



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

MARIANA FREITAS CAMPOS MAGNANI

Diferentes comprimentos de onda e intensidades luminosas na germinação de sementes de *Melocactus zehntneri* (chapéu-de-frade) e desenvolvimento vegetativo de *Hylocereus undatus* (pitaia).

ARARAS -SP

2022

MARIANA FREITAS CAMPOS MAGNANI

Diferentes comprimentos de onda e intensidades luminosas na germinação de sementes de *Melocactus zehntneri* (chapéu-de-frade) e desenvolvimento vegetativo de *Hylocereus undatus* (pitaia).

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de São Carlos *campus* Araras, para obtenção do título de Licenciatura em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Jean Carlos Cardoso.

ARARAS - SP

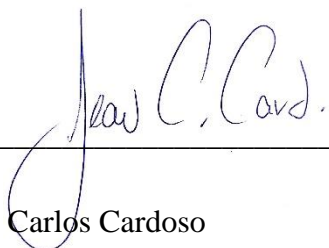
2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Folha de aprovação

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso da candidata Mariana Freitas Campos Magnani, realizada em 29/04/2022:



Prof. Dr. Jean Carlos Cardoso

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)



Matheus Armelin Nogueira

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP)



Willian Naves Duarte

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho ao meu querido pai Marco Antônio Magnani (*in memoriam*), a quem serei eternamente grata pelo exemplo de pessoa que foi para mim e por todo ensinamento que me proporcionou. Para sempre estará presente em meu coração e não haverá um dia em que não sentirei sua falta.

Dedico ao meu segundo pai, meu avô Álvaro Francisco Campos (*in memoriam*) por ter despertado em mim as mais diversas curiosidades sobre a vida desde criança. Obrigada por ter sido tão presente em minha vida e por ter cuidado tão bem de mim do seu jeitinho.

Também dedico ao meu “namorado” Matheus Mesquita Vidal Ramos por todo apoio, incentivo, compreensão e presença nos momentos em que mais precisei. Você foi uma parte muito importante para eu ter chego até aqui. Só tenho que te agradecer por tudo!

Por fim, mas não menos importante, dedico este trabalho às maiores preciosidades que tenho em vida, minha mãe Solange Freitas Campos e minha segunda mãe (avó) Oneide de Freitas. Vocês são meus maiores exemplos de carisma, força e perseverança. Tudo o que sou e consegui até hoje são graças ao que me proporcionaram ao longo da minha vida. Agradecer a vocês nunca será o suficiente.

Amo todos vocês demais!

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de São Carlos e ao *campus* Araras pela oportunidade de poder realizar o curso de graduação e pelas condições de estudo e atividades que me proporcionaram e à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de iniciação científica relacionada ao processo 2021/01814-8.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jean Carlos Cardoso, um excelente professor, profissional e amigo. Sei que posso contar com o senhor nas mais diversas situações da vida. Agradeço imensamente por confiar em mim, pela oportunidade de trabalho, pelos ensinamentos, paciência e compreensão.

À toda equipe gestora da UFSCar do período de 2016 a 2020, em especial a Prof^a. Dr^a. Wanda Hoffman, Prof. Dr. Roberto Ferrari e ao Prof. Dr. Ednaldo Pizzolato. Obrigada a todos pelos ensinamentos, exemplos de força, coragem e, acima de tudo, pela amizade.

Aos meus queridos amigos de Belo Horizonte Isabela Cortezão, João Carvalho, Johnatan Silva e Juninho Oliveira por todos esses anos de amizade. Amo vocês demais!

À minha família materna, em especial minha tia avó Albertina Beatriz por todo carinho e ao meu padrasto Geraldo Mamede, meu pai de coração, por sempre ter confiado em meu potencial e por cuidar de mim como sua filha.

Às amigas Fernanda Colombini e Flávia Salmázio. Fer, obrigada por toda cumplicidade, apoio, carinho, compreensão e por ter estado junto comigo durante a minha trajetória acadêmica e pessoal. Sentirei falta da minha duplinha favorita. Flavinha, obrigada por todo apoio, conversas e descontrações.

Aos colegas de turma Ana Flávia, Diego Neves, Júlia Caram, Maria Carolina e Nathália Mancine pela parceria e amizade.

Ao meu psicólogo Alexandre Rampin por sempre estar me dando os melhores conselhos e me incentivando sempre a dar e ser o meu melhor.

Aos professores do Centro de Ciência Agrárias por suas contribuições para minha formação acadêmica e pessoal.

À toda equipe do Grupo de Pesquisa do Laboratório de Fisiologia Vegetal e Cultura de Tecido que, de forma direta ou indireta contribuíram com o meu trabalho.

À toda minha família paterna Magnani por todo carinho, incentivo e ensinamentos.

À família do meu namorado por todo carinho, acolhimento e por me fazerem sentir parte da família.

À FAPESP (A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro às pesquisas que desenvolvi ao longo da graduação.

A todos que de algum modo me ajudaram durante essa caminhada, fica aqui meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Melocactus zehntneri e *Hylocereus undatus* são cactáceas popularmente conhecidas como Chapéu-de-Frade e Pitaia, respectivamente. São cactos com grande potencial comercial e possuem grande importância na movimentação econômica do país. Como forma de estabelecer melhorias na produção dessas espécies, o presente projeto teve como objetivo determinar a influência de comprimentos de onda e intensidade luminosa na germinação de sementes de *M. zehntneri* e no desenvolvimento vegetativo *in vitro* de *H. undatus*. Para isso, as sementes de chapéu-de-frade foram desinfetadas e semeadas em placas de Petri contendo duas camadas de papel filtro saturado com 5 mL de água deionizada estéril. Posteriormente foram dispostas sobre diferentes intensidades luminosas e comprimentos de onda fornecidos por lâmpadas tipo Diodo Emissor de Luz (LED) e cultivadas em sala de crescimento, sendo essas nos comprimentos de onda nas faixas do azul, vermelho, vermelho + azul (3:1) e, como controle a luz branca. Como experimento complementar à germinação, foi testado a influência do ambiente desprovido de luz sobre a germinação das sementes de *M. zehntneri*, sendo levada ao ambiente luminoso da sala de crescimento após três períodos: 10, 20 e 30 dias. Com a Pitaia foi feito subcultivo *in vitro* do material inicial e colocados em frascos contendo meio de cultura. Posteriormente, foram dispostos de forma aleatorizada sobre três diferentes fontes luminosas: azul, vermelho, azul + vermelho e, como controle, luz branca. O efeito das luzes na germinação de sementes de *M. zehntneri* influenciaram o desenvolvimento de diferentes pigmentos nas plântulas. Os comprimentos de onda que surtiram melhores efeitos na germinação foram do espectro vermelho e branco sob a intensidade III e vermelho + azul sob a intensidade II, chegando a 67,5%, 72,5% e 70% das sementes germinadas, respectivamente. Já no desenvolvimento *in vitro* de *H. undatus*, as fotorespostas sob os comprimentos de ondas azul, vermelho + azul e branco foram os mais vigorosos, apresentando os maiores valores médios para as variáveis analisadas. No experimento de privação de luz por três períodos de tempo, todos os tratamentos provocaram a redução da taxa germinativa a quase zero, mesmo após expostas à luz, dando a entender que as sementes foram induzidas à dormência secundária.

Palavras-chave: Cactaceae. Fisiologia de sementes. Luz. Diodo emissor de luz. Desenvolvimento vegetal. Cultivo *in vitro*.

Different wavelengths and light intensities in seed germination of *Melocactus zehntneri* (front hat) and vegetative development of *Hylocereus undatus* (pitaia).

ABSTRACT: *Melocactus zehntneri* and *Hylocereus undatus* are cacti popularly known as Chapéu-de-Frade and Pitaia, respectively. They are cacti with great commercial potential and have great importance in the economic movement of the country. As a way to establish improvements in the production of these species, the present project aimed to determine the influence of wavelengths and light intensity on the germination of *M. zehntneri* seeds and on the *in vitro* vegetative development of *H. undatus*. To this end, the seeds of fenugreek hat were disinfected and sown in Petri dishes containing two layers of filter paper saturated with 5 mL of sterile deionized water. Later they were placed on different light intensities and wavelengths provided by Light Emitting Diode (LED) lamps and grown in a growth room, these in the wavelength ranges of blue, red, red + blue (3:1) and, as a control, white light. As a complementary experiment to the germination, the influence of the light deprived environment on the germination of *M. zehntneri* seeds was tested, being taken to the bright environment of the growth room after three periods: 10, 20 and 30 days. Pitaia was subcultured *in vitro* from the initial material and placed in flasks containing culture medium. Subsequently, they were randomly arranged on three different light sources: blue, red, blue + red and, as a control, white light. The effect of lights on the germination of *M. zehntneri* seeds influenced the development of different pigments in the seedlings. The wavelengths that had the best effect on germination were the red and white spectrum under intensity III and red + blue under intensity II, reaching 67.5%, 72.5% and 70% of germinated seeds, respectively. In the *in vitro* development of *H. undatus*, the photoresponse under the blue, red + blue and white wavelengths were the most vigorous, presenting the highest mean values for the variables analyzed. In the light deprivation experiment for three periods of time, all treatments caused the germination rate to be reduced to almost zero, even after being exposed to light, suggesting that the seeds were induced to secondary dormancy.

Key words: Cactaceae. Seed physiology. Light. Light-emitting diode. Plant Development. In vitro growth.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Esquema de distribuição das placas de Petri contendo sementes de *Melocactus zehntneri* dispostas em diferentes distâncias para obtenção de três diferentes intensidades por tratamento. A: tratamento com luz azul; V: tratamento com luz vermelha; A+V: tratamento com a combinação das luzes vermelha e azul; e B: tratamento controle com luz branca. I, II e III indicam as três diferentes intensidades de cada comprimento de onda..... 33
- Figura 2 - Desenvolvimento de coloração avermelhada devido à presença de betalaínas em plântulas de *Melocactus zehntneri* sob os tratamentos luz azul (A); vermelha + azul (V+A) e branca (B). Não houve desenvolvimento de pigmentação avermelhada sob o tratamento de luz vermelha (V). 40
- Figura 3 - Índice de Velocidade de Germinação de sementes de *Melocactus zehntneri* sob efeitos das iluminações de espectro Azul; Vermelho; Vermelho + Azul e Branco..... 43
- Figura 4 - Velocidade Média de Germinação de sementes de *Melocactus zehntneri* sob efeitos das iluminações de espectro Azul; Vermelho; Vermelho + Azul e Branco 44
- Figura 5 - *Hylocereus undatus* durante o experimento sob os tratamentos com luz azul (A); luz vermelha (V); combinação das luzes azul e vermelha (A+V); e luz branca (B)..... 46
- Figura 6 - Amostras de *Hylocereus undatus in vitro* de cada tratamento testado, sendo V: tratamento sob luz vermelha; A: tratamento sob luz azul; A+V: tratamento sob a combinação das luzes vermelha e azul; e B: tratamento controle com luz azul..... 47
- Figura 7 - Amostras de *Hylocereus undatus* de cada tratamento submetido após três meses de experimento. A: tratamento sob luz azul; V: tratamento sob luz vermelha; A+V: tratamento sob a combinação das luzes azul e vermelha; e B: tratamento controle com luz branca..... 48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diferentes intensidades e fontes de iluminação utilizados na germinação de sementes de <i>Melocactus zehntneri</i>	34
Tabela 2 - Porcentagem de germinação (G%) de sementes de <i>Melocactus zehntneri</i> sob os fatores intensidade (I, II e III) e o fator comprimento de onda (azul; vermelho; azul/vermelho e branco – controle)	38
Tabela 3 - Comparação entre médias a partir do Teste de Tukey a 5% dos fatores (lux x intensidade) aplicados sob sementes de <i>Melocactus zehntneri</i>	39
Tabela 4 - Porcentagem de germinação de sementes de <i>Melocactus zehntneri</i> colocados em iluminação após determinados períodos na ausência de luz.....	45
Tabela 5 - Valores médios (unidade) do comprimento da raiz (CR), número de raízes (NR), número de segmentações (NS), diâmetro do cladódio (DC), presença ou não raiz aérea (RA), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR) dos indivíduos de <i>Hylocereus undatus</i> sob diferentes tipos luminosos avaliados ao final do experimento.....	49

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

<i>M. zehntneri</i>	<i>Melocactus zehntneri</i>
<i>H. undatus</i>	<i>Hylocereus undatus</i>
CITE	Convenção sobre o Comércio Internacional de Espécies da Fauna e da Flora Selvagem Ameaçadas de Extinção
IUCN	União Internacional para a Conservação da Natureza
<i>EN</i>	<i>Endangered</i>
LC	<i>Least Concern</i>
UV-A	Radiação ultravioleta tipo A
LED	Diodos Emissores de Luz
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
SisGen	Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado
PVC	Policloreto de vinila
IVG	Índice de Velocidade de Germinação
MS	Meio de cultura MURASHIGE e SKOOG
DC	Diâmetro do cladódio
RA	Possui ou não raiz aérea
CR	Comprimento da raiz
NR	Número de raízes
NS	Número de segmentações
MTF	Massa total fresca
MFR	Massa fresca da raiz
MFPA	Massa fresca da parte aérea
MSR	Massa seca da raiz
G%	Porcentagem de germinação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVO	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 CACTACEAE	17
3.2 <i>HYLOCEREUS UNDATUS</i> (PITAIA)	19
3.3 <i>MELOCACTUS ZEHNTNERI</i> (CHAPÉU-DE-FRADE)	21
3.4 MERCADO DE CACTÁCEAS	23
3.5 REDUÇÃO DAS POPULAÇÕES DE CACTOS	24
3.6 GERMINAÇÃO DE SEMENTES	26
3.7 CULTIVO <i>IN VITRO</i> DE PLANTAS	27
3.8 EFEITO DA LUZ E DE FOTORRECEPTORES NA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO VEGETAL	29
3.9 FONTE DE LUZES ARTIFICIAIS	31
4 MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 MATERIAL VEGETAL	32
4.2 SEMEADURA DE <i>MELOCACTUS ZEHNTNERI</i> (COROA-DE-FRADE)	32
4.3 CULTIVO <i>IN VITRO</i> DE <i>HYLOCEREUS UNDATUS</i> (PITAIA)	35
4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA E MEDIDAS DE GERMINAÇÃO	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1 SEMEADURA DE <i>MELOCACTUS ZEHNTNERI</i> (COROA-DE-FRADE)	37
5.1.1 Efeitos da qualidade e intensidade de luz na germinação de sementes	37
5.1.2 Índice de Velocidade de Germinação e Velocidade Média de Germinação	43
5.1.3 Germinação de sementes inicialmente desprovida de luz	44

5.2 CULTIVO <i>IN VITRO</i> DE <i>HYLOCEREUS UNDATUS</i> (PITAIA)	46
6 CONCLUSÕES	50
7 REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

As cactáceas são plantas cultivadas no mundo inteiro e amplamente utilizadas, principalmente no âmbito ornamental e horticultural. São naturais, em sua ampla maioria, de regiões áridas e semiáridas, locais de temperaturas altas e com temporadas de seca e carência hídrica (CAVALCANTE et al., 2013). Se tratando da sua relação com seu habitat, possuem grande relevância regional e, em particular, em épocas de seca, momento esse em que há escassez de plantas alimentícias e água (BRAVO FILHO et al., 2018a).

Os cactos estudados no presente trabalho foram *Hylocereus undatus* e *Melocactus zehntneri*. A espécie *Hylocereus undatus*, popularmente conhecida como Pitaia, recebeu muita atenção mundial de alguns anos para cá devido ao seu fruto apresentar características exóticas e atraentes. Hoje é considerada uma das frutíferas mais cultivadas ao redor do mundo, com grande potencial comercial (LE BELLEC et al., 2006). Já a espécie *Melocactus zehntneri*, também conhecida como Coroa-de-Frade, é uma espécie endêmica do Brasil (ZAPPI et al., 2015). São muito importantes no contexto ecológico, etnobotânico e comercial. No comércio, a ornamentação e colecionismo são nichos de maiores procuras (LONE et al., 2007). Porém, devido à alta demanda, muitos comerciantes contribuíram com a diminuição dos indivíduos de *M. zehntneri* devido a coleta em seus ambientes de ocorrência, como a Caatinga. Hoje a espécie se encontra sob proteção devido a decadência do número de populações, de forma que futuramente não entrem em risco de extinção (BRAVO FILHO et al., 2018b).

Como forma de escalonar a produção de cactáceas, a produção *in vitro* é uma excelente alternativa em comparação a técnicas convencionais, levando em consideração suas vantagens de uniformidade genética e cultivo livre de doenças e pragas (DIAS et al., 2008). Neste tipo de cultivo é utilizado iluminação artificial em sala de crescimento. E é notado que os comprimentos de ondas emitidos pelas fontes de iluminação exercem grande influência em diferentes respostas dos vegetais cultivados, quanto ao seu desenvolvimento e também podem contribuir no desempenho durante e após o período de aclimatização (LAZZARINI et al., 2017).

Portanto, para estabelecer melhorias na produção dessas espécies, o presente projeto teve como objetivo determinar a influência de comprimentos de onda e intensidades luminosas na germinação de sementes de *M. zehntneri* e no desenvolvimento vegetativo *in vitro* de *H. undatus*.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar a influência de comprimentos de onda e intensidades luminosas na germinação de sementes de *Melocactus zehntneri* e no desenvolvimento vegetativo de *Hylocereus undatus*.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito e a influência de diferentes espectros luminosos na porcentagem de germinação de *Melocactus zehntneri* e no desenvolvimento inicial de plântulas de *Hylocereus undatus*.
- Avaliar o efeito de diferentes intensidades luminosas sobre a porcentagem de germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de *M. zehntneri*
- Avaliar o efeito da germinação de sementes de *M. zehntneri* em diferentes períodos no escuro e posteriormente sob fonte luminosa;
- Avaliar e determinar o melhor espectro luminoso no desenvolvimento de mudas micropropagadas de *Hylocereus undatus* em condições *in vitro*.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 CACTACEAE

Os cactos são plantas pertencentes à família Cactaceae e ao grupo botânico Angiospermas dicotiledôneas. São endêmicas das Américas, onde apresentam inúmeras áreas áridas e semiáridas que abrigam cerca de mil e quinhentas espécies distribuídas pelo continente (ZAPPI et al., 2011). São geralmente encontrados em ambientes quentes e secos, com solos bem drenados, arenosos ou argilosos, também em afloramentos rochosos e suas fendas. Os cactos não se limitam apenas a estes ambientes, algumas espécies epífitas e rupícolas habitam ambientes sombreados e úmidos encontrados nas florestas da Amazônia e da Mata Atlântica (CAVALCANTE et al., 2013). Os maiores polos de diversidade de cactos são México, Estados Unidos, Peru, Bolívia, Argentina, Brasil e Chile, ocupando desde montanhas de altas altitudes até planícies costeiras. O Brasil ocupa a terceira colocação em riqueza de diversidade de cactos com alto grau de endemismo (PÉREZ-MOLPHE-BALCH, 2015), com 188 espécies endêmicas segundo a lista Espécies da Flora (ZAPPI; TAYLOR, 2020).

Essas plantas apresentam uma grande variedade morfofisiológica. Possuem caules modificados em uma estrutura chamada cladódio, estrutura suculenta e fotossintetizante onde há tecidos que acumulam grande quantidade de água que permite ao cacto sobreviver por longos períodos de seca sem que a taxa hídrica seja reduzida significativamente (TAIZ; ZEIGER, 2013). Ainda, seus cladódios possuem uma camada externa fotossintetizante que envolve os tecidos internos, os quais têm a propriedade reservatória hídrica. Desta forma, durante a seca a água é perdida preferencialmente nestas células internas, entretanto, o equilíbrio do potencial hídrico entre os dois tipos de conjunto celular, externo e interno, são mantidos (TAIZ et al, 2017).

Os cactos também apresentam como mecanismo de prevenção de perda de água para o ambiente o seu metabolismo fotossintético chamado Metabolismo Ácido das Crassuláceas – CAM. Neste mecanismo a abertura de seus estômatos para captação de CO₂ ocorre no período escuro (ARRUDA et al., 2005; MALDA; SUZÁN; BACKHAUS, 1999). O metabolismo tipo CAM diferencia-se dos demais metabolismos vegetais existentes pelo fato de permitir às crassuláceas de suportarem baixas condições de disponibilidade de água. Este sistema torna-se eficiente graças ao mecanismo de concentração de gás carbônico (CO₂), aumentando a eficiência do uso de água. Este perfeito sistema se dá pelo espaçamento temporal entre a captura

e incorporação de CO₂. Para isso, há a abertura do sistema estomático e captura de CO₂ no período escuro, momento esse em que há condições de baixo déficit de pressão de vapor (DVP) entre o vegetal e seu ambiente. Desta forma, não há perda de água durante o período do dia pois os estômatos se encontram fechados. Nos outros tipos de plantas o que ocorre é o contrário deste sistema. Esses esquemas de fatores permitem a capacidade das plantas tipo CAM a produzirem maiores quantidades de biomassa em ambientes de baixíssimas precipitações e/ou com elevadas temperaturas propiciando a evaporação. Assim, sob condições normais de nutrição e hidratação, tendem a consumir baixa taxa de água/kg de matéria seca produzida (18 a 25 L) em comparação às plantas do tipo C4 e C3 sob mesmas condições (250 a 350 L e 450 a 950 L, respectivamente) (OLIVEIRA, 2019).

Um aspecto relevante sobre os cactos é em relação aos seus pigmentos. Os pigmentos são compostos químicos com a habilidade de absorver luz na faixa de comprimento de onda visível, sendo os principais encontrados nos vegetais, além das clorofilas, são os carotenoides e as antocianinas (DELGADO-VARGAS et al., 2000). Ademais, a ordem Caryophyllales, a qual inclui a família cactaceae, é o único grupo de plantas que produzem no lugar de antocianina outros tipos de pigmentos antioxidantes, como as betalaínas (ZOLNERKEVIC, 2012). As betalaínas atribui a pigmentação avermelhada aos frutos e flores dos cactos (DELGADO-VARGAS et al., 2000).

Outras características que essa família apresenta, de forma geral, são o crescimento vegetativo lento; absorção de água em curto período de tempo pelas raízes; ausência de folhas e presença de aréolas, estrutura que determina o reconhecimento dos cactos e que também dá origem aos espinhos (PÉREZ-MOLPHE-BALCH, 2015). Os espinhos também ajudam na prevenção de desidratação do cacto, e em algumas espécies têm como função a absorção hídrica do ambiente atmosférico (HOLLIS, 1999).

A reprodução geralmente se dá naturalmente de forma sexuada, entretanto, muitas espécies podem se reproduzir também por multiplicação assexuada a partir de um broto ou partes do cladódio. É possível que as germinações de suas sementes sejam feitas *in vitro*, o qual proporciona a multiplicação de cactos com variabilidade genética, beneficiando sua disponibilidade e conservação (MEIADO, 2013).

Se tratando de aspectos ecológicos, os principais polinizadores do sistema floral são as mariposas, besouros, vespas, pássaros, abelhas e morcegos (ABUD et al., 2010). Já na dispersão

de sementes, já foram descritos os lagartos, pássaros, morcegos e formigas. (NASCIMENTO et al., 2015).

As cactáceas são um dos grupos vegetais mais utilizados pelo homem, principalmente em regiões de seca. Estão presentes em muitas culturas, apresentando grande relação com a população nordestina do Brasil. São muito utilizadas com finalidades medicinais, culinárias, para alimentos de animais ruminantes, no setor ornamental e também culturalmente (BRAVO FILHO et al., 2018a). Na ornamentação os cactos se destacam em função de sua diversidade de formas, tamanhos e flores, ganhando significativo espaço no setor comercial. Devido ao seu expressivo uso, os cactos são alvos de intensa exploração, e, como resultado, inúmeras espécies acabaram em situação de risco de extinção (GOETTSCHE; HILTON-TAYLOR; CRUZ-PIÑÓN et al., 2015).

Outrossim, os cactos são plantas que apresentam grande importância ecológica ao realizarem interação com a fauna, sendo a base de várias cadeias alimentares (LUCENA et al., 2015). Por estarem presentes em ambientes com prolongados períodos de estiagem e baixo percentual de alimentos, servem como fonte de alimento para fauna local, como lagartos, aves, morcegos, macacos e vespas (ZAPPI, et al., 2011). Também contribui na formação de solos que, conseqüentemente, permitem o estabelecimento de outras plantas (CAVALCANTE et al., 2013).

3.2 HYLOCEREUS UNDATUS (PITAIA)

A Pitaia, ou “Fruta do Dragão”, como é popularmente conhecida na Ásia e outras regiões do mundo, é um cacto pertencente ao gênero *Hylocereus* e é uma frutífera de origem das Américas de ambientes subtropicais e tropicais, como o Panamá, Costa Rica, Uruguai, Brasil, Venezuela, Colômbia e México (MARQUES et al., 2011). Atualmente é considerada a cactácea frutífera mais cultivada em escala mundial (DONADIO, 2009). São cactos epífitos que apresentam frutos suculentos e com grandes números de sementes, cladódios com ramificações e podem ser terrestres e/ou rupícolas. Também, desenvolvem grandes quantidades de raízes adventícias que as permite fixar e obter nutrientes (ANDRADE et al., 2005). *Hylocereus spp.*, por ter origem de florestas tropicais e subtropicais das Américas, seu meio natural é em condições de sombreamento (OLIVEIRA, 2019). Possuem flexibilidade quanto a

qualidade do solo, entretanto, necessita de adubação rica em macronutrientes e principalmente matéria orgânica, que possui como finalidade manter a temperatura, umidade e características químicas (HERNANDEZ, 2000; NUNES et al., 2014).

A produção de Pitaia se dá por sementes ou vegetativamente por meio de estaquia e enxertia. A propagação sexuada geralmente é aplicada com objetivo de melhoramento e proporciona variedade genética. Para o segundo caso é utilizado como forma de manter suas características (KATAOKA et al., 2013). Para isso, são utilizados os cladódios do cacto (segmentação), sendo seccionados de uma planta matriz. Em condições adequadas, são desenvolvidas raízes nas segmentações e novas plantas idênticas à planta mãe serão originadas (BASTOS, 2006). A produção também pode ser feita por meio de cultura vegetal *in vitro*, demonstrando muito sucesso utilizando explantes de espécies de Pitaia (DAHANAYAKE; RANAWAKE, 2011).

Seus frutos, cobertos por brácteas (escamas) e de coloração atrativa que variam entre vermelho ou amarelo (NERD; MIZRAHI, 1999), ganharam grande destaque nos últimos anos no setor alimentício e comercial devido suas características consideradas exóticas, além de apresentar propriedades organolépticas (LE BELLEC et al., 2006). A polpa pode apresentar coloração que varia do branco ao vermelho-púrpura e possui numerosas sementes diminutas e escuras bem distribuídas (SANTOS, 2019). A produção geralmente se dá nos meses de dezembro a maio, com produtividade em torno de 14 toneladas por hectares (ANDRADE et al., 2005), podendo observar flores e frutos em oito meses após o plantio (GONÇALVES DA SILVA et al., 2020).

Devido a suas características, as Pitaias são plantas muito propícias para o cultivo em larga escala comercial, também apresentando boa aceitação pelos consumidores (ORTIZ-HERNANDEZ, 2000). A Pitaia de polpa branca (*Hylocereus undatus*) é a frutífera mais cultivada atualmente, tendo sua maior produção e exportação mundial no México e Colômbia (SILVA et al., 2015). No estado de São Paulo também existem alguns pólos de produção de *H. undatus*, sendo o principal na cidade de Catanduva (NUNES et al., 2014). Ainda assim, são poucas áreas no Brasil onde são cultivadas as Pitaias, necessitando ainda de grande importação dos frutos para comercialização. Esse fator influencia o preço final do fruto, não sendo de grande acessibilidade às populações de baixa renda (NUNES et al., 2014). Entretanto, esse aspecto não interfere no seu alto valor de mercado, mesmo o fruto sendo ainda pouco difundido

no Brasil em relação ao plantio comercial, comparado a outros países, é possível que seja implementado e escalado em vista da grande distribuição geográfica da Pitaia.

Alguns estudos demonstraram certa capacidade de adaptação das Pitaias a algumas condições ambientais como regiões quentes e úmidas, próximas ao nível do mar e em áreas altas e frias (POLLNOW, 2018). Contudo, mesmo tratando-se de um cacto, este gênero é sensível a intensidades e temperaturas extremas, de forma que podem ser afetados fisicamente e fisiologicamente sob radiação em excesso. Podem ser citados como exemplo o amarelecimento dos cladódios, baixa qualidade dos frutos, baixa taxa fotossintética e de floração (OLIVEIRA, 2019). Mesmo que, de forma geral, as Pitaias se desenvolvam melhor em habitat sombreado, a espécie *H. undatus*, estudada no presente trabalho, tolera ser cultivada em áreas tropicais recebendo intensa radiação solar.

Além do potencial comercial, a Pitaia também se destaca pela riqueza de nutrientes e benefícios à saúde, sendo principalmente usados no setor culinário e farmacêutico (DONADIO, 2009). Os frutos podem ser consumidos frescos ou utilizados para a preparação de geleias, doces, bebidas, sorvetes e corantes. Seus cladódios e flores também possuem aplicações significativas na alimentação, geralmente como verduras (MARTÍNEZ et al., 1996). Além da alimentação humana, os talos, por exemplo, também são utilizados na alimentação animal, como forragem. Em sua composição química estão presentes as betalaínas, antocianinas, flavonoides, heteropolissacarídeo pectina e os ácidos graxos insaturados (ESQUIVEL, P; QUESADA, Y. A, 2012).

3.3 MELOCACTUS ZEHNTNERI (CHAPÉU-DE-FRADE)

O gênero *Melocactus* é constituído de plantas popularmente conhecidas como coroa-de-frade, chapéu-de-frade ou gorro-turco e possuem distribuição na América Central e do Sul, Caribe, Andes e México. No Brasil, o gênero ocorre em toda região nordestina, com exceção do Maranhão, e em partes da região Norte e Sudeste. O Brasil é o país com a maior diversidade de espécies de *Melocactus* do mundo, apresentando 21 espécies endêmicas (ZAPPI et al., 2015), o que representa cerca 55% do total de espécies já reconhecidas (MACHADO, 2009). O maior foco de distribuição de *Melocactus* está presente na região semiárida da região Nordeste do país (ZAPPI et al., 2015).

Os *Melocactus* apresentam, de forma geral, o cladódio em formato globoso, sem segmentações e crescimento vegetativo bastante lento (CORREIA et al., 2018a; NUNES et al., 2016). Em seu ápice é possível localizar o cefálio, estrutura peculiar ao gênero, o qual ocorre apenas quando o cacto atinge a maturidade reprodutiva que ocorre em aproximadamente dez anos de idade. Essa estrutura indica o início da fase reprodutiva e a interrupção do crescimento vegetativo (LONE et al., 2007; TAYLOR, 1991). O gênero apresenta reprodução natural exclusivamente por sementes e possui limitações propagativas, uma vez que não desenvolvem segmentações como em outras espécies de cactos (BRAVO FILHO et al., 2018b). Além disso, também apresentam baixa taxa de sobrevivência no seu desenvolvimento inicial, dado que de 10 mil sementes germinadas poucas conseguem chegar à fase adulta (COELHO et al., 2015; CORREIA et al., 2018b).

No período de antese floral, as flores se abrem no período da tarde e se fecham próximo ao anoitecer. Cerca de dois terços do comprimento da flor estão compreendidos no cefálio, protegendo o ovário (pericarpelo). Dessa forma, o fruto é desenvolvido no interior do cefálio e conforme a proximidade do fim de sua maturação, ele passa a ser visível e aos poucos expulso para o lado externo da estrutura, ficando disposto ao redor da planta mãe (TAYLOR, 1991).

As sementes da Coroa-de-frade apresentam maior taxa de germinação quando ainda estão frescas (CORREIA et al., 2018b; ZAPPI, 2011), sendo que a viabilidade está relacionada com o tempo de armazenamento. Entretanto, de modo geral, não apresentam boa taxa de germinação logo após extraídas do fruto devido a concentração de inibidores, provavelmente presentes na testa das sementes. Este fato leva a acreditar que as sementes, em habitat natural, precisam passar um período em condições de umidade, ou até mesmo passar pelo sistema digestivo de dispersores para que possíveis inibidores físicos ou químicos da germinação possam ser removidos (ROJAS-ARÉCHIGA; VÁZQUEZ-YANES, 2000).

Ecologicamente, são muito importantes para a fauna local onde está inserido, uma vez que seu florescimento e frutificação ocorrem de maneira contínua com picos sazonais de produção ao longo do ano, servindo de alimento para nectários, como o beija-flor e para os que se alimentam do fruto, como os lagartos (ROMÃO et al., 2007). Também possibilitam, no processo de colonização de nichos, tornar ambientes xéricos em locais mais propensos para a instalação de outras espécies que antes não conseguiriam colonizar (LONE et al., 2007; FABRICANTE; ANDRADE; MARQUES, 2010).

Os *Melocactus* também apresentam grande importância no âmbito etnobotânico, principalmente se tratando da região nordestina do Brasil. Há registros em Alagoas, na cidade de Palmeira dos Índios, grande valor cultural do gênero para povos indígenas já no século XVIII a partir da lenda de Pissorê (TORRES, 1984). Ainda hoje na sociedade contemporânea, muitas comunidades usam os *Melocactus* de acordo com suas crenças e costumes, além do grande uso visivelmente marcante em residências para fins de ornamentação. Há grande uso no âmbito medicinal para tratamento de inúmeros sintomas, como tosse, inflamação de garganta, doença renal e intestinal, cólicas e também como fortificante físico (AGRA et al., 2007). Na culinária, esse cacto está ligado principalmente às famílias na linha da pobreza extrema ou à culinária exótica, em vista da riqueza de nutrientes. Contudo, culturalmente ligado à culinária nordestina, são usados em pratos típicos da região. Também são muito utilizados na alimentação de ruminantes, especialmente em épocas de seca (LUCENA et al., 2012).

3.4 MERCADO DE CACTÁCEAS

Os cactos apresentam grande destaque ornamental em função de suas características, como seus variados tamanhos, formas e flores, e também no varejo alimentício devido aos seus frutos (CORREIA et al., 2011). Segundo dados da CITE (Convenção sobre o Comércio Internacional de Espécies da Fauna e da Flora Selvagem Ameaçadas de Extinção), o Brasil importou e exportou um gama de espécies de cactos nativos e exóticos para diferentes nacionalidade, sendo o maior volume preferencialmente para negócios de exportação de espécies exóticas. No período de 2004 a 2014 a exportação brasileira de grupos de plantas ornamentais que inclui os cactos teve 2.554.690.942 unidades comercializadas e destinadas a mais de 50 países, sendo os principais importadores a Holanda, Estados Unidos e Itália. Essas comercializações movimentaram um volume de U\$\$124.863.890,00, sendo 78,5% equivalentes aos três países supracitados (CAVALCANTE; LEITE DE VASCONCELOS, 2016).

A procura por espécies de *Melocactus* no setor comercial, especialmente para fins de ornamentação e colecionismo, vem tendo notável crescimento nos últimos anos, devido a sua estética peculiar e fácil manutenção. São plantas com grande poder atrativo e econômico devido aos seus atributos ornamentais (BRAVO FILHO, 2014). Entretanto, é difícil ter precisão dos números exatos em relação ao comércio dessas plantas, uma vez que o comércio irregular ainda é vigente (CAVALCANTE; LEITE DE VASCONCELOS, 2016), sendo comum a

comercialização em massa de plantas adultas retiradas de seu habitat natural em áreas e viveiros de cultivo de plantas ornamentais e para o paisagismo.

A maior produção brasileira de cactos ornamentais e também de demais plantas ornamentais e florícolas encontra-se concentrados no estado de São Paulo, representando cerca de 90% da comercialização no setor atacadista, o qual distribui plantas por todo território nacional (ANEFALOS; GUILHOTO, 2003; SEBRAE, 2015b). No estado paulista, os maiores centros dessas produções são realizados majoritariamente pela Cooperativa *Veiling* Holambra (Holambra) e, também se destacam o Entrepósito Terminal São Paulo - CEAGESP (São Paulo), Mercado Permanente de Flores e Plantas Ornamentais da Ceasa Campinas (Campinas), Floranet e Cooperflora (Holambra), Cooperativa SP Flores (Mogi das Cruzes) e outros (JUNQUEIRA; PEETZ, 2008). Já o comércio varejista de flores e plantas ornamentais concentra-se também com maior porcentagem no município de São Paulo, seguido por Rio de Janeiro e Belo Horizonte (SEBRAE, 2015b). Este mercado tem aumentado de 12% a 15% ao ano, tanto no canal supermercadista quanto via *on-line* (SEBRAE, 2015a; SEBRAE, 2015b).

No comércio, a Pitaia faz parte do grupo do mercado de frutas exóticas. Mesmo seu preço sendo mais custoso que os demais frutos convencionais, há registros do aumento de sua venda. A Pitaia ganhou muita atenção após sua introdução relativamente recente e tem se destacado no mercado, além de despertar o interesse de fruticultores no plantio e cultivo (JÚNIOR et al, 2019). Os principais polos de cultivo voltado para o comércio são os países: Austrália, Bahamas, Bermuda, China, Colômbia, Filipinas, Flórida, Índia, Indonésia, Japão, Malásia, México, Nicarágua, Sri Lanka, Tailândia, Taiwan, Vietnã (MERCADO-SILVA, 2018). Já os principais produtores de *Hylocereus spp.* no Brasil são Goiás, Minas Gerais, Paraná e São Paulo (SILVA, 2014).

3.5 REDUÇÃO DAS POPULAÇÕES DE CACTOS

Embora os cactos tenham adquirido ao longo de sua evolução características morfoanatômicas que os permitem sobreviver em diversos ambientes drásticos, são um dos grupos de plantas mais ameaçados, de modo que muitas espécies se encontram listadas com graus de risco de extinção (IUCN, 2010). Uma das razões que levam a diminuição dessas plantas deve-se a contínua degradação da Caatinga para a implantação da agricultura e pecuária.

Além disso, também devido ao gradual aumento de demanda de muitas espécies, há uma considerável intensificação do extrativismo para diversas finalidades, sendo possível serem vistas à venda na beira de estradas (SIMÕES et al. 2020). Os principais interesses pelas cactáceas, de forma geral, são para o uso na produção de alimentos, medicamentos, forragem animal (FABRICANTE; ANDRADE; MARQUES, 2010; ZAPPI et al., 2011), mas especialmente para seu uso na esfera ornamental, resultado do aumento do interesse comercial por colecionadores e paisagistas.

Muitas espécies de cactos estão tendo suas populações drasticamente reduzidas de forma que a retirada de indivíduos de seu habitat é desproporcional ao seu tempo de crescimento (MACHADO, 2009). É importante ressaltar que, de forma geral, as cactáceas apresentam baixa habilidade de se restabelecerem demograficamente uma vez extraídas (COELHO, 2015). Este fato é altamente recorrente com *Melocactus*, um dos gêneros de cacto com mais espécies ameaçadas, no qual muitas se encontram sob proteção que objetiva controlar o alto fluxo de extração para comércio, principalmente (CITES, 1994; CITES, 2019).

Atualmente uma grande diversidade de cactos encontram-se protegidos por regulamentações da Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies Silvestres Ameaçadas de Extinção (CITES) que visa controlar o alto fluxo de comércio e a evitar que, futuramente, passem a correr risco de extinção (CITES 1994; CITES 2019). Conjuntamente, muitos se encontram na Lista Vermelha da IUCN (União Internacional para a Conservação da Natureza), o qual tem por objetivo determinar categorias de ameaças aos seres vivos. Dentre as quase 1500 espécies de cactos presentes no continente americano, 416 estão ameaçadas de extinção em nível mundial. Analisando apenas o território brasileiro, 131 espécies também estão ameaçadas, representando 31% de todos os cactos ameaçados mundialmente (IUCN, 2018; GOETTSCHE; HILTON-TAYLOR; CRUZ-PIÑÓN et al., 2015).

Exemplos de populações presentes na Lista Vermelha são a população de *Melocactus braunii* em estado criticamente ameaçada de extinção (*Critically Endangered – CE*) (BRAUN; MACHADO; TAYLOR, 2013) e *Melocactus glaucescens* e *Melocactus azureus*, espécies em estado de ameaçadas de extinção (*Endangered – EN*) (BRAUN et al., 2013; TAYLOR et al., 2013). Já a espécie *Melocactus zehntneri*, se encontra em uma situação de preservação pouco preocupante (*Least Concern - LC*) (MACHADO et al., 2017), entretanto, ela vem apresentando grande declínio em regiões do Nordeste, onde restam apenas pequenas populações isoladas (BRAVO FILHO et al., 2018a). Uma preocupação acerca do extrativismo de *Melocactus* é que

o gênero apresenta mais dificuldade de recolonizar seus habitats em comparação a outros gêneros, além do alto grau de endemismo que apresentam. Outrossim, a diminuição das espécies do gênero reduz a variabilidade genética da população, principalmente por terem sido reportados grupos isolados geneticamente (MACHADO, 2009; BRAVO FILHO et al, 2018a). Algumas espécies de *Hylocereus* (Pitaia) também estão inclusas na lista vermelha, por exemplo, a *Hylocereus esquiintlensis* se encontra criticamente ameaçada de extinção (*Critically Endangered* – CR) (VÉLIZ; ARIAS, 2013), *Hylocereus calcaratus* ameaçada de extinção (EN) (HAMMEL, 2013) e *Hylocereus stenopterus* vulnerável (*Vulnerable* – VU) (HAMMEL, 2017). Já para a espécie *Hylocereus undatus* não há dados suficientes para concluir sua categoria de ameaça na lista Vermelha da IUCN (DURÁN et al, 2017).

3.6 GERMINAÇÃO DE SEMENTES

A germinação pode ser descrita como o reinício do desenvolvimento de uma planta a partir do crescimento de um embrião no interior de uma semente (FARIAS, 2012). O período de germinação permanece até o momento em que a nova plântula necessita de outras fontes nutritivas e não consegue mais fazer por si só. Durante a germinação ocorre uma complexa sequência de atividades fisiológicas no interior da semente que recebem influências externas como a luz, temperatura, oxigênio e disponibilidade de água, como também influências internas como os fomentadores e inibidores da germinação (FLORIANO, 2004).

O início da germinação se dá com a absorção de água pela semente seca e termina com a emergência do eixo embrionário, em geral a radícula, transpondo seus tecidos circundantes (TAIZ et al. 2017). O maior fator de influência desse processo é a água, a qual permite a reidratação dos tecidos e reativação do metabolismo celular, fornecendo as ferramentas necessárias para a aquisição de energia e nutrientes para deslançar seu crescimento (MEIADO, 2012a). Diz-se “reinício” e “reidratação” devido ao processo de desenvolvimento vegetal que é interrompido após a maturação das sementes na planta-mãe (FILHO et al., 2012). Após a embebição, o tegumento da semente amolece e, com a expansão do embrião, se rompe. Os cotilédones serão a fonte nutritiva primária dos embriões até possuírem capacidade de adquirirem nutrientes a partir do meio em que se estabelecerem. Então ocorre a protrusão radicular, se fixando e dando sustentabilidade à planta. A produção das primeiras estruturas

vegetativas, como folha ou cladódio, aumentam as taxas fotossintéticas da plântula e é nesse momento em que se inicia a absorção de nutrientes no ambiente (FLORIANO, 2004).

As sementes das plantas podem apresentar diversificadas respostas ao fator luz, como por exemplo, algumas espécies germinam apenas no escuro, outras após rápidas ou extensas exposições à luz. Dessa forma podemos classificar as sementes em: a) fotoblásticas positivas – sementes na presença de luz terão maior capacidade germinativa; b) fotoblásticas negativas – sementes que somente na ausência de luz (escuro) têm a promoção da germinação; e c) fotoblásticas neutras – sementes que possuem a capacidade de germinarem tanto em ambiente luminoso quanto em ambientes desprovidos de luz (FILHO et al., 2012).

Muitas espécies terão a produção de sementes em ambientes áridos e semiáridos, locais em que há baixa disponibilidade hídrica. Portanto, as plantas, sendo as cactáceas as mais características destes ambientes, adquiriram durante seu processo evolutivo formas de se estabelecerem nesses ambientes. As sementes desse grupo de plantas geralmente possuem mecanismos contra a entrada de água por serem espessas e impermeáveis. Além dessa função, essas características também ajudam na regulação da velocidade de embebição, no controle de trocas gasosas e, de acordo com a espécie, promovem a dormência tegumentar. A luz e a temperatura são os fatores que mais influenciam a germinação das sementes desse grupo vegetal. As respostas fotoblásticas de suas sementes a esses aspectos ambientais geralmente são positivas ou neutras (MEIADO, 2012a).

3.7 CULTIVO *IN VITRO* DE PLANTAS

A cultura de material vegetal *in vitro* é uma das principais ferramentas utilizadas na biotecnologia, tendo um maior desenvolvimento no decorrer do século XX (LAZZARINI et al., 2017). Diversos estudos biológicos nesse período permitiram consolidar o desenvolvimento de plantas em ambiente *in vitro*, como, por exemplo, o conhecimento da importância de hormônios vegetais no desenvolvimento de um novo órgão vegetal (SKOOG, MILLER, 1957) e a conquista de plantas transgênicas a partir de plasmídeos (MARTON et al., 1979).

O cultivo *in vitro* vegetal demanda a utilização de um pequeno espaço para crescimento, podendo ser aplicado para inúmeras finalidades que permeia o melhoramento genético, propagação de grandes quantidades de plantas e até mesmo para formação e intercâmbio de

germoplasma (CANÇADO et al., 2009). Hoje essa ferramenta está ligada a grandes sistemas de produção de plantas ornamentais, frutíferas e hortícolas, os quais permitem a todo momento repensar e/ou criar protocolos de propagação e conservação de espécies (CARDOSO, 2014).

Essa técnica consiste em cultivar diferentes estruturas vegetais em recipientes semi-herméticos com condições de crescimento específicas quanto a temperatura, luminosidade, nutrição, assepsia, pH e umidade. Ademais, as plantas cultivadas estarão resguardadas de pragas, doenças e intempéries presentes em seus habitats naturais. Os meios utilizados, no geral, são gelatinosos ou líquidos, compostos por nutrientes fundamentais para o desenvolvimento vegetal, como a sacarose, vitaminas, sais inorgânicos, reguladores de crescimento, dentre outros que serão acrescentados de acordo com o objetivo estabelecido (GAMBORG, 2002).

Os meios para desenvolvimento artificial podem fornecer ótimas condições para a germinação de sementes da maioria das espécies de cactos, sendo uma boa estratégia que permite contornar situações excessivas de extrativismo, além de favorecer a conservação desse grupo vegetal (ROJASARÉCHIGA; VÁZQUEZ-YANES, 2000). As cactáceas geralmente têm sua propagação a partir de estacas, brotos e sementes. Já é observado grande sucesso na propagação de sementes de cactos *in vitro*, sendo essa multiplicação uma ótima forma de manutenção da variabilidade genética (CORREIA; BERNARDO, 2020). Embora o custo do cultivo vegetal *in vitro* seja mais elevado que os obtidos de forma natural, permitindo condições específicas, como já mencionado, também podem proporcionar um desenvolvimento rápido se comparado ao de sistema natural (DIAS et al., 2008) O favorecimento da aceleração no desenvolvimento geral das cactáceas cultivadas *in vitro* pode se dar pelo fato de proporcionar um microambiente que favorece a fixação de gás carbônico de forma contínua, atuando como plantas de metabolismo C3 facultativas (MALDA; SUZÁN; BACKHAUS, 1999).

A característica de totipotência das células vegetais viabiliza seu uso para a propagação *in vitro* ou até mesmo o desenvolvimento de culturas de células. Os vastos estudos sobre a fisiologia do crescimento e desenvolvimento em meio *in vitro* permite a otimização de métodos que favoreçam melhor e de forma mais rápida o desenvolvimento da planta (LAZZARINI, 2017), como o trabalho de SALEH (2016) com *Attalea speciosa*, no qual foi feito estudos *in vitro* sobre os aspectos morfológicos, anatômicos, histoquímicos e bioquímicos da germinação de embriões zigóticos.

3.8 EFEITO DA LUZ E DE FOTORRECEPTORES NA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO VEGETAL

São inúmeros os fatores que influenciam nas respostas das plantas durante seu ciclo de vida, podendo ser desde suas características intrínsecas fisiológicas até mesmo ambientais (TAIZ et al, 2017). A fonte luminosa é um fator ambiental físico de extrema importância para a vida na Terra e, para o crescimento e desenvolvimento vegetal não é diferente. Ela possui a capacidade de desencadear sinais de ativação ou inativação de vias metabólicas em sementes e em plantas já em plena floração (VICTÓRIO; LAGE, 2009). Exemplos que podem ser citados de sua participação são na síntese de carboidrato, germinação, fotomorfogênese, fototropismo, movimento das folhas e florescimento (SILVA et al., 2013).

Os organismos fotossintetizantes, como os vegetais, convertem as ondas eletromagnéticas, uma energia física, em energia química para uma de suas principais atividades, a fotossíntese ou síntese de carboidratos. Os fotorreceptores, moléculas receptoras fundamentais para esse processo, são utilizados pelas plantas para detecção de energia luminosa e, desta forma, obtém uma fotoresposta específica a partir da absorção de fótons e utilização desta energia. Também, possuem a capacidade de sensibilidade à quantidade de luz, qualidade de luz (comprimento de onda) e o fotoperíodo, bem como a intensidade e duração de exposição da mesma (MEIRA et al, 2019).

Os fitocromos são pigmentos proteicos que participam de um grande espectro de respostas nas plantas. Absorvem as luzes vermelha (660 nm) e vermelha-intensa (760 nm), entretanto também absorvem a luz azul (350-500 nm) e radiação UV-A (320-400 nm). Eles estão relacionados à fotomorfogênese, como, por exemplo, a germinação, indução floral e crescimento de hastes e folhas. Além disso, uma característica exclusiva deste fotorreceptor é sua fotorreversibilidade por influência das luzes de cores vermelhas, podendo estar na forma inativa e ativa. Ademais, apenas o vermelho-distante é sua forma fisiologicamente ativa (VICTÓRIO; LAGE, 2009). É possível dizer que os fitocromos, quando presentes no núcleo e ativados pela luz, são capazes de exercer mudanças na transcrição gênica (MELO, 2021).

Outras classes de fotorreceptores, como os criptocromos, fototropinas e a família *ZEITLUPE* também participam dos efeitos da luz azul e UV-A. Sabendo disso, é comum ocorrer a interação de múltiplos fotorreceptores e intermediários na sinalização luminosa, podendo ser difícil separar respostas específicas uma vez que acontecem quase que

simultaneamente. Assim como o fitocromo, os criptocromos, por exemplo, exercem papéis importantes na fotomorfogênese, enquanto as fototropinas conduzem o fototropismo, a abertura estomática e os movimentos dos cloroplastos. Já o *ZEITLUPE* possui um papel importante na percepção do comprimento do dia e nos ritmos circadianos (TAIZ et al, 2017).

Os principais fatores condicionados aos fitocromos podem ser divididos em dois grupos, sendo eles os eventos bioquímicos rápidos e as mudanças morfológicas lentas, no qual no segundo caso encaixam o crescimento e movimento vegetal. Algumas características morfológicas visíveis induzidas pelos fitocromos são manifestadas após um período longo entre o tempo de estimulação e observação da resposta. Porém, esse tempo também pode se dar em cerca de minutos ou semanas (MELO, 2021).

A partir do espectro de ação, gráfico que expressa a magnitude da fotossíntese, é possível observar as especificidades do comprimento de onda a partir de uma determinada resposta biológica à luz solar. Dessa forma, é notável a diferença entre os fotorreceptores, os quais apresentam diferentes características de absorção. Outra classificação de resposta do fitocromo é a partir da quantidade de luz requerida, podendo ser apontada como respostas à fluência muito baixa ($\mu\text{mol m}^{-2}$), respostas à baixa fluência ($\mu\text{mol m}^{-2}$) e respostas à irradiância alta ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Além destes fatores, a composição química dos fitocromos também é um fator a ser levado em consideração (TAIZ et al, 2017).

Existem cinco espécies de fitocromo, sendo eles o fitocromo A, B, C, D e E. O fitocromo A absorve o espectro de luz vermelho-distante e como resposta é visível a promoção do florescimento, estiolamento e germinação de sementes. A luz vermelha é o espectro que exerce maior influência na fotomorfogênese. Já o fitocromo B absorve o vermelho e o branco contínuo, sendo possível observar o estímulo para o desestiolamento e a germinação de sementes e inibição da indução de florescimento e crescimento do hipocótilo. O fitocromo C, D e E absorvem tanto o espectro vermelho como o vermelho-distante, de modo que a partir do fitocromo C há como resposta a relação conjunta com as rotas dos fitocromos A e B, uma vez que ao longo do dia não há uma homogeneidade luminosa, ou seja, há variações significativas quanto à qualidade e intensidade da luz. Esse aspecto dos fitocromos possibilita que as plantas usufruam de opções de vias metabólicas de acordo com suas necessidades de adaptação. Já nos fitocromos D e E são apontadas respostas para o alongamento dos pecíolos e entrenós dos vegetais. Cada um dos fitocromos citados neste parágrafo absorvem um tipo preferencial de

radiação, entretanto não há impedimentos de absorção de outros espectros, como, por exemplo, o azul (KENDRICK; FRANKLAND, 1981).

A resposta das plantas ao espectro de luz azul está relacionada a inibição do alongamento do hipocótilo em plântulas, aumento da respiração celular, promoção ou redução do crescimento de acordo com cada espécie, além de uma grande variação de respostas fisiológicas nas plantas. Os principais fotorreceptores que estão relacionados aos efeitos da luz azul são os criptocromos, fototropinas e a proteína ZEITLUPE (TAIZ et al, 2017). O espectro de luz azul carrega uma grande gama de energia, proporcionando às clorofilas um maior estado energético em comparação à luz vermelha. A luz azul também desempenha papéis fundamentais nos vegetais, atuando nas trocas gasosas e relações hídricas que é a base para o crescimento e produção vegetal. Outro aspecto importante é a influência que possui no desenvolvimento de cloroplastos nas células e na síntese de clorofila (LAZZARINI et al., 2017).

3.9 FONTE DE LUZES ARTIFICIAIS

Durante o cultivo de plantas em sala de crescimento, como nas produções *in vitro*, é importante uma fonte de iluminação artificial como forma de atender as necessidades de fotoperíodo das plantas durante todo o ano. As lâmpadas que mais são utilizadas para esse fim são as incandescentes, pelo seu baixo custo, e as fluorescentes. Ademais, ambas lâmpadas emitem suas luzes em um espectro luminoso muito amplo e conseqüentemente reduz suas eficácias. Como forma de contornar as desvantagens, próximo ao final do século XX foi iniciado um teste com os Diodos Emissores de Luz, mais conhecidos como LEDs (LAZZARINI et al., 2017). Os Diodos são monocromáticos, possibilitando que apenas um comprimento de onda e intensidade de luz específico seja fornecido à planta para que responda ao fotoperíodo. Isto é, possui capacidade de controle espectral que permite que os comprimentos de onda sejam adaptados aos fotorreceptores das plantas. Os LEDs também apresentam polarização e distribuição de energia espacial. O pico de emissão dessa luz é de 220 a 1.000 nm (ASSIS, 2015).

A luz de LED pode ser aplicada em muitas áreas da agricultura, oferecendo vantagens frente às formas de iluminação convencionais. Como vantagens pode ser citado sua durabilidade, tamanho reduzido, longo tempo de vida e lâmpadas frias, além do controle de comprimento de luz já citado. Devido a sua eficiência no cultivo de plantas, muitos estudos

sobre os tipos de luzes de LED passaram a serem feitos. As lâmpadas de LED vermelha e azul, por exemplo, foram descritas na literatura como eficientes no aumento da taxa fotossintética de algumas espécies (TENNESSEN et al., 1994; YANAGI et al., 1996). Também há trabalhos sobre a combinação das duas lâmpadas de LED no qual os resultados mostraram uma taxa fotossintética ainda maior em comparação com as plantas cultivadas sob lâmpadas monocromáticas (MATSUDA et al., 2004).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL VEGETAL

Para os experimentos foram utilizadas as espécies *Melocactus zehntneri* (coroa-de-frade) e *Hylocereus undatus* (Pitaia). *M. zehntneri* foi proveniente da coleção de germoplasma do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), de registro ABBC280 pelo Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado – SisGen. Três plantas adultas em pleno florescimento e frutificação foram utilizadas como fonte de sementes, sendo os frutos coletados no momento em que eram desprendidos do cefálio. Já as plântulas de *Hylocereus undatus* foram provenientes de plantas estabelecidas por sementes e cultivadas *in vitro* ao longo de dois anos de cultivo.

4.2 SEMEADURA DE MELOCACTUS ZEHNTNERI (COROA-DE-FRADE)

Esse experimento teve como principal objetivo determinar a influência do comprimento de onda e da intensidade luminosa na germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de *Melocactus zehntneri* cultivadas em placas de Petri e condições de temperatura controladas pelo uso de sala de crescimento. O método, do ponto de vista prático, teve como principal objetivo servir de método de propagação e estudos na espécie.

As sementes de *M. zehntneri* foram removidas dos frutos e, com o auxílio de uma peneira, foram lavadas em água corrente com algumas gotas de detergente neutro para a retirada do excesso de mucilagem residual dos frutos e que as envolvem. Posterior à lavagem, as sementes foram postas à sombra e em temperatura ambiente 25° C para secar sobre papel filtro durante o período de 24 horas. As sementes permaneceram armazenadas nessas condições até a realização dos experimentos. Na instalação do experimento, as sementes de *M. zehntneri* foram imersas

em água destilada por 10 minutos para facilitação da germinação, conforme resultados previamente obtidos de experimento (dados não publicados). Posteriormente, em câmara de fluxo laminar, as sementes passaram pelo processo de assepsia, que consistiu nos seguintes passos: em tubos Falcon® foram imersas em álcool 70% (v/v) durante um minuto e em seguida, em solução contendo 30% de hipoclorito de sódio (2.0-2.5% de cloro ativo) e 5 mL.L⁻¹ de detergente neutro por 15 minutos em agitação seguido de três lavagens em água deionizada previamente autoclavada. No último enxágue foi mantido aproximadamente 2 mL de água deionizada para que essa solução contendo as sementes possam ser utilizadas como veículo para inoculação nas placas.

Todas as sementes foram semeadas em placas de Petri de poliestireno cristal lisas e estéreis contendo duas camadas de papel filtro saturado com 5 mL de água deionizada estéril por placa. Posteriormente foram dispostas sobre diferentes intensidades e comprimentos de onda obtidos por LEDs e mantidas em cultivo em sala de crescimento, sendo essas: luz azul, luz vermelha, luz vermelha + azul (3:1) e, como controle a luz branca (Imagem 1)

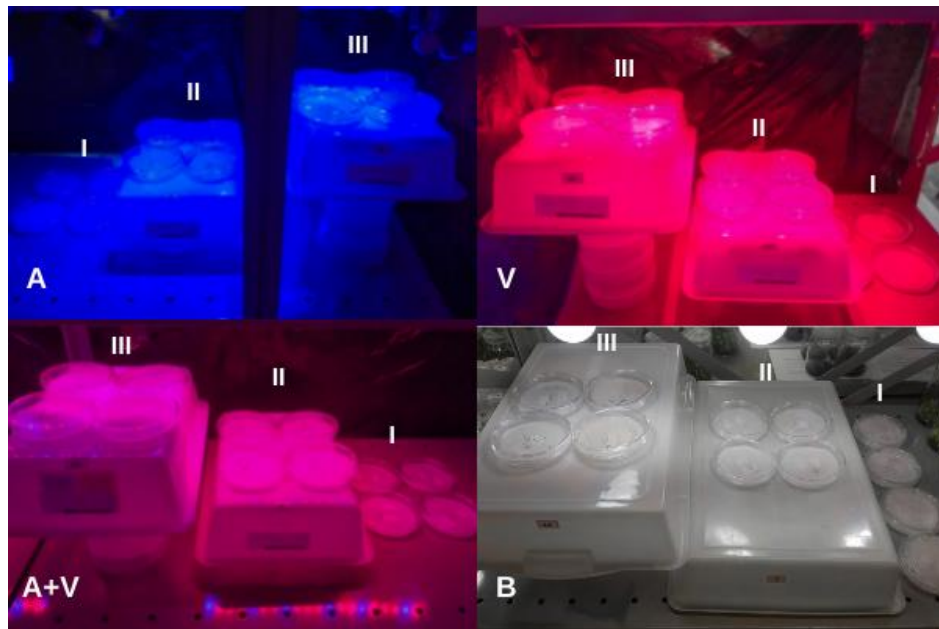


Figura 1. Esquema de distribuição das placas de Petri contendo sementes de *Melocactus zehntneri* dispostas em diferentes distâncias para obtenção de três diferentes intensidades por tratamento. A: tratamento com luz azul; V: tratamento com luz vermelha; A+V: tratamento com a combinação das luzes vermelha e azul; e B: tratamento controle com luz branca. I, II e III indicam as três diferentes intensidades de cada comprimento de onda.

As intensidades de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) foram mensuradas com auxílio de medidor Quantum de PPF, marca Apogee Instruments®, Modelo SQ-520 (USA) de cada fonte luminosa e foram obtidas e determinadas pela colocação das placas em proporções equidistantes (Luz azul: Intensidade I 27 cm, Intensidade II 18 cm e Intensidade III 9 cm; Luz vermelha: Intensidade I 35 cm, Intensidade II 23 cm e Intensidade III 12 cm; Luz vermelha + azul: Intensidade I 32 cm, Intensidade II 21 cm e Intensidade III 10,5 cm; Luz branca: Intensidade I 23 cm, Intensidade II 15 cm e Intensidade III 7,5 cm), sendo elas (Tabela 1):

Tabela 1. Diferentes intensidades e fontes de iluminação utilizados na germinação de sementes de *Melocactus zehntneri*.

	I	II	III
LED Azul	37,83 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	67,19 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	134,21 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
LED Vermelha	53,59 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	97,58 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	144,89 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
LED Azul/Vermelha	41,28 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	64,02 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	115,19 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
LED Branca	56,83 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	96,19 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$	135,57 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$
Média	47,3825	81,245	132,465
Desvio Padrão	9,2426	18,1147	12,4564

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em fatorial 3 x 4, (PPFD x comprimento de onda) distribuídos em quatro repetições, constituídas de placas de Petri individuais contendo 20 sementes cada.

Como experimento complementar, foi testada a influência do ambiente desprovido de luz sobre a germinação das sementes de *M. zehntneri*, sendo levada ao ambiente luminoso da sala de crescimento após três períodos: 10, 20 e 30 dias de escuro. A condição de escuro foi obtida utilizando caixa de papelão, onde as placas contendo as sementes foram dispostas em seu interior, sendo fechada e lacrada com fita crepe. Como controle, as sementes foram deixadas sob fonte luminosa branca. O objetivo deste experimento foi analisar e discutir a diferença de taxa de germinação das sementes levada à uma fonte luminosa após permanecerem certo período no escuro em comparação às sementes já inicialmente expostas à luz. Para isso, foi

realizado o mesmo procedimento de preparação e inoculação de sementes já supracitado. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado distribuído em quatro repetições, constituídas de placas de Petri individuais contendo 20 sementes cada.

As placas de Petri de ambos experimentos foram fechadas e vedadas com filme transparente PVC e mantidas em sala de crescimento com temperatura de $26 \pm 1^\circ \text{C}$, fotoperíodo de 14 horas. A luz branca foi obtida por lâmpadas frias fluorescentes e as luzes de espectro vermelho, azul e vermelho/azul por luzes do tipo LED. A germinação foi avaliada duas vezes por semana, sendo considerada sementes germinadas quando visível a protrusão do eixo hipocótilo-radicular igual ou superior a 0,1 cm. Ao final, foi calculado a Porcentagem de Germinação (G%), Velocidade Média de Germinação (VMG) e Índice de Velocidade de Germinação (IVG).

4.3 CULTIVO *IN VITRO* DE *HYLOCEREUS UNDATUS* (PITAIA)

Esse experimento teve como principal objetivo determinar os efeitos do comprimento de onda na morfologia e desenvolvimento *in vitro* de indivíduos de *Hylocereus undatus*, de forma a correlacionar o comprimento de onda com o desenvolvimento de diferentes partes dessa cactácea e correlacionar a importância específica dos comprimentos de onda.

Foi feito o subcultivo do material inicial em câmara de fluxo laminar, no qual os explantes, cladódios com cerca de 2 cm, foram colocados em frascos de vidro contendo 30 mL do meio de cultura MS (MURASHIGE; SKOOG, 1962). O meio MS utilizado foi preparado com sacarose (20 g.L^{-1}), inositol (100 mg.L^{-1}) e ágar ($6,4 \text{ g.L}^{-1}$); com a adição de carvão ativado (1 g.L^{-1}). Em cada frasco foram cultivados seis indivíduos. Posteriormente, os frascos foram dispostos de forma aleatorizada sobre quatro diferentes fontes luminosas de diferentes comprimentos de onda: azul, vermelho, vermelho + azul e, como controle, luz branca. Para cada tratamento foram feitas seis repetições. Os frascos foram mantidos em sala de crescimento pelo período de três meses.

Os frascos foram previamente autoclavados à temperatura de 120°C por 25 minutos. Também, após a inoculação das plantas, esses foram vedados com filme transparente PVC e mantidos em sala de crescimento sob os mesmos fatores do experimento 4.2. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado.

Para determinar qual tratamento demonstrou ser mais eficiente, foram avaliados o diâmetro do cladódio (DC); presença ou não de raízes aéreas (RA); comprimento da maior raiz (CR); número de raízes (NR); número de segmentos (NS); massa total fresca (MTF); massa fresca da raiz (MFR); massa fresca da parte aérea (MFPA); massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR). As variáveis foram analisadas com o auxílio de régua milimétrica, paquímetro e balança analítica de precisão marca Mettler, Mod. ML201, com 0,1 mg de precisão.

Como forma de estabelecer o peso da massa fresca e seca das raízes e do cladódio, foram feitas secções das partes, separando o sistema radicular da parte aérea. Os materiais foram acondicionados em sacos de papel kraft separadamente e colocados em estufa a 65°C por 48h até atingir massa constante. Em seguida, através da balança analítica, foi determinado o peso da massa seca, em gramas.

4.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA E MEDIDAS DE GERMINAÇÃO

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Para a comparação de médias foi feito o teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o software AgroEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2009) e RStudio (SOLANKI et al., 2017).

A Porcentagem Porcentagem de Germinação (G%) foi determinada por $G\% = \frac{\sum ni}{N} \cdot 100$, onde $\sum ni$ é o número total de sementes germinadas e N o número total de sementes colocadas para germinar (LABOURIAU, 1983). A Velocidade Média de Germinação foi determinado de acordo com a expressão $VMG = \frac{ni}{ti}$, no qual “ni” é o número de sementes que germinaram no tempo “i” e “ti” é o tempo após a instalação do teste (CARVALHO; CARVALHO, 2009). Para o Índice de Velocidade de Germinação (IVG) foi determinado com a expressão $IVG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} \dots + \frac{G_n}{N_n}$, onde G_1, G_2, \dots, G_n é referente ao número de sementes germinadas e N_1, N_2, N_n ao número de dias após a semeadura (MAGUIRE, 1962).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 SEMEADURA DE *MELOCACTUS ZEHNTNERI* (COROA-DE-FRADE)

5.1.1 Efeitos da qualidade e intensidade de luz na germinação de sementes

O presente trabalho traz dados originais sobre a influência de diferentes comprimentos de ondas e intensidades sob uma espécie de cacto, possibilitando a comparação intraespécie dos efeitos dos tratamentos sob o desenvolvimento da planta. Portanto, procedeu-se a comparação dos efeitos das luzes sob o desenvolvimento das plântulas de *Melocactus* utilizando dados de outras famílias de plantas encontrados na literatura.

As sementes de *M. zehntneri* permaneceram em placa de Petri por 44 dias totais. Durante a germinação não foi observado a necessidade de adição de água ao papel filme além dos 5 mL inicialmente adicionados na instalação do experimento, diferente de LONE et al (2007) que observou em seu estudo com *Melocactus bahiensis* a necessidade de nova adição de água no vigésimo dia. Isso possivelmente se deve às condições de umidade relativa e temperatura de cultivo diferentes no laboratório. Os embriões puderam ser observados com clareza após a hidratação e rompimento das sementes, os quais ocuparam grande parte do seu espaço interno. Também, apresentaram-se com formato cilíndrico e de coloração branca.

A primeira avaliação da germinação das sementes se deu no sétimo dia após a instalação do experimento. No quarto dia foi possível observar o início da germinação nos tratamentos com luz vermelha/azul e luz branca. O início da germinação ocorreu com a protrusão do eixo hipocótilo-radicular, resultado da expansão do embrião e ruptura do tegumento.

Em relação à germinação, a maioria dos tratamentos com diferentes comprimentos de onda e intensidades de luz apresentaram um plausível percentual de germinação, não diferenciando entre si significativamente (52,5% a 72,5%), exceto na luz azul, no qual as intensidades I (25%) e II (35%) não resultaram na germinação com o mesmo desempenho dos outros tratamentos (Tabela 2). A média máxima de germinação para *Melocactus zehntneri* geralmente se encontra na faixa dos 90% (SANTOS, 2019).

Tabela 2. Porcentagem de germinação (G%) de sementes de *Melocactus zehntneri* sob os fator intensidade (I, II e III) e o fator comprimento de onda (azul; vermelho; azul/vermelho e branco – controle).

Porcentagem de Germinação (G%)				
Intensidades	LED Azul	LED Vermelho	LED Vermelho + Azul	LED Branco (controle)
I	25% Bb	55% Aa	58,75% Aa	53,75% Aa
II	35% ABb	60% Aa	70% Aa	58,75% Aa
III	52,5% Aa	67,5% Aa	55% Aa	72,5% Aa
F	Fator Intensidade: 4,867*; Fator comprimento de onda: 10,867**; Interação entre fatores: 1,723 ^{NS} .			
CV%	15.96			

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença na coluna e letras minúsculas diferentes indicam diferença na linha.

* = significativo a % de probabilidade.

** = significativo a 1% de probabilidade.

^{NS} = não-significativo a 5% de probabilidade.

Foi possível observar que as sementes mais próximas das fontes luminosas, ou seja, com maior valor de PPFd, em todos os tratamentos, apresentaram as maiores taxas de germinação (Tabela 2)., em exceção para a luz vermelho + azul que apresentou maior taxa de germinação na PPFd intermediária (II). Quanto maior foi a proximidade entre as sementes e as fontes de iluminação, maiores foram os valores de PPFd e, conseqüentemente, o número de fótons que chegam às sementes.

A partir da análise estatística, foi possível notar que houve diferença para o fator qualidade e para o fator intensidade, entretanto, os valores não foram significativamente diferentes para a interação a 5% de probabilidade. Na comparação de médias a partir do teste de Tukey (Tabela 3), no que diz respeito ao comprimento de onda, a luz azul mostrou-se inferior às demais com 37,50% sementes germinadas. Já as luzes branca (controle), vermelha + azul e vermelha apresentaram valores equivalentes com 61,67%, 61,25% e 60,83% de germinação, respectivamente. Em relação a intensidade, há uma correlação positiva entre as testadas, ou seja, quanto maior foi a intensidade, independentemente do comprimento de onda, maior foi a germinação (I: 48,13%; II: 55,94% e III: 61,88%).

Tabela 3. Comparação entre médias a partir do Teste de Tukey a 5% dos fatores (lux x intensidade) aplicados sob sementes de *Melocactus zehntneri*.

Tipos Luminosos	Média
LED Azul	37,50% b
LED Vermelho	60,83% a
LED Vermelho + Azul	61,25% a
LED Branco	61,67% a

Intensidade	Média
I	48,13% b
II	55,94% ab
III	61,88% a

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância

A variação da ausência ou presença de luz, segundo THOMPSON (1974), influencia diretamente na germinação de muitas espécies de plantas. Pensando nas condições de um habitat natural, estas variações são determinadas pelo fenômeno do dia e da noite. A luz será um fator decisivo para o processo de germinação. Em florestas tropicais, por exemplo, muitas sementes germinam apenas após a incidência de um feixe de luz devido à queda de uma árvore ou determinadas degradações do espaço. Desta forma, o fitocromo age detectando o tamanho do comprimento de onda para instaurar o processo de germinação (TAIZ et al. 2017).

Durante a primeira avaliação, sete dias após a instalação do experimento, foi notado que, além da pigmentação verde que o embrião adquiriu devido ao início da biossíntese de clorofilas, que alguns embriões se desenvolveram em plântulas de coloração avermelhada (Figura 2), sendo mais evidente no tratamento de luz azul e branca. Dessa forma, além da presença do pigmento betalaína nos tecidos reprodutivos, como citado na introdução, sua presença nos tecidos vegetativos indica ser regulado a partir das condições ambientais, como em resposta à luz azul e branca (fluorescente), a qual abrange o espectro de luz azul (MOSCO, 2012). A

coloração avermelhada em plântulas recém-germinadas, fase em que o sistema fotossintético ainda não se desenvolveu por completo, são mais sensíveis à fotoinibição. Embora o conhecimento bioquímico sobre as betalaínas seja pouco difundido na literatura, entende-se que seu acúmulo está ligado ao papel de fotoproteção, agindo de forma rápida sobre os raios de luzes recebidos transformando-os em calor inofensivo à planta. Quando a síntese de clorofila se inicia o pigmento das betalaínas tendem a desaparecer (ZOLNERKEVIC, 2012). Portanto, a presença deste pigmento durante o processo de desenvolvimento inicial das plântulas pode ser um indicativo de estresse (MARTINS, 2006).

Analisando outros pigmentos, como o carotenoide e a antocianina, os quais agem de forma similar à betalaína em relação a fotoproteção em outras espécies, de acordo com os resultados encontrados por MARTINS (2006) em seu trabalho envolvendo a germinação e a influência da luz, foi notado que as taxas de carotenoides eram maiores em plantas submetidas a maior intensidade luminosas em comparação com as que foram mantidas sob sombreamento. Já OWEN; LOPEZ (2015) notou em seu trabalho com alfaces que a luz de LED azul em intensidade $100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ influenciou no acúmulo de pigmentação vermelha nas folhas devido ao maior acúmulo de antocianinas. Dessa forma, estes autores concluem que a intensidade, quantidade, qualidade e duração de exposição à luz, bem como temperatura são fatores que exercem papéis importantes no acúmulo de pigmentos.

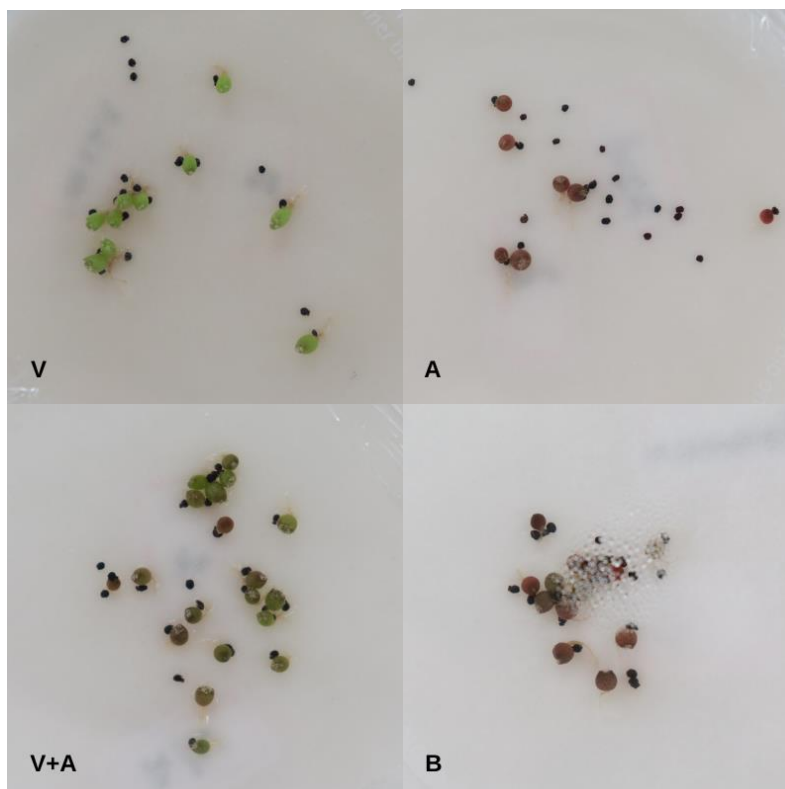


Figura 2. Desenvolvimento de coloração avermelhada devido à presença de betalaínas em plântulas de *Melocactus zehntneri* sob os tratamentos luz azul (A); vermelha + azul (V+A) e branca (B). Não houve desenvolvimento de pigmentação avermelhada sob o tratamento de luz vermelha (V).

O tratamento sob luz azul, de uma forma geral, apresentou resultados inferiores aos demais aplicados, principalmente na Intensidade I ($37,83 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) com 25% sementes germinadas e na Intensidade II ($67,19 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) com 35% sementes germinadas. Apesar do baixo desempenho na taxa germinativa, foi possível observar o bom desenvolvimento radicular das plântulas sob luz azul. Contudo, as respostas aos comprimentos de onda variam entre as espécies de plantas. Conforme os resultados de VICTÓRIO; LAGE (2009) em seu trabalho utilizando a espécie *Phyllanthus tenellus*, foi notado que sob a luz azul não foram obtidos grandes estímulos na produção de raízes. Em contrapartida, este mesmo trabalho apresentou melhores resultados radiculares a partir dos efeitos da luz vermelha.

Sob a luz vermelha, as colorações predominantes das plântulas eram o verde claro. Essa coloração pode estar relacionada a predominância de clorofila a, a qual absorve preferencialmente o espectro de cores roxo-azul e laranja-vermelho e refletem nas cores azul-verde (DATT, 1998), realçando assim a cor verde nas plântulas de *M. zehntneri*. Também, notou-se que quanto maior a intensidade luminosa maiores foram sendo o percentual germinativo, sendo na Intensidade I ($53,59 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 55% de sementes germinadas; Intensidade II ($97,58 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 60% de sementes germinadas e Intensidade III ($144,89 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 67,5% de sementes germinadas (Tabela 2). O alongamento do cladódio e o bom desenvolvimento do sistema radicular também foram bem evidentes. Alguns trabalhos utilizando a influência do comprimento de onda no espectro vermelho também obtiveram como resposta vegetal o alongamento celular, onde a altura da parte aérea se destaca (HENRIQUE et al., 2011; MEROTTO et al., 2002).

A luz vermelha é uma ótima estimuladora da germinação de sementes de diferentes espécies (KERBAUY, 2008), e em todos os tratamentos contendo o comprimento de onda do espectro da luz vermelha o resultado da taxa germinativa foi satisfatório. Um fator que pode explicar a resposta vegetal a luz vermelha é a regulação da biossíntese das giberelinas pelo fitocromo ativo, uma vez que este fitormônio atua de forma direta no estímulo germinativo (LONVEGROVE; HOOLEY, 2000). Contudo, o uso individual da luz vermelha não

diferenciou-se significativamente do tratamento sob iluminação vermelha + azul e do controle (luz branca).

Sob a luz vermelha + azul, a coloração predominante das plântulas de *M. zehntneri* foram verdes escuras. No mesmo trabalho de OWEN; LOPEZ (2015) também foi observado o escurecimento da planta estudada sob o espectro de luzes combinadas azul + vermelho, principalmente sob maiores intensidades luminosas. Os resultados sob este comprimento de onda foram eficientes, alcançando 60% sementes germinadas na Intensidades II ($64,02 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (Tabela 2). Na literatura é amplamente difundido os ótimos resultados de tratamentos de diferentes tipos de plantas *in vitro* utilizando a combinação dos espectros vermelho e azul. De uma forma geral, esta combinação apresenta ótimos rendimentos sobre muitas espécies de plantas (BULA et al., 1991; BROWN; SCHUERGER; SAGER, 1995). No trabalho de RAMIREZ-MOSQUEDA et al. (2016) utilizando *Stevia rebaudiana* os resultados mais promissores foram aqueles que utilizaram a união dos dois tipos de comprimento de onda citado, no qual pôde-se observar um maior número de brotações. Estudos indicam a utilização de ambas luzes monocromáticas uma vez que possuem influências complementares, sendo a luz de LED vermelha eficiente no aprimoramento fotossintético, no aumento longitudinal da parte aérea e dos entrenós, além de estimular o enraizamento. Já a luz azul contribui na síntese de clorofila e na atividade estomática (LAZZARINI et al., 2017). Apesar dos resultados superiores encontrados para diversas plantas sobre tratamento da luz vermelha em conjunto com a luz azul, não foi observado resultado que diferencie significativamente a qualidade do tratamento sob este conjunto de espectros em comparação ao tratamento sob a luz vermelha e controle (luz branca).

Sob a luz branca, as plântulas de *M. zehntneri* apresentaram um pouco de coloração avermelhada e verde escura. Este fato pode ser explicado pelo amplo espectro de comprimento de ondas que são emitidos pela luz branca, abrange o espectro do comprimento de onda da luz vermelha e azul, além de outras cores (KIM, 2012). Os resultados utilizando a luz branca apresentou ótimos resultados, principalmente se tratando da Intensidade III ($135,57 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), com 72,5% sementes germinadas (Tabela 2).

O espectro de luz de LED, sendo ele vermelho, azul, vermelho + azul ou branco, mostraram grande influência no desenvolvimento e fisiologia das sementes. Fontes luminosas de cor vermelha e azul providas de lâmpadas de LED são absorvidas pelas plantas em até 90%, fato que demonstra como comprimentos de ondas específicos exercem ampla atuação na

fotoresposta vegetal (LAZZARINI et al., 2017). Segundo os estudos de GUIMARÃES et al. (2016), as lâmpadas de LEDs proporcionam um ótimo desenvolvimento de plântulas do cacto mandacaru quando comparadas, por exemplo, com lâmpadas fluorescentes.

5.1.2 Índice de Velocidade de Germinação e Velocidade Média de Germinação

O Índice de Velocidade de Germinação (IVG) para *Melocactus zehntneri* foi de: Luz Azul: I - 1,8; II - 2,5; III - 3,7; Vermelho: I - 3,8; II - 4,1; III - 5,0; Vermelho + Azul: I - 4,5; II - 5,4; III 5,8; e Branco: I - 4,0; II - 4,6; III - 5,1 dias. O IVG é feito a partir de um cálculo que determina uma estimativa do tempo médio do progresso germinativo.

Valor semelhante para os melhores resultados (iluminação vermelha; vermelha + azul e branca na intensidade III com 5,0; 5,8 e 5,1 dias, respectivamente) foi encontrado no trabalho de CORREIA et al (2018) também utilizando sementes de *M. zehntneri*, com IVG de 5,9 dias. Já no trabalho de CORREIA; BERNARDO (2020) usando a espécie *Echinocactus grusonii* o valor encontrado para IVG foi de 5,4 dias.

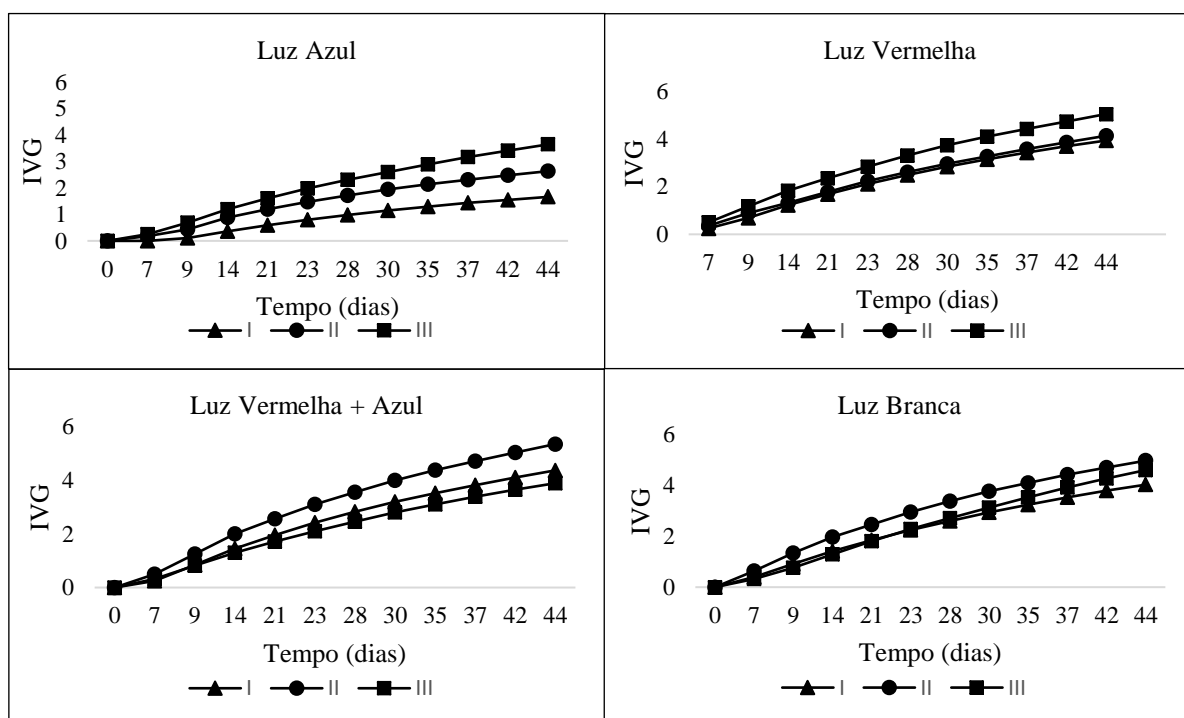


Figura 3. Índice de Velocidade de Germinação de sementes de *Melocactus zehntneri* sob efeitos das iluminações de espectro Azul; Vermelho; Vermelho + Azul e Branco.

Para a Velocidade Média de Germinação (VMG), os tipos luminosos branco e vermelho + azul, na intensidade II tiveram os maiores valores com 0,69 e 0,75 sementes germinadas por dia, respectivamente. Já a luz vermelha na intensidade III teve o maior valor com 0,67 sementes germinadas por dia. Esses valores apresentados não diferem entre si significativamente. Já o tratamento com luz azul apresentou os menores valores para VMG em todas as intensidades.

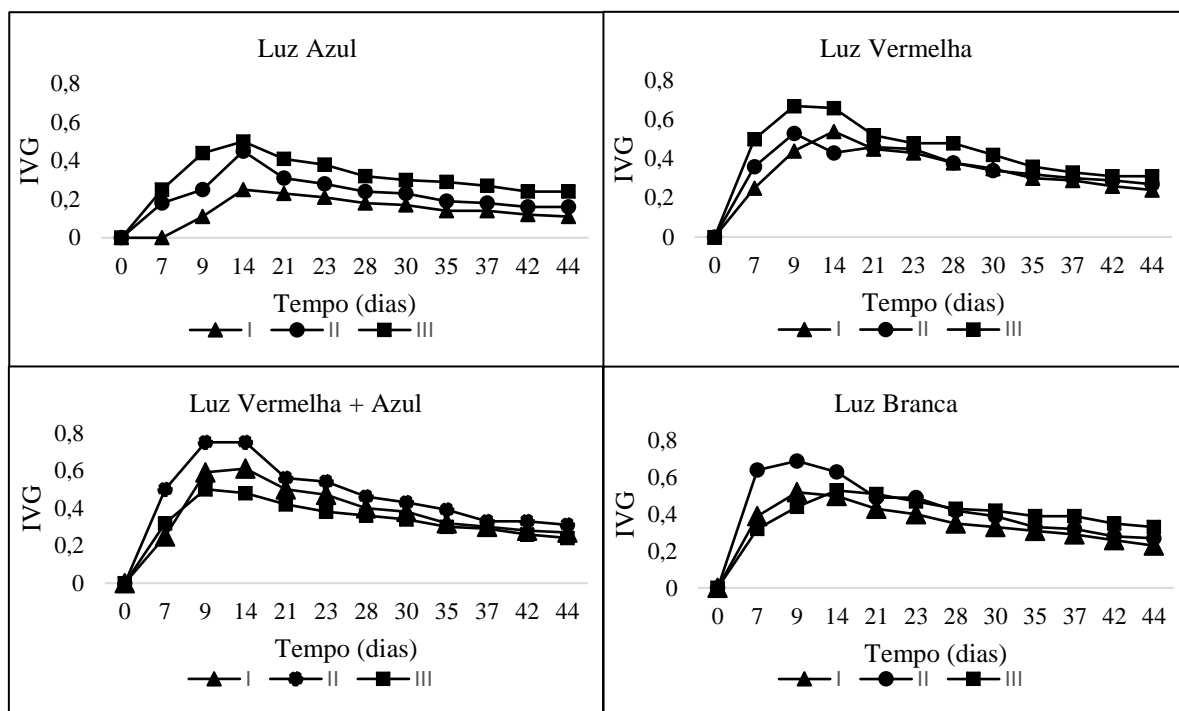


Figura 4. Velocidade Média de Germinação de sementes de *Melocactus zehntneri* sob efeitos das iluminações de espectro Azul; Vermelho; Vermelho + Azul e Branco.

5.1.3 Germinação de sementes inicialmente desprovida de luz

A condição inicial das sementes de *M. zehntneri*, as quais foram colocadas para germinar sob a privação de luz, causou efeitos fisiológicos determinantes para a continuidade deste processo. De uma forma geral, os três períodos (10, 20 e 30 dias) em que as sementes ficaram na ausência de luz provocou a redução da taxa germinativa a quase zero mesmo após expostas à luz. A média de germinação após 10, 20 e 30 dias foram de 11,25%; 2,25%; e 3,75% (Tabela 4), respectivamente, não diferindo entre si significativamente. Cada tratamento ficou sob a luz artificial pelo período de 42 dias. O primeiro indício de germinação no tratamento após 10 dias

no escuro se deu no 12º dia em exposição à luz e após 20 e 30 dias se deram igualmente no 14º dia.

Nos resultados encontrados por ABUD et al. (2010) em pesquisa utilizando sementes do cacto *Pilosocereus pachycladus*, não foram observadas germinações em escuro total, concluindo dessa forma que se tratam de sementes fotoblásticas positivas. Análogo a esses resultados, o experimento com as sementes de *M. zehntneri* também indicam a mesma sensibilidade à luz. Esses fatos vão de encontro com os dados presentes em muitos trabalhos que afirmam a dependência das sementes de muitas cactáceas com a luz, como no caso do gênero *Melocactus* (MEIADO, 2012b; NASCIMENTO et al., 2018; RUTHS et al., 2019). Contudo, já foi descrito por FLORES-MARTÍNEZ et al., 2002 e JIMÉNEZ-AGUILAR; FLORES, 2010 que cactos de formato globoso, como os *Melocactus*, podem germinar no escuro. Este dado pode explicar uma ou outra germinação observada durante o experimento.

Em relação a incapacidade germinativa das sementes mesmo após condições ambientais favoráveis, a dormência secundária pode ser uma possível explicação. Essa condição ocorre quando as sementes são expostas a um quadro desfavorável à germinação quando não mais presente ao fruto (MELO; JÚNIOR, 2006).

Tabela 4. Porcentagem de germinação de sementes de *Melocactus zehntneri* colocados em iluminação após determinados períodos na ausência de luz.

Escuro → Luz	Germinação (Unid.)
Controle	63,75% a
Após 10 dias	11,25% b
Após 20 dias	2,5% b
Após 30 dias	3,75% b
F	31,386*
CV%	84,223

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância.

* = significativo a 1% de probabilidade.

5.2 CULTIVO *IN VITRO* DE *HYLOCEREUS UNDATUS* (PITAIA)

Os diferentes comprimentos de onda produziram efeitos interessantes no desenvolvimento morfológico *in vitro* dos *Hylocereus undatus* (Figura 5). Entretanto, as respostas do cacto ao comprimento de onda vermelho, de maneira geral, foram inferiores aos demais tratamentos em relação às variáveis analisadas número e diâmetro do cladódio (DC) (0,19); presença ou não raiz aérea (RA) (não apresentaram); massa fresca da parte aérea (MFPA) (0,13); massa seca da parte aérea (MSPA) (0,0042) e massa fresca da raiz (MFR) (0,016).

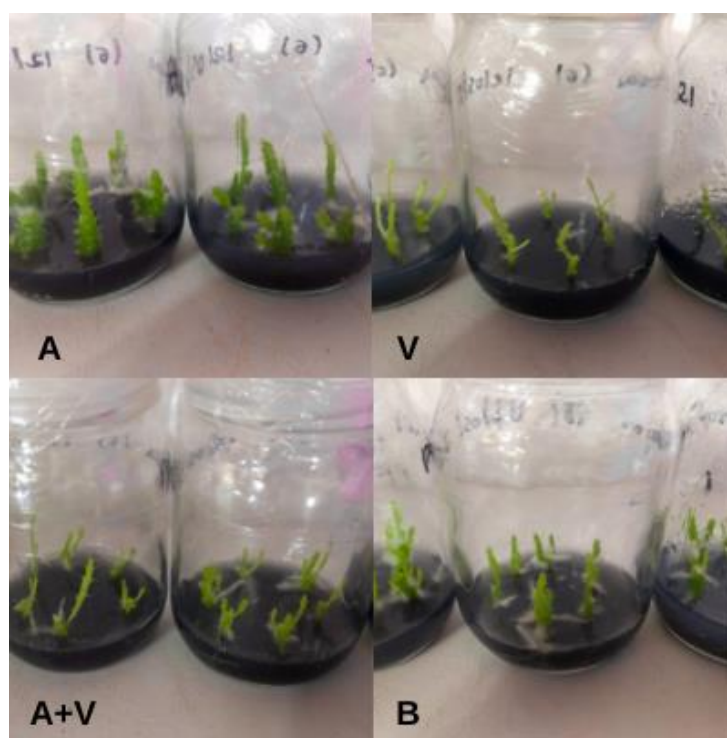


Figura 5. *Hylocereus undatus* durante o experimento sob os tratamentos com luz azul (A); luz vermelha (V); combinação das luzes azul e vermelha (A+V); e luz branca (B).

Para os resultados das variáveis comprimento da raiz (CR) e número de raízes (NR), nenhum tratamento diferiu-se entre si significativamente. Sob o comprimento de onda azul, os cactos apresentaram maiores valores médios para massa fresca da parte aérea (MFPA) (0,68) e

massa seca da parte aérea (MSPA) (0,0251), contudo, apresentou o menor valor médio para número de segmentações (NS) (2,33) do cladódio.

Já o comprimento de onda azul + vermelho apresentaram os melhores resultados para a variável número de segmentações (NS). Este mesmo comprimento de onda apresentou valores iguais ao da cor azul, ambos apresentando ótimos resultados para presença de raiz aérea (RA) (apresentaram raízes aéreas) e massa seca da raiz (MSR) (0,0046).

O tratamento controle (luz branca) apresentou resultados intermediários, não se ressaltando significativamente em nenhuma das variáveis analisadas. Apenas para os resultados de RA que, assim como a luz vermelha, não apresentaram raízes aéreas.

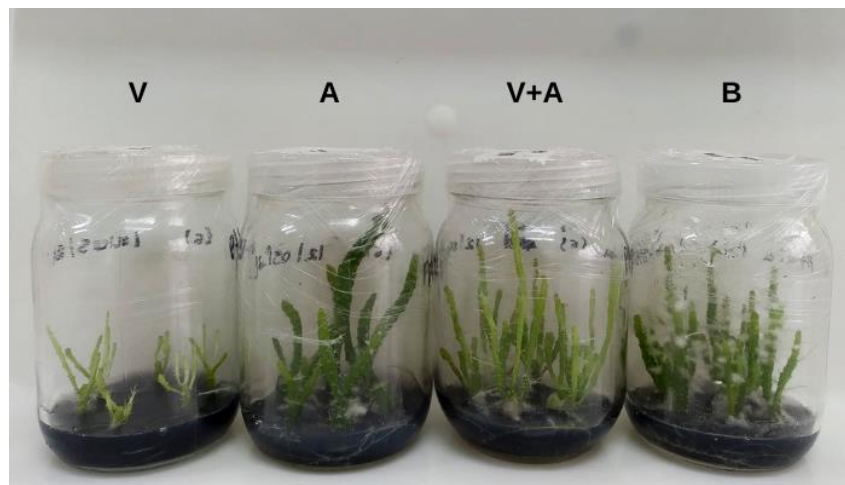


Figura 6. Amostras de *Hylocereus undatus in vitro* de cada tratamento testado, sendo V: tratamento sob luz vermelha; A: tratamento sob luz azul; A+V: tratamento sob a combinação das luzes vermelha e azul; e B: tratamento controle com luz azul.



Figura 7. Amostras de *Hylocereus undatus* de cada tratamento submetido após três meses de experimento. A: tratamento sob luz azul; V: tratamento sob luz vermelha; A+V: tratamento sob a combinação das luzes azul e vermelha; e B: tratamento controle com luz branca.

Os cladódios de *Hylocereus undatus* se apresentaram bem mais robustos no tratamento de luz azul (Figura 6 e 7) em comparação aos outros indivíduos dos outros tratamentos. Foi possível observar visivelmente bons aspectos no comprimento e diâmetro do cladódio. Portanto, o uso da luz azul parece ser eficaz para melhorar essas características dos cladódios. De forma distinta, os resultados para estes mesmos aspectos foram discrepantes comparado ao tratamento de luz vermelha. Se tratando de características radiculares, a luz azul e a combinação das luzes vermelho + azul tiveram resultados mais vigorosos.

Tabela 5: Valores médios (unidade) do comprimento da raiz (CR), número de raízes (NR), número de segmentações (NS), diâmetro do cladódio (DC), presença ou não raiz aérea (RA), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR) dos indivíduos de *Hylocereus undatus* sob diferentes tipos luminosos avaliados ao final do experimento.

Tipo Luminoso	CR	NR	NS	DC	RA
Vermelho	4.06a	1.67a	3.56b	0.19b	Não
Azul	4.59a	2.44a	2.33c	0.50a	Sim
Azul + Vermelho	4.12a	2.56a	5.00a	0.44a	Sim
Branco (controle)	3.58a	2.56a	4.56ab	0.35a	Não
F	0.47 ^{NS}	2.01 ^{NS}	13.81 ^{**}	33.04 ^{**}	-
CV%	34.52	67.40	11.75	33.22	-

Tipo Luminoso	MFPA	MSPA	MFR	MSR
Vermelho	0.13c	0.0042c	0.016b	0.0016b
Azul	0.68a	0.0251a	0.057a	0.0046a
Azul + Vermelho	0.35b	0.0137b	0.064a	0.0046a
Branco (controle)	0.52ab	0.0207ab	0.063a	0.0039ab
F	35.12 ^{**}	19.08 ^{**}	13.30 ^{**}	4.27 [*]
CV%	38.84	18.22	35.80	6.16

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de significância.

* = significativo a 5% de probabilidade.

** = significativo a 1% de probabilidade.

^{NS} = não-significativo a 5% de probabilidade.

Os tratamentos sob luz azul (A) e vermelho + azul (V+A) foram os tratamentos que apresentaram maiores valores médios para a maioria das variáveis analisadas (luz azul: variáveis CR; DC; RA; MFPA; MSPA e MSR; e luz vermelha + azul: variáveis CR; NR; NS; DC; RA; MFR e MSR) (Tabela 5). Estes resultados divergem de grande parte de estudos utilizando luz azul para o crescimento e desenvolvimento de plantas. HORIBE; IMAI; MATSUOKA (2018), em testes feitos com a espécie *Nopalea cochenillifera* utilizando diferentes comprimentos de onda de luz concluíram que a luz azul suprimiu o desenvolvimento das mudas de cacto em comparação com a luz vermelha, no qual a luz azul comprometeu a

altura e número de segmentos dos cladódios. Neste mesmo trabalho, os resultados utilizando a combinação de luz azul e vermelha tiveram resultados intermediários.

6 CONCLUSÕES

Foi possível perceber que as respostas às mesmas condições de qualidade e intensidade de luz podem variar de acordo com a fase do desenvolvimento vegetal, como foi possível observar na germinação de *Melocactus zehntneri* e no desenvolvimento vegetativo das plântulas de *Hylocereus undatus*.

O efeito das luzes na germinação de sementes de *M. zehntneri* influenciaram o desenvolvimento de diferentes pigmentos nas plântulas. Os comprimentos de onda que surtiram melhores efeitos na germinação foram do espectro vermelho e branco sob a intensidade III e vermelho + azul sob a intensidade II, chegando a 67,5%, 72,5% e 70% das sementes germinadas, respectivamente. Já no desenvolvimento *in vitro* de *H. undatus*, as fotorepostas sob os comprimentos de ondas azul, vermelho + azul e branco foram os mais vigorosos, apresentando os maiores valores médios para as variáveis analisadas.

No experimento de privação de luz por três períodos de tempo, todos os tratamentos provocaram a redução da taxa germinativa a quase zero, mesmo após expostas à luz, dando a entender que as sementes foram induzidas à dormência secundária.

Os resultados obtidos nesse experimento são valiosos como ferramenta visando a produção de mudas em condições controladas de cultivo, sendo sua aplicação multidisciplinar, podendo ser usada como ferramenta na conservação da espécie e restauração de indivíduos em áreas naturais, na propagação comercial visando a redução da extração e comercialização de indivíduos naturais, como também para realização de pesquisas em diferentes áreas de biologia de cactáceas.

7 REFERÊNCIAS

ABUD, H. F.; GONÇALVES, N. R.; REIS, R. G.; PEREIRA, D. S.; BEZERRA, A. M. Germinação e expressão morfológica de frutos, sementes e plântulas de *Pilosocereus pachycladus* Ritter. **Revista Ciências Agrônômica**, v. 41, n. 3, p. 468-474, 2010.

- AGRA, M. F.; BARACHO, G. S.; BASÍLIO, I. J.; NURIT, K.; COELHO, V. P.; BARBOSA, D. A. Sinopse da flora medicinal do Cariri Paraibano. **Revista Oecol. Bras.**, v. 11, n. 3, p. 323-330, 2007.
- ANDRADE, R. A. de; OLIVEIRA, I. V. M.; MARTINS, A. B. G. Influência da condição e período de armazenamento na germinação de sementes de pitaya-vermelha. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 168-170, 2005.
- ANEFALOS, L. C.; GUILHOTO, J. J. The Brazilian market structure on flowers and ornamental plants in 2000. **Agricultura em São Paulo**, v. 50, n. 2, p. 41-63, 2003.
- ARRUDA, E. MELO-DE-PINNA, G. F., ALVES, M. Anatomia dos órgãos vegetativos de Cactaceae da caatinga pernambucana. **Revista Brasileira Botânica**, v.28, n.3, p.589-601, 2005
- ASSIS, T. **Uso de lâmpadas de diodo emissor de luz 'LED' no controle do florescimento em plantas de Tango (Solidago canadensis L.) e Hipérico (Hypericum inodorum)**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 2015.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **Software AgroEstat: Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal, Brasil, 2009.
- BASTOS, D. C.; PIO, R.; FILHO, J. A.; LIBARDI, M. N.; ALMEIDA, L; F.; GALUCHI, T. P.; BAKKER, S. T. Propagação da pitaya 'vermelha' por estaquia. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 6, p. 1106-1109, 2006
- BRAUN, P.; MACHADO, M.; TAYLOR, N. P.; ZAPPI, D. **Melocactus glaucescens**. The IUCN Red List of Threatened Species. 2013. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org/species/40923/2944067>>. Acesso em: 07 nov. 2021.
- BRAUN, P.; MACHADO, M.; TAYLOR, N.P. **Melocactus braunii**. The IUCN Red List of Threatened Species. 2013.
- BRAVO FILHO, E. S.; SANTANA, M. C.; SANTOS, P. A.; RIBEIRO, A. D. Levantamento etnobotânico da família Cactaceae no estado de Sergipe. **Revista Fitos**, v. 12, n. 1, p. 41-53, 2018a.
- BRAVO FILHO, E. S. SANTANA, M. C.; PAULO, A. A.; ADAUTO, R. . Multiplicação *in vitro* e aclimatização de *Melocactus sergipensis*. **Lilloa**, v. 55, n. 1, p. 26-36, 2018b
- BRAVO FILHO, E. S. **Diversidade, etnobotânica e propagação de cabeça-de-frade (Melocactus Link & Otto - Cactaceae) no Estado de Sergipe**. Dissertação (mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, 2014.
- BROWN, C.S.; SCHUERGER, A.C.; SAGER, J.C. Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.120, n.5, p.808-813, 1995.
- BULA, R. J.; MORROW, T. Q.; TIBBITS, T. W.; BARTA, D. J.; IGNATITUS, R. W.; MARTIN, T. S. Light-emitting diodes as a radiation source for plants. **HortScience**, v.26, n.2, p.203-205, 1991.
- CANÇADO, G. M.; BRAGA, P. T.; SOUZA, R.; NUNES, C. Cultivo de plantas *in vitro* e suas aplicações. **Informe Agropecuário**, v. 30, n. 253, p. 64-74, 2009.
- CARDOSO, J. C. Publicação em cultivo *in vitro* de plantas: qualidade para o avanço científico e tecnológico. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 4, p. 383-384, 2014.
- CAVALCANTE, A. M.; LEITE DE VASCONCELOS, G. C. Comércio legal de cactos ornamentais: oportunidade para uso sustentável no semi-árido do Brasil. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 47, n. 1, p. 9-19, 2016.

CAVALCANTE, A.; TELES, M.; MACHADO, M. **Cactos do semiárido do Brasil: guia ilustrado**. Instituto Nacional do Semiárido, 2013.

CARVALHO, D. B.; CARVALHO, R. I. Qualidade fisiológica de sementes de guanxuma em influência do envelhecimento acelerado e da luz. **Acta Acientiarum. Agronomv**, v. 31, n. 3, p. 489-494, 2009.

CITES. **Trade database**. 2019. Disponível em: <<https://trade.cites.org>>. Acesso em: 16 maio 2021.

CITES. **Criteria for amendment of Appendices I and II**. Resolution Conf. 9.24 (Rev. CoP17). 1994.

COELHO, P. J.; JÚNIOR, S. C.; NASCIMENTO, E. Coleta e conservação *ex situ* de cactáceas nativas do estado do CEARÁ. **Gaia Scientia**, v. 9, n. 2, p. 183-192, 2015.

CORREIA, D.; NASCIMENTO, E. H.; ARAÚJO, J. D.; ANSELMO, G. C.; COELHO, P. J. Germinação de sementes de cactáceas *in vitro*. **Embrapa Agroindústria Tropical**. Comunicado Técnico, 81. 2011.

CORREIA, D.; NASCIMENTO, E. H.; SANTIAGO, L. G.; FILHO, A. A.; MORAIS, J. P. Germinação *in vitro* de sementes de coroa-de-frade (*Melocactus sp.*). **Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical**, p. 6–15, 2018a.

CORREIA, D.; NASCIMENTO, E. H.; FILHO, A. A.; LIMA, M. L.; ALMEIDA, J. V.. *Melocactus*. **Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical**, p. 6–17, 2018b.

CORREIA, D.; BERNARDO, C. J. Propagação *in vitro* de *Echinocactus grusonii*. **Embrapa Agroindústria Tropical**, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, v. 206, 2020.

DAHANAYAKE, N.; RANAWAKE, A. L. Regeneration of dragon fruit (*Hylocereus udatus*) plantlets from leaf and stem explantes. **Tropical Agriculture Research & Extention**, v. 14, n. 4, p. 85-89, 2011.

DATT, B. Remote sensing of chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, chlorophyll *a+b*, and total carotenoid content in eucalyptus leaves. **Remote Sensing of Environment**, v. 66, n. 2, p. 111-121, 1998.

DELGADO-VARGAS, F.; JIMÉNEZ, A. R.; PAREDES-LÓPEZ, O. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains—characteristics, biosynthesis, processing, and stability. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 40, n. 3, p. 173-289, 2000.

DIAS, M. M.; NIETSCHKE, S.; PEREIRA, M. C.; MATRANGOLO, C. A.. Emergência e desenvolvimento da cactácea rabode-raposa (*Arrojadoa spp*) em diferentes meios de cultura e recipientes. **Revista Ceres**, Janaúba, v. 55, n. 2, p.117-123, 2008.

DONADIO, L. C. Pitaya. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 637-929, 2009.

DURÁN, R., TAPIA, J. L.; HERNÁNDEZ, H. M. *Hylocereus undatus*. The IUCN Red List of Threatened Species. 2017. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org/species/152183/121525667>>. Acesso em: 07 nov. 2021.

ESQUIVEL, P.; QUESADA, Y. A. 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.**, v. 3, n. 1, p. 113-129, 2012.

FABRICANTE, J. R.; ANDRADE, L. A.; MARQUES, F. J. Caracterização populacional de *Melocactus zehntneri* (Britton & Rose) Luetzelburg (Cactaceae) ocorrente em um inselbergue da Caatinga paraibana. **Biotemas**, v. 23, n. 1, p. 61–67, 2010.

FARIAS, E. T. **Expressão gênica no embrião e no endosperma micropilar de sementes de café (*Coffea arabica* L.) durante a germinação**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu. 2012.

- FILHO, J. C.; COELHO, M. F.; AZEVEDO, R. A.; ALBUQUERQUE, M. C. Germinação de sementes de *Magonia pubescens* St. Hil. - Sapindaceae em diferentes condições de luz e fotoperíodo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 12, n. 2, 2012.
- FLORES-MARTÍNEZ, A.; MEDINA, G. I.; HERNANDEZ, G. C.; VÁSQUEZ, G. S.. Aspectos sobre la ecología y reproducción de *Mammillaria kraehenbuehlii* (Krainz) Krainz en la Mixteca de Oaxaca México. **Cactáceas y Suculentas Mexicanas** v. 47, p. 57-68, 2002.
- GAMBORG, O. L. Plant tissue culture. Biotechnology. Milestones. **In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant**, v. 2, n. 38, p.84-92, 2002.
- GOETTSCHE, B.; HILTON-TAYLOR, C., CRUZ-PIÑÓN, G. et al. High proportion of cactus species threatened with extinction. **Nature Plants**, v.1, n. 15142, 2015.
- GONÇALVES DA SILVA, P.; MATIASA, R.; MORBECK DE OLIVEIRA, A. K. Efeito de Substratos Orgânicos no Crescimento Inicial de Pitaya Vermelha Cultivada em Campo Grande, Mato Grosso do Sul. **Uniciências**, v. 24, n. 1, p. 51-57, 2020.
- GUIMARÃES, D.T.; MARTÍNEZ, M. H.; FERREIRA, L. T.; SILVA, M. M. Uso de LED branco no cultivo *in vitro* de mandacaru. **CONIDIS**, v.1, p.1-11, 2016.
- HAMMEL, B. *Hylocereus calcaratus*. The IUCN Red List of Threatened Species. 2013. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org/species/152408/633536>>. Acesso em: 07 nov. 2021.
- HAMMEL, B. *Hylocereus stenopterus*. The IUCN Red List of Threatened Species. 2017. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org/species/152955/121554266>>. Acesso em: 07 nov. 2021.
- HENRIQUE, P. C.; ALVES, J. D.; DEUNER, P. F.; LIVRAMENTO, D. E. Aspectos fisiológicos do desenvolvimento de mudas de café cultivadas sob telas de diferentes colorações. **Pesq. agropec. bras.**, v.46, n.5, p.458-465, 2011.
- HERNANDEZ, Y. D. **Hacia el conocimiento y conservación de la pitahaya (*Hylocereus* sp)**. Oaxaca: IPN-SIBEJ-CONACYT-FMCN, 2000.
- HOLLIS, H. B.; SCHEINVAR, L. **El interesante mundo de las Cactáceas**. CONACYT - Fondo de Cultura Económica. México. 1999.
- HORIBE, T.; IMAI, S.; MATSUOKA, T. Effects of Light Wavelength on Daughter Cladode Growth and Quality in Edible Cactus *Nopalea cochenillifera* Cultured in a Plant Factory with Artificial Light. **Journal of Horticultural Research**, v. 26. p. 71-80, 2018.
- IUCN. The International Union for the Conservation of Nature: **Red List of Threatened Species**, 2018. Disponível em: <www.iucnredlist.org>. Acesso em: 08 nov. 2021.
- JIMÉNEZ-AGUILAR, A. & FLORES, J. Effect of light on seed germination of succulent species from the southern Chihuahuan Desert: comparing germinability and relative light germination. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 12, p. 12-19, 2010.
- JÚNIOR, P. S.; CARDOSO, N. R.; REBELLO, F. K.; HOMMA, A. K.; LOPES, M. L. Aspectos da produção, comercialização e desenvolvimento da cultura da pitaya no estado do Pará. **Enciclopédia biosfera**, v.16, n.29; p. 264-279, 2019.
- JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. Mercado interno para os produtos da floricultura brasileira: características, tendências e importância socioeconômica recente. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v. 14, n.1, p. 37-52, 2008.
- KATAOKA, I.; FUKUDA, S.; KOZAI, N.; BEPPU, K.; YONEMOTO, Y. Conditions for seed germination in pitaya. **Acta Horticulturae**, v. 975, p. 281-286, 2013.

- KENDRICK, R. E.; FRANKLAND, B. **Fitocromo e crescimento vegetal**. 1 ed. São Paulo: Edusp. 1981.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A., 2008. 431 p.
- KIM, J.; KANG, S. W.; PAK, C. H.; KIM, M. S. Changes in leaf variegation and coloration of English Ivy and Polka Dot plant under various indoor light intensities. **American Society for Horticultural Science**, v. 22, n. 1, p. 49-55, 2012.
- LABOURIAU, L.G. **A germinação das sementes**. Monografias Científicas. Washington: Organização dos Estados Americanos, 1983. p. 170
- LAZZARINI, L. E.; PACHECO, F. V.; SILVA, S. T.; COELHO, A. D.; MEDEIROS, A. P.; BERTOLOCCI, S. K.; PINTO, J. E.; SOARES, J. D. Uso de diodos emissores de luz (LED) na fisiologia de plantas cultivadas: revisão. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 2, p. 137-144, 2017.
- LE BELLEC, F.; VAILANT, F. IMBERT, E. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): A new fruit crop, a market with a future. **Fruits**, v. 61, n. 4, p. 237-250, 2006.
- LONE, A. B.; TAKAHASHI, L. S.; FARIA, R. T.; UNEMOTO, L. K. Germinação de *Melocactus bahiensis* (cactaceae) em diferentes substratos e temperaturas. **Scientia Agraria**, v. 8, n. 4, p. 365-369, 2007.
- LONVEGROVE, A.; HOOLEY, R. Gibberellin and abscisic acid signalling in aleurone. **Trends in Plant Science**, v. 05, n. 03, p. 102-110, 2000.
- LUCENA, C. M.; COSTA, G. M.; COSTA, G. M.; SOUSA, R. F.; CARVALHO, T. K.; MARREIROS, N. A.; ALVES, C. A.; PEREIRA, D. D.; LUCENA, R. F. Conhecimento local sobre cactáceas em comunidades rurais na mesorregião do sertão da Paraíba (Nordeste, Brasil). **Universidade Federal da Paraíba**, v. 25, n. 3, p. 282-288, 2012.
- LUCENA, C. M.; CARVALHO, T. K.; RIBEIRO, J. E.; QUIRINO, Z. G.; CASAS, A.; LUCENA, R. F. Conhecimento botânico tradicional sobre cactáceas no semiárido do Brasil. **Gaia Scientia**, v. 9, n. 2, p. 77-90, 2015.
- MACHADO, M. The genus *Melocactus* in eastern Brazil: part I - an introduction to *Melocactus*. **British Cactus and Succulent Journal**, v. 27, n. 1, p. 5–20, 2009.
- MACHADO, M.; TAYLOR, N. P.; BRAUN, P.; ZAPPI, D. *Melocactus zehntneri*. The IUCN Red List of Threatened Species. 2017. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org/species/152094/121521664>>. Acesso em: 07 nov. 2021.
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination – aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 1, 176-177. 1962.
- MALDA, G., SUZÁN, H.; BACKHAUS, R. *In vitro* cultura as a potential method for the conservation of endangered plants possessing crassulacean acid metabolism. **Scientia Horticulturae**, v.81, p.71-87, 1999.
- MARQUES, V. B.; MOREIRA, R. A.; RAMOS, J. D.; ARAÚJO, N. A.; CRUZ, M. C. Tamanho de cladódios na produção de mudas de pitaiá vermelha. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 4, p. 50-54, 2011.
- MARTÍNEZ, R. C.; DIOS, H. C. Contenido nutricional de três espécies de pitahaya (*Hylocereus*). **Agricultura Tropical**, v. 33, n. 1, p. 86-92, 1996.
- MARTINS, J. R. **Aspectos da germinação de sementes e influência da luz no desenvolvimento, anatomia e composição química do óleo essencial em *Ocimum gratissimum* L.** Tese (Mestrado), Pós-graduação em Agronomia, Lavras : UFLA, 2006.
- MARTON, L.; WULLEMS, G. J.; MOLENDIJK, L.; SCHILPEROORT, R. A. *In vitro* transformation of cultured cells from *Nicotiana tabacum* by *Agrobacterium tumefaciens*. **Nature**, v. 277, p. 129-131, 1979.

- MATSUDA, R.; OHASHI-KANEKO, K.; FUJIWARA, K.; GOTO, E.; KURATA, K. Photosynthetic characteristics of rice leaves grown under red light with or without supplemental blue light. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v.45, n.12, p.1870-1874, 2004.
- MEIADO, M. V. **Germinação de cactos do Nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2012a.
- MEIADO, M. V. Germinação de sementes de cactos do Brasil: fotoblastismo e temperaturas cardeais. **Informativo Abrates**, v. 22, n. 3, 2012b.
- MEIADO, M. V. Propagação sexual e assexual estruturando populações de Tacinga palmadora (Britton & Rose) N. P. Taylor & Stuppy, um cacto endêmico da caatinga. **Revista de Biologia Neotropical**, v. 9, n. 2, p. 6–13, 2013.
- MEIRA, K. S.; SILVA, A. E.; AVELON, J. P.; COSTA, P. S.; FERRAZ, R. L.; FILHO, A. M. Morfometria radicular de *Moringa oleifera* em função do pré-tratamento de sementes com luz e extrato de tiririca. **Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n.7, 2019.
- MELO, R. R.; JÚNIOR, F. R. Superação de dormência em sementes e desenvolvimento inicial de canafístula (*Cassia grandis* L.f.). **Revista científica eletrônica de engenharia florestal**, n. 07, 2006.
- MELO, H. C. **Plantas: Biologia Sensorial, Comunicação, Memória e Inteligência**. 1 ed. Curitiba: Appris, 2021.
- MERCADO-SILVA, E. **Pitaya—*Hylocereus undatus* (Haw)**. In: Exotic Fruits. Academic Press, p. 339-349. 2018.
- MEROTTO, J. A.; VIDAL, R. A.; FLECK, N. G.; ALMEIDA, M. L. Interferência das plantas daninhas sobre o desenvolvimento inicial de plantas de soja e arroz através da qualidade da luz. **Planta Daninha**, v.20, n.1, p.9-16, 2002.
- MOSCO, A. Tissue localization of betacyanins in cactus stems. **Revista Mexicana de Biodiversidade**, v. 83, n. 2, p. 413-420, 2012.
- SANTOS, J.; OLIVEIRA, J. A.; LIMA, J. M.; SILVA, H. W. Maturidade fisiológica de sementes de pitaya. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 61, 2018.
- NASCIMENTO, J. P.; MEIADO, M. V.; NICOLA, P. A.; PEREIRA, L. C. Germinação de sementes de Tacinga inamoena (K.Schum.) N. P. Taylor & Stuppy (Cactaceae) após endozoocoria por *Chelonoidis carbonária* (Spix,1824) (Reptilia: testudinidae). **Gaia scientia**, v. 9, n. 2, p. 9-14, 2015.
- NASCIMENTO, J. P.; MEIADO, M. V.; SIQUEIRA-FILHO, J. A. Seed germination of three endangered subspecies of *Discocactus Pfeiff.* (Cactaceae) in response to environmental factors. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 3, p. 253-262, 2018.
- NERD, A.; MIZRAHI, Y. Effect of ripening stage on fruit quality after storage of yellow pitaya. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, n. 2, p. 99-105, 1999.
- NUNES, E. N.; LEMOS, D. M.; SILVA, S. F.; ROCHA, A. P.; LUCENA, C. M.; MEIADO, M. V.; LUCENA, R. F. Cuantificación fisicoquímica en gorro turco [*Melocactus zehntneri* (Britton & Rose) Luetzelburg - Cactaceae]. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, n. 1, p. 81-88, 2016.
- NUNES, E. N.; SOUSA, A. S.; LUCENA, C. M.; MELO SILVA, S.; LUCENA, R. F.; ALVES, C. A.; ALVES, R. E. Pitaia (*Hylocereus* sp.): Uma revisão para o Brasil. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 90-98, 2014.
- OLIVEIRA, M. M. **Sombreamento na fisiologia, produção e qualidade e efeito da temperatura nos aspectos moleculares da pitaya**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2019.

ORTIZ-HERNANDEZ, Y. D. **Hacia el conocimiento y conservación de la Pitahaya (*Hylocereus* sp.)**, IPN-SIBEJ-Conacyt-FMCN, Oaxaca, México, 2000.

OWEN, W.; LOPEZ, R. End-of-production supplemental lighting with red and blue light-emitting diodes (LEDS) influences red pigmentation of four lettuce varieties. **HortScience**, v. 50, p. 676-684, 2015.

PÉREZ-MOLPHE-BALCH, E.; SANTO-DÍAZ, M. S.; RAMÍREZ-MALAGÓN, R.; OCHOA-ALEJO, N. Tissue culture of ornamental cacti. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 6, p. 540-561, 2015.

POLLNOW, G. E. Pitaia, da propagação à colheita: uma revisão. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.31, n.3, p.73-78, 2018.

RAMIREZ-MOSQUEDA, M. A.; ANDREU, L. G.; RAMÍREZ-MADERO, G.; HERNÁNDEZ-RICÓN, E. U. Micropropagation of *Stevia rebaudiana* Bert. in temporary immersion systems and evaluation of genetic fidelity. *South African Journal of Botany*, v. 106, 238–243, 2016.

ROJAS-ARÉCHIGA, M.; VÁZQUEZ-YANES, C. Cactus seed germination: a review. **Journal of Arid Environments**, p. 85-104, 2000.

ROMÃO, R. L.; HUGHES, F. M.; VIEIRA, A. M.; FONTES, E. C. Autoecologia de Cabeça-de-Frade (*Melocactus ernestii* Vupel) em duas áreas de afloramento na Bahia). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 738-740, 2007.

RUTHS, R.; BONOME, L. T.; TOMAZI, Y.; SIQUEIRA, D. J.; MOURA, G. S.; LIMA, C. S. Influência da temperatura e luminosidade na germinação de sementes das espécies: *Selenicereus setaceus*, *Hylocereus undatus* e *Hylocereus polyrhizus*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 18, n. 2, p. 194-201, 2019.

SALEH, E. O. **Fisiologia da germinação *in vitro*, embriogênese somática e conservação *ex situ* de babaçu (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng)**. Tese (Doutorado em Botânica), Universidade de Brasília, 2016.

SANTOS, L. R. Desenvolvimento de protocolo de propagação de espécies de *Melocactus* em situação de risco de extinção. Tese (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, 2019.

SEBRAE. **Flores e plantas ornamentais do Brasil**: série estudos mercalógicos - volume 1. Brasília: 2015a.

SEBRAE. **Flores e plantas ornamentais do Brasil**: série estudos mercalógicos - volume 2. Brasília: 2015b.

SILVA, A. C.; CAVALLARI, L. L.; SABIÃO, R. R.; MARTINS, A. B. G. Fenologia reprodutiva da pitaya vermelha em Jaboticabal, SP. **Ciência Rural**, v. 45, n. 4, p.585-590, 2015.

SILVA, M. S.; YAMASHITA, O. M.; FERREIRA, D. A. Germinação de sementes de *Barbarea verna* em função da qualidade de luz. **I Seminário de Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos**, 2013.

SILVA, A. C. **Pitaya: melhoramento e produção de mudas**. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 2014.

SIMÕES, S. S.; ZAPPI, D. C.; AONA, L. Y. A família Cactaceae no Parque Nacional de Boa Nova, Estado da Bahia, Brasil. **Hoehnea**, v. 47, 2020.

SKOOG, F.; MILLER, C. O. Chemical regulation of growth and organ formation in plant tissue cultured *in vitro*. **Symposium of the Society of Experimental Biology**, v. 11, p. 118-231, 1957.

SOLANKI, H.; PATEL, Y.; VAGHELA, D.; VAIDYA, M. R: An Open Source Software Environment for Statistical Analysis. **Inflibnet**, v. 24, n. 1, p. 14-21, 2017.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. ed. 5. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TAYLOR, N. P. The genus *Melocactus* (Cactaceae) in Central and South America. **Bradleya**, v. 9, n. 9, p. 1–80, 1991.
- TAYLOR, N. P.; MACHADO, M.; ZAPPI, D; BRAUN, P. *Melocactus azureus*. The IUCN Red List of Threatened Species. 2013. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org/species/40917/2943509>>. Acesso em: 07 nov. 2021.
- TENNESSEN, D. J.; SINGSAAS, E. L.; SHARKEY, T. D. Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. **Photosynthesis Research**, v.39, n.1, p. 85-92, 1994.
- THOMPSON, P. A. Effects of fluctuating temperature on germination. **Journal of Experimental Botany**. v. 25, p.164-175, 1974.
- TORRES, L. **Os Índios xukuru e kariri em palmeira dos Índios**. 4 ed. Maceió: IGASA, AL, p. 102. 1984.
- VÉLIZ, M.; ARIAS, S. *Hylocereus esculintlensis*. The IUCN Red List of Threatened Species. 2013. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org/species/151976/583004>>. Acesso em: 07 nov. 2021.
- VICTÓRIO, C. P.; LAGE, C. L. Efeitos da qualidade de luz na germinação e desenvolvimento inicial *in vitro* de *Phyllanthus tenellus*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 3, p. 400-405, 2009.
- YANAGI, T.; OKAMOTO, K.; TAKITA, S. **Effect of blue and red light intensity on photosynthetic rate of strawberry leaves**. In: International symposium on plant production in closed ecosystems, 440, Narita, p. 371-376, 1996.
- ZAPPI, D.; TAYLOR, N.; SANTOS, M. R. **Cactaceae na Lista de espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB1558>>. Acesso em: 16 maio 2021.
- ZAPPI, D.; SILVA, S. R.; TAYLOR, N.; MACHADO, M. **Plano de ação nacional para a conservação das cactáceas**. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, ICMBIO, p. 30-52, 2011.
- ZAPPI, D.; TAYLOR, N.P. **Cactaceae in Flora do Brasil 2020**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB70>>. Acesso em: 18 out. 2021.
- ZOLNERKEVIC, I. **Os guarda-sóis coloridos das plantas**. Pesquisa FAPESP. 2012. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/os-guarda-sois-coloridos-das-plantas/>>. Acesso em: 10 abr. 2022.