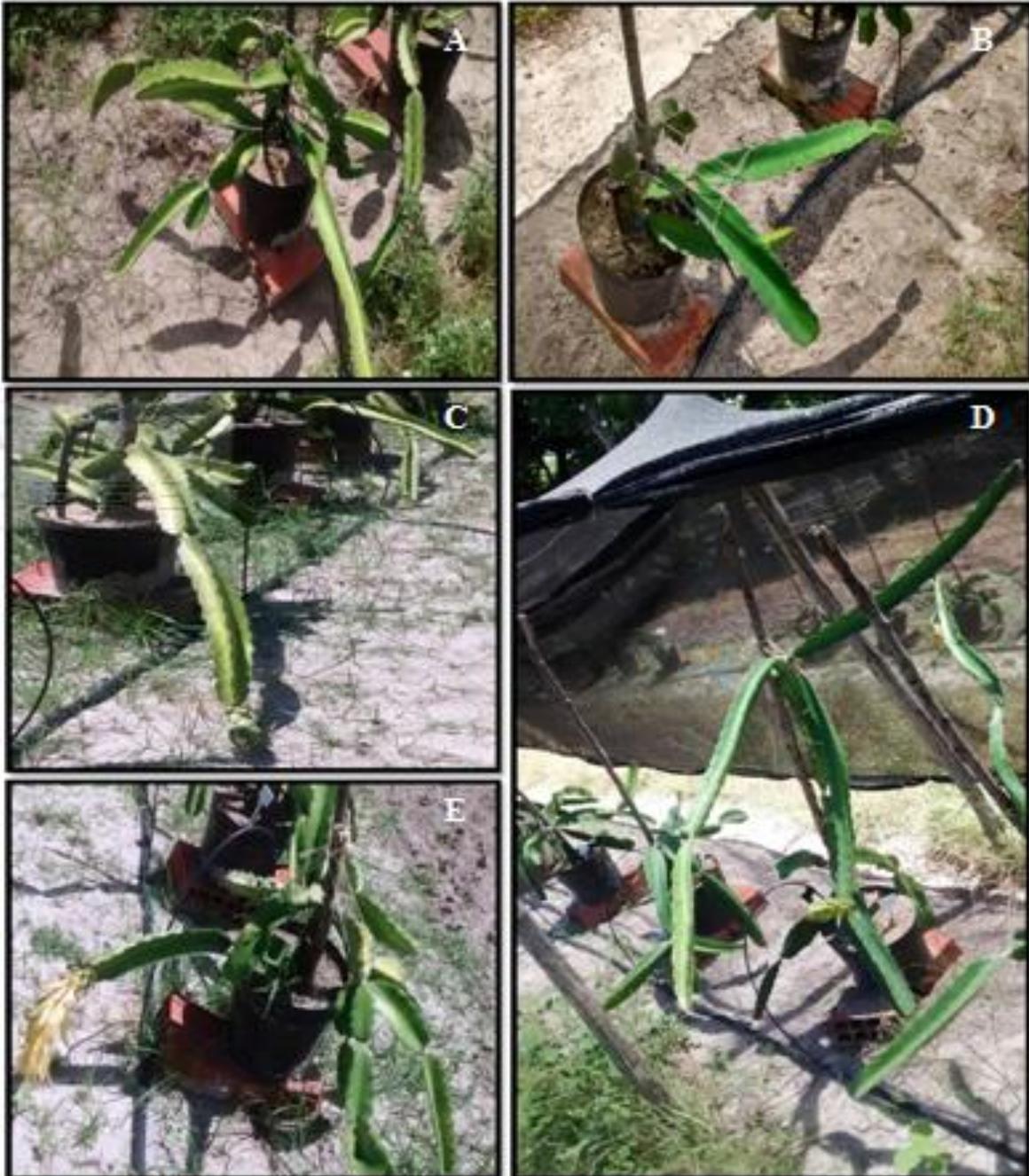
- ALMEIDA, E. I. B. **Crescimento inicial de pitaia (*Hylocereus undatus*) em função de combinações de doses de fósforo-zinco e nitrogênio-potássio.** 2013. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- ANDRADE, R. A *et al.* Influência da fonte e do tempo de cura na propagação vegetativa da pitaia vermelha (*Hylocereus undatus* Haw.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, p. 183-186, 2007.
- BARROSO, M. M. A. **Enraizamento de estacas de pitaia vermelha com diferentes características morfológicas e sob efeito de enraizadores.** 2014. 32f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- BASTOS, D. C. *et al.* Propagação de pitaia vermelha por estaquia. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, p. 1106-1109, 2006.
- BETANIN, L.; NIENOW, A. A. A propagação vegetativa da corticeira-da-serra (*Erythrina falcata* Benth.) por estaquia caulinar e foliar. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, n. 4, p. 871-880, 2010.
- CARVALHO, S. P; CRUZ, C. D. Diagnosis of multicollinearity: assessment of the condition of correlation matrices used in genetic studies. **Revista Brasileira de Genética**, v. 3, p. 479-484, 2006.
- CORRÊA, M. C. M. *et al.* Crescimento inicial de pitaia em função de combinações de doses de fósforo-zinco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, p. 23-38, 2014.
- GALVÃO, E. C. Substrato e ácido indolbutírico na produção de mudas de pitaia vermelha de polpa branca. 2015. 68 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E. **Propagacion de plantas: principios y practicas.** México: Compañia Editorial Continental, 1990. 760p.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Estatística e Geografia. **Lista mantida pelo IPECE.** Online. Disponível em: <<http://www.ipece.ce.gov.br>>. Acesso em 10 out. 2014.
- JOHNSON, C. R; HAMILTON, D. F. Rooting of *Hibiscus rosasinensis* L. Cutting as influence by light intensity and Ethephon. **Hortscience**, v. 12, p. 39-40, 1977.
- KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra.** Mexico: Fondo de Cultura Economica, 1918. 478 p.
- LIMA, C. A. de. **Caracterização, propagação e melhoramento genético de pitaya comercial e nativa do cerrado.** 2013. 124f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

- LONE, A. B. *et al.* Efeito do AIB no enraizamento de estacas herbáceas do porta-enxerto de videira VR 43-43 em diferentes substratos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.31, p.599-604, 2010.
- MARQUES, V.B. *et al.* Tamanho de cladódios na produção de mudas de pitaiá vermelha. *Revista Caatinga*, v. 24, n. 4, p. 50-54, 2011.
- MIZRAHI, Y.; NERD, A. Climbing and columnar cacti: new arid land fruit crops. In: JANICK, J.(Ed.). **Perspectives on new crops and new uses**. Alexandria: ASHS Press, 1999.
- ORTIZ-HERNÁNDEZ, Y. D.; CARRILLO-SALAZAR, J. A. Pitahaya (*Hylocereus spp.*): a short review. **Comunicata Scientiae**, v. 3, p. 220-237, 2012.
- PONTES FILHO *et al.* Comprimento de estacas e concentrações de ácido indolbutírico (AIB) na propagação vegetativa de pitaiá. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 46-51, 2014.
- SANTOS, C. M. G. *et al.* Substratos e regulador vegetal no enraizamento de estacas de pitaya. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 625-629, 2010.
- SCHWENGBER, J. E.; DUTRA, L.; KERSTEN, E. Efeito do sombreamento da planta matriz e do PVP no enraizamento de estacas de ramos de araçazeiro (*P. cattleyanum* Sabine). *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 6, p. 30-34, 2000.
- SILVA, A. C. C. Pitaya: melhoramento e produção de mudas. 2014. 132f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

ANEXOS



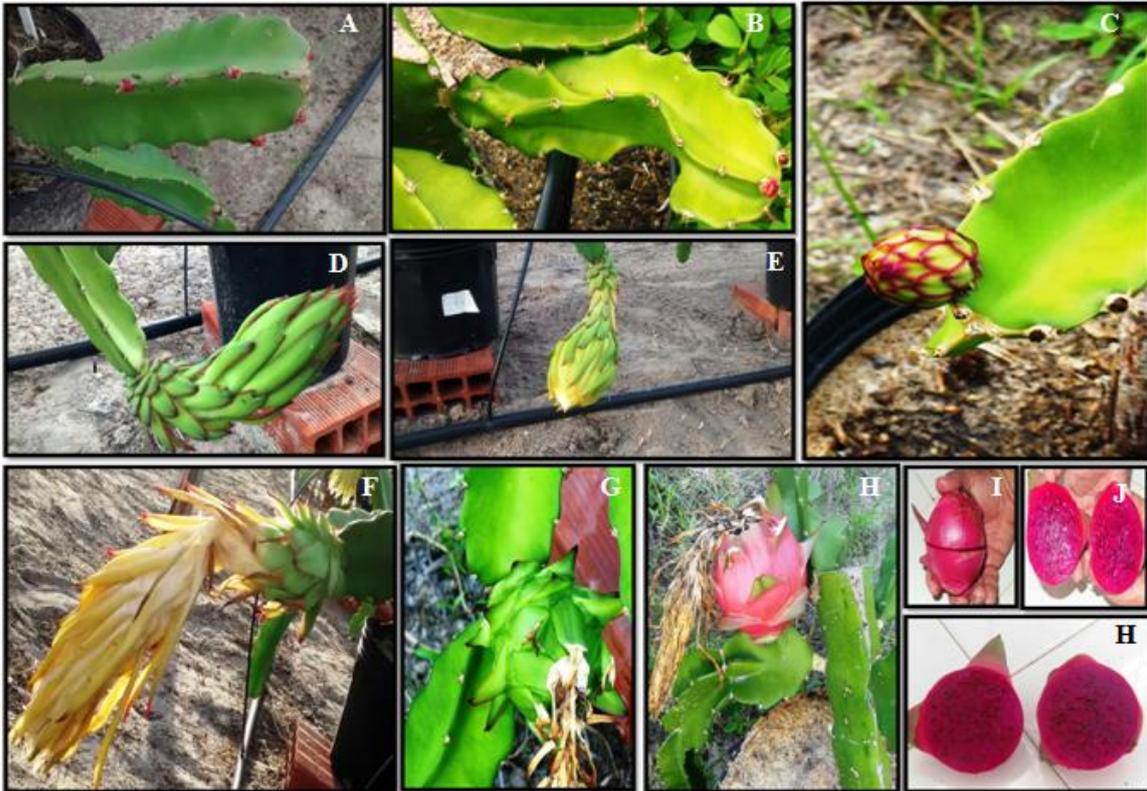
Anexo 1 – Croqui da área experimental. Sombreamento de pitaiá vermelha, em condições de vaso a campo, durante 365 dias (Experimento I). Fortaleza (CE), 2015. Fonte: Diego F. V. Bernardes (2013).



Anexo 2. Ilustrações do experimento I. Sombreamento de pitáia vermelha, em condições de vaso a campo, durante 365 dias (Experimento I). 2A; 2C; 2E: Plantas cultivadas a pleno sol, em fase de produção, pequeno porte vegetativo e cladódios muito amarelados. 2B; 2D: Plantas cultivadas sob sombreamento (cladódios alongados e coloração pouco amarelada. Fortaleza (CE), 2015. Fonte: O autor (2014)



Anexo 3. Ilustrações do experimento I e procedimentos para a análise de trocas gasosas. 3A, 3B: Ajustes iniciais do IRGA (modelo LCi System ADC, Bioscientific Ltd. Hoddesdon, UK) em período noturno (momento no qual as plantas com metabolismo CAM realizam a fixação de CO_2); 3C, 3D, 3E, 3F: Determinação de trocas gasosas, com a pinça do IRGA bem ajustada em cladódios secundários maduros. Fortaleza (CE), 2015. Fonte: O autor (2014).



Anexo 4. Fenologia reprodutiva de pitaya vermelha cultivada, em condições de vaso a , e submetida a diferentes níveis de sombreamento (pleno sol, 35, 50, 65 e 80% de sombreamento. Fortaleza (CE), 2015. Fonte: O autor (2014).