

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRARIAS

**BIOESTÍMULO DA MICROALGA *Chlorella* sp. NA PRODUÇÃO DE
MUDAS DE PITAYA**

MILENA FERREIRA DINIZ

DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2025

BIOESTÍMULO DA MICROALGA *Chlorella* sp. NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE PITAYA

Milena Ferreira Diniz

Orientador: Profa. Dra. Silvia Correa Santos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Grande Dourados,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Agrônomo.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

D585b Diniz, Milena Ferreira

BIOESTÍMULO DA MICROALGA Chlorella sp. NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE
PITAYA [recurso eletrônico] / Milena Ferreira Diniz. -- 2025.

Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Silvia Correa Santos.

TCC (Graduação em Agronomia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2025.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Selenicereus undatus. 2. propagação vegetativa. 3. bioestimulante. 4. algas. 5. propagação por estacas. I. Santos, Silvia Correa. II. Título.

BIOESTÍMULO DA MICROALGA *Chlorella* sp. NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE PITAYA

Por

Milena Ferreira Diniz

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos exigidos
para obtenção do título de ENGENHEIRO AGRÔNOMO

Aprovado em: 14/11/2025

Profa. Dra. Silvia Correa Santos

Orientador – UFGD/FCA

Profa. Dra. Elissandra Pacito Torales

Membro da banca – UFGD/FCA

Doutoranda Thais Paz Pinheiro André

Membro da banca – UFGD/FCA

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela dádiva da vida, pela força concedida nos momentos de dificuldade e pela oportunidade de concretizar mais um dos meus objetivos.

Ao meu pai, Celso Diniz, registro minha mais profunda gratidão pelo apoio incondicional e pela confiança que sempre depositou em mim. Seu incentivo constante e suas palavras de encorajamento foram essenciais para que eu continuasse firme em cada etapa desta caminhada.

À minha mãe, Zuleica Ferreira Pereira Diniz, agradeço pelo amor, dedicação e cuidado em todos os momentos. Sua presença, mesmo nas pequenas ações, como o interesse pelos meus experimentos e o entusiasmo em acompanhar cada conquista, foi fundamental para que eu seguisse confiante e persistente.

À minha irmã, Daiane Ferreira Diniz, deixo minha sincera gratidão pelo apoio e carinho, mesmo à distância, demonstrando sempre orgulho e incentivo ao longo da minha trajetória acadêmica.

Estendo meus agradecimentos à Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), instituição que me proporcionou conhecimento, crescimento pessoal e profissional ao longo desses anos. A todos os professores que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação, agradeço pela dedicação em transmitir o saber, pela paciência e pelo compromisso com o ensino, valores que levarei para toda a vida.

À minha orientadora, Profa. Dra. Silvia Correa Santos, expresso minha mais profunda gratidão pela orientação segura, pela disponibilidade constante e pelo apoio imprescindível na realização deste trabalho. Agradeço pela confiança, pelas valiosas sugestões e por compartilhar seu conhecimento de forma tão generosa, contribuindo significativamente para o meu aprendizado e para o aprimoramento desta pesquisa.

Por fim, agradeço aos colegas de turma, amigos e todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste projeto, seja com palavras de incentivo, ajuda prática ou simples gestos de apoio. A presença de cada um foi essencial nesta caminhada.

DINIZ, MILENA FERREIRA. Bioestímulo da microalga *Chlorella* sp. na produção de mudas de pitaya. 2025. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agronômica) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2025.

RESUMO

A produção de mudas de pitaya por estaquia constitui uma etapa fundamental para alcançar padrões de qualidade recomendados na fruticultura comercial, nesta cultura um dos grandes desafios a ser superados é a carência de protocolos de propagação já consolidados, para assim permitir qualidade no material produzido e sua expansão de cultivo. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do extrato de *Chlorella* sp. na formação e desenvolvimento de mudas de três variedades comerciais de pitaya, visando contribuir para protocolos de propagação mais eficientes e ambientalmente adequados. O experimento foi conduzido entre julho e dezembro de 2022, em viveiro com 50% de sombreamento na Universidade Federal da Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, utilizando delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 3×5 , com quatro repetições. Foram avaliadas três variedades de pitaya: Golden (híbrido interclonal de polpa branca e casca amarela), *Selenicereus costaricensis* (pitaya roxa) e *S. undatus* (pitaya vermelha), submetidas a cinco doses do extrato de *Chlorella* sp. (0,0; 0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 mL planta $^{-1}$). As avaliações foram realizadas semanalmente entre 35 e 70 dias para número, comprimento e diâmetro dos brotos e, aos 75 dias, foram mensurados o comprimento radicular e as massas fresca e seca das raízes e dos brotos, permitindo caracterizar o desempenho inicial das variedades em resposta às doses do bioestimulante. A variedade Golden apresentou desenvolvimento vegetativo mais precoce, com maior comprimento de broto (28,78 mm), diâmetro máximo (39,28 mm) aos 53 dias e maior número de brotos (4,50 brotos planta $^{-1}$) em relação às variedades Vermelha e Roxa. As doses de 0,32 e 0,21 mL planta $^{-1}$ proporcionaram as maiores massas seca (5,73 g planta $^{-1}$) e fresca (79,50 g planta $^{-1}$) de brotos na variedade Golden, enquanto as variedades Vermelha e Roxa não apresentaram resposta significativa à aplicação do bioestimulante. O extrato da microalga *Chlorella* sp. mostrou-se promissor para o desenvolvimento de mudas de pitaya, especialmente para a variedade Golden, sendo recomendada a realização de estudos adicionais que explorem diferentes métodos e formas de aplicação do bioestimulante.

Palavras-chave: *Selenicereus undatus*, propagação vegetativa, bioestimulante, algas, propagação por estacas.

ABSTRACT

The production of pitaya seedlings by cuttings constitutes a fundamental step for achieving the quality standards recommended in commercial fruit growing, and in this crop one of the major challenges to be overcome is the lack of consolidated propagation protocols, in order to ensure quality in the material produced and enable the expansion of cultivation. This study aimed to evaluate the effects of *Chlorella* sp. extract on the formation and development of seedlings of three commercial pitaya varieties, seeking to contribute to more efficient and environmentally appropriate propagation protocols. The experiment was conducted between July and December 2022 in a nursery with 50% shading at the Federal University of Grande Dourados, Mato Grosso do Sul, using a randomized block design in a 3×5 factorial scheme with four replications. Three pitaya varieties were evaluated: Golden (interclonal hybrid with white pulp and yellow skin), *Selenicereus costaricensis* (purple pitaya), and *S. undatus* (red pitaya), subjected to five doses of *Chlorella* sp. extract (0.0, 0.2, 0.4, 0.6, and 0.8 mL plant $^{-1}$). Evaluations were performed weekly between 35 and 70 days for number, length, and diameter of shoots and, at 75 days, root length and the fresh and dry masses of roots and shoots were measured, allowing the characterization of the initial performance of the varieties in response to the biostimulant doses. The Golden variety showed earlier vegetative development, with greater shoot length (28.78 mm), maximum diameter (39.28 mm) at 53 days, and a higher number of shoots (4.50 shoots plant $^{-1}$) compared to the Red and Purple varieties. The doses of 0.32 and 0.21 mL plant $^{-1}$ provided the highest shoot dry mass (5.73 g plant $^{-1}$) and fresh mass (79.50 g plant $^{-1}$) in the Golden variety, while the Red and Purple varieties did not show a significant response to the biostimulant application. The extract of the microalga *Chlorella* sp. proved to be promising for the development of pitaya seedlings, especially for the Golden variety, and further studies exploring different methods and forms of application of the biostimulant are recommended.

Keywords: *Selenicereus undatus*, vegetative propagation, biostimulant, algae, cutting propagation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista geral do experimento de propagação de pitaya por estquia, conduzido em viveiro com 50% de sombreamento no Horto de Plantas Medicinais da UFGD, Dourados-MS, 2025.	11
Figura 2. Estacas de pitaya (20 cm) cultivadas em mistura de Latossolo Vermelho Distroférrico e substrato Bioplant®. UFGD, Dourados-MS, 2025.....	12
Figura 3. Diâmetro e comprimento de brotos em mudas de pitaya. UFGD, Dourados-MS, 2025.....	13
Figura 4. Comprimento de brotos de três variedades de pitaya, entre 35 e 70 dias após o plantio das estacas (DAP). UFGD, Dourados - MS, 2025.	15
Figura 5. Crescimento de brotos de pitaya ao longo do período experimental nas diferentes épocas de avaliação.	15
Figura 6. Diâmetro de brotos de três variedades de pitaya, entre 35 e 70 dias após o plantio das estacas (DAP). UFGD, Dourados – MS, 2025.	16
Figura 7. Número de brotos observados em mudas de pitaya, entre 35 e 70 dias após a estquia. UFGD, Dourados-MS, 2025.....	17
Figura 8. Comprimento de raiz de variedades de pitaya em diferentes doses do extrato da microalga <i>Chlorella</i> sp. UFGD, Dourados – MS, 2025.	19
Figura 9. Massa seca de raízes de variedades de pitaya em diferentes doses do extrato da microalga <i>Chlorella</i> sp. UFGD, Dourados - MS, 2025.	21
Figura 10. Massa seca de brotos em variedades de pitaya em diferentes doses do extrato da microalga <i>Chlorella</i> sp. UFGD, Dourados - MS, 2025.	22
Figura 11. Massa fresca de brotos em variedades de pitaya em diferentes doses do extrato da microalga <i>Chlorella</i> sp. UFGD, Dourados - MS, 2025.	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Número de brotos em mudas variedades de pitaya. UFGD, Dourados - MS, 2025..... 17

Tabela 2. Massas frescas de cladódio, raiz e brotos de mudas de variedades de pitaya. UFGD, Dourados – MS, 2025..... 18

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. HIPÓTESE	3
3. OBJETIVO GERAL	3
4. OJETIVOS ESPECÍFICOS	3
5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
5.1 A cultura da pitaya	4
5.2 Composição nutricional e propriedades funcionais da pitaya	6
5.3 Propagação vegetativa e produção de mudas de pitaya	7
5.4 Microalgas como bioinsumos na agricultura sustentável	9
6. MATERIAL E MÉTODOS	11
6.1 Caracterização do experimento	11
6.2 Avaliações	13
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
8. CONCLUSÕES	24
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa posição de destaque no cenário mundial da produção de alimentos, consolidando-se como um dos maiores produtores globais e exercendo papel fundamental no setor frutícola internacional. Segundo dados da Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados (ABRAFRUTAS, 2025), o país exportou mais de 1 milhão de toneladas de frutas frescas em 2024, gerando receitas superiores a US\$ 1,287 bilhão, representando um crescimento significativo de mais de 3% em relação ao período anterior. Ocupa o terceiro lugar no ranking mundial de produção de frutas, ficando atrás apenas da China e da Índia, sendo que o setor responde por 16% de toda a mão de obra do agronegócio nacional, conforme dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2024).

Esta expansão reflete não apenas a capacidade produtiva nacional, mas também a crescente demanda por diversificação no mercado frutícola, especialmente por variedades exóticas e nativas que atendam às exigências de consumidores cada vez mais atentos na qualidade nutricional e sustentabilidade (FONSECA, 2022).

Entre as variedades frutíferas exóticas de maior potencial comercial, destacam-se diversas variedades do gênero *Selenicereus*, conhecidas popularmente como pitaya ou dragon fruit (SANTOS; PIO; FALEIRO, 2022).

O mercado global de pitaya demonstra perspectivas excepcionalmente promissoras, com projeções indicando crescimento de US\$ 526,3 milhões em 2024 para US\$ 1,02 bilhão até 2034, representando uma taxa de crescimento anual composta de 6,9% (FACT.MR, 2024). Estudos recentes confirmam que a pitaya está entre as frutas mais promissoras no mercado mundial, com potencial econômico significativo para diversificação agrícola (BALAJI; DAS; VASHISHTH, 2025).

A evolução do mercado frutífero brasileiro tem sido impulsionada pelo aumento da procura por uma alimentação mais nutritiva e funcional, criando oportunidades promissoras para produtores interessados em diversificar suas atividades com variedades alternativas de alto valor agregado. Neste contexto, as frutas exóticas emergem como segmento estratégico, oferecendo alternativas atrativas para os principais centros de comercialização e contribuindo para a diversificação do consumo de produtos saudáveis.

Considerando que as microalgas são bioinsumos promissores e ainda pouco explorados na agricultura, especialmente na produção de mudas de frutíferas exóticas como a pitaya, destaca-se a necessidade de pesquisas que ampliem sua aplicação em diferentes sistemas produtivos.

Dentro do sistema produtivo da pitaya, a produção de mudas constitui etapa fundamental para alcançar padrões de qualidade superiores na fruticultura comercial (FERNANDES e COUTINHO, 2019). A uniformidade e qualidade do material propagativo mantêm relação direta com o sucesso do estabelecimento dos pomares, sendo a propagação por estquia reconhecida como o método mais eficiente para obtenção de plantas uniformes e geneticamente fiéis às plantas matrizes.

A escassez de mudas de qualidade ainda representa um desafio à expansão da cultura, especialmente pela carência de protocolos de propagação consolidados. Nesse sentido, estudos recentes têm demonstrado que a combinação de substratos adequados e reguladores de crescimento promove maior taxa de enraizamento, vigor e sobrevivência das estacas, configurando-se como estratégia essencial para a padronização e multiplicação rápida de mudas comerciais de pitaya (RYMBAI et al., 2025).

Os extratos de microalgas do gênero *Chlorella* são reconhecidamente alternativas derivadas de fontes renováveis com múltiplas funcionalidades. Estas microalgas distinguem-se pela capacidade de sintetizar fitormônios análogos às citocininas, auxinas e giberelinas, compostos diretamente envolvidos na divisão e diferenciação celular, no desenvolvimento radicular e na regulação do crescimento vegetal. Além disso, produzem polissacarídeos extracelulares, aminoácidos, vitaminas e outros metabólitos bioativos que atuam como sinalizadores fisiológicos, promovendo o fortalecimento do sistema de defesa das plantas, a melhoria da eficiência nutricional e o aumento da resistência a estresses abióticos e bióticos (DINESHKUMAR et al., 2018; PARMAR et al., 2023).

2. HIPÓTESE

A utilização do extrato da microalga *Chlorella* sp. propicia efeitos positivos como bioestimulador e como alternativa sustentável para a produção de mudas de pitaya.

3. OBJETIVO GERAL

Diante da crescente expansão do cultivo, comercialização e a busca por técnicas sustentáveis, objetivou-se com esse estudo objetivo avaliar os efeitos do extrato de *Chlorella* sp. como bioestimulador no desenvolvimento e formação e de mudas de três variedades comerciais de pitaya, visando contribuir para protocolos de propagação mais eficientes e ambientalmente adequados.

4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Comparar o desenvolvimento vegetativo entre as variedades Golden, Roxa e Vermelha.

Determinar o efeito de diferentes doses do extrato no desenvolvimento radicular e da parte aérea.

Identificar e analisar a interação entre as variedades e as doses aplicadas.

5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 A cultura da pitaya

A pitaya pertence à família Cactaceae, sendo uma das culturas frutíferas mais promissoras para expansão no agronegócio mundial. Taxonomicamente, as variedades de pitaya foram recentemente reclassificadas do gênero *Hylocereus* para o gênero *Selenicereus*, baseando-se em estudos filogenéticos moleculares que revelaram maior proximidade genética com outras variedades deste último gênero (bet et al., 2023). Esta reclassificação reflete o avanço do conhecimento científico sobre as relações evolutivas entre as cactáceas epífitas.

A pitaya apresenta características morfológicas marcantes, como cladódios triangulares e suculentos com pequenas aréolas espinhosas, flores noturnas grandes e vistosas e frutos cuja coloração varia conforme a espécie. As principais variedades comerciais incluem *Selenicereus undatus* (casca vermelha e polpa branca), *S. costaricensis* (casca e polpa vermelhas) e híbridos interespécíficos como a 'Golden', que possui casca amarela e polpa branca. Estudos realizados em diferentes regiões produtoras têm demonstrado ampla variabilidade morfológica e genética entre e dentro das variedades do gênero *Selenicereus*, refletida em diferenças no formato e espessura dos cladódios, no tamanho das flores e nas características dos frutos. Essa diversidade ressalta a importância da caracterização morfológica e genética para a identificação de genótipos promissores e aprimoramento dos sistemas produtivos (BETANCUR; MURIEL; GONZÁLEZ, 2020).

As variedades de pitaya são caracterizadas como cactáceas epífitas e trepadeiras, apresentando cladódios suculentos de formato triangular com três a cinco costelas bem definidas. Os cladódios são verdes, carnosos e flexíveis, contendo aréolas dispostas nas bordas das costelas, das quais emergem espinhos curtos e raízes adventícias. Estas raízes adventícias desempenham papel fundamental na fixação da planta aos tutores e na absorção de umidade atmosférica, representando uma adaptação evolutiva ao hábito epífito (MONDAL et al., 2025).

A pitaya apresenta metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), no qual os estômatos se abrem à noite e se fecham durante o dia, permitindo a fixação de CO₂ no período noturno na forma de ácido málico, que é utilizado na fotossíntese ao longo do dia (TRINDADE et al., 2023). Esse mecanismo proporciona alta eficiência no uso

da água, alcançando 0,0044 CO₂/H₂O, valor até quatro vezes maior que o de plantas com metabolismo C₃ ou C₄ nas mesmas condições, o que evidencia sua adaptação a ambientes secos (TRINDADE et al., 2023). A maior absorção de CO₂ ocorre em temperaturas médias de 30°C durante o dia e 20°C à noite, indicando que a temperatura noturna exerce papel mais importante na fotossíntese da espécie (TRINDADE et al., 2023).

O ciclo de desenvolvimento da pitaya é dividido em fases vegetativa e reprodutiva. Após o plantio por estaquia, a cultura necessita de um período juvenil para o estabelecimento de sua estrutura, com o primeiro florescimento ocorrendo, em média, de um a dois anos após o plantio. No Brasil, a janela produtiva concentra-se nos meses de maior temperatura e precipitação, geralmente entre novembro e abril, com três a cinco picos de produção. Uma vez em produção, a pitaya se caracteriza como uma cultura perene de longa vida útil, com uma longevidade produtiva que pode variar de 15 a 25 anos. A produtividade aumenta progressivamente, com cultivares atingindo seu potencial produtivo, como 20 t/ha/ano, com três anos de plantio (FALEIRO et al., 2021; SANTOS et al., 2022).

Estas cactáceas perenes, caracterizadas pelo hábito de crescimento hemiepífito e presença de raízes adventícias que se fixam a plantas suporte ou rochas (PAULS; LAUTENSCHLÄGER; NEINHUIS, 2023), têm chamado cada vez mais atenção no mercado internacional por causa de suas características únicas, como a aparência exótica, o sabor doce e suave e a polpa firme, que contém muitas sementes ricas em compostos bioativos. Entre esses compostos estão ácidos fenólicos, flavonoides e pigmentos como betalaínas e antocianinas, que ajudam a explicar suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas (CHEN et al., 2024).

Em situações de seca prolongada, a pitaya reduz em cerca de 57% a absorção de CO₂ por meio do fechamento estomático induzido pelo ácido abscísico produzido nas raízes, apresentando ainda mecanismos adicionais de adaptação, como a transferência de água do parênquima para o clorênquima, a capacidade de armazenar água no caule, a ausência de folhas e a presença de uma camada cerosa protetora, tornando-a uma cultura promissora para regiões sujeitas a longos períodos de estiagem e um modelo de resiliência frente aos efeitos das mudanças climáticas (TRINDADE et al., 2023).

5.2 Composição nutricional e propriedades funcionais da pitaya

A pitaya tem despertado crescente interesse científico e comercial em razão de sua composição nutricional equilibrada e de suas propriedades funcionais, que a tornam uma das frutas exóticas mais promissora no mercado internacional. De acordo com Shah et al. (2023), os frutos apresentam elevado teor de água, baixo conteúdo de gordura e bom fornecimento de fibras, vitaminas e minerais essenciais, conferindo-lhes baixa densidade calórica e alto valor nutritivo. A composição química evidencia a presença de vitaminas do complexo B (B1, B2 e B3) e vitamina C, além de minerais como potássio, cálcio, fósforo, ferro e sódio, cuja concentração pode variar entre variedades e cultivares. Essa variabilidade nutricional contribui para o potencial funcional da pitaya, destacando-a entre as frutas tropicais pela sua qualidade nutricional e versatilidade no consumo (SHAH et al., 2023).

O conjunto de compostos bioativos presentes na pitaya destaca-se pelo expressivo conteúdo de compostos bioativos, que configuram um dos aspectos mais relevantes de seu valor nutricional e funcional. Esses compostos incluem ácidos fenólicos, flavonoides e pigmentos naturais, como carotenoides, betalaínas e antocianinas, distribuídos entre a polpa, a casca e as sementes (NISHIKITO et al., 2023; BISHOYI et al., 2024).

Entre os ácidos hidroxibenzoicos identificados, sobressaem o gálico, vanílico, siríngico e salicílico, reconhecidos por suas propriedades antioxidantes e pelo potencial de prevenir distúrbios metabólicos, como obesidade e diabetes (COSME et al., 2022). Também estão presentes os ácidos hidroxicinâmicos, como ácido cafeico, clorogênico e sinápico, amplamente associados à atividade antioxidante e à regulação glicêmica (CHEN et al., 2024).

As betalaínas constituem uma classe singular de pigmentos nitrogenados hidrossolúveis responsáveis pela coloração característica da pitaya, sendo especialmente abundantes em *Hylocereus polyrhizus*. Esses compostos englobam betacianinas e betaxantinas, ambas com elevada atividade antioxidante e antimicrobiana, antiviral e anti-inflamatória (SUH et al., 2014.)

Os carotenoides, entre os quais se destacam o licopeno e o β-caroteno, também apresentam elevada concentração em *H. polyrhizus* e são amplamente reconhecidos por seus efeitos antioxidantes, antiulcerogênicos e cardioprotetores (CHEN et al., 2024).

Além disso, foram identificadas diversas antocianinas na polpa e na casca da pitaya vermelha, como cianidina-3,5-O-diglicosídeo, delphinidina-3-O-glicosídeo e peonidina-3-O-sambubiosídeo-5-O-glicosídeo, compostos bioativos polifenólicos com benefícios anticancerígenos, antidiabéticos, antimicrobianos, cardioprotetores e neuroprotetores (KHOO et al., 2022).

As propriedades funcionais da pitaya vão além de sua composição nutricional básica, englobando diversas atividades biológicas comprovadas em estudos científicos. Evidências recentes reforçam que o potencial promotor de saúde da espécie está diretamente relacionado à presença de compostos bioativos que exercem papel fundamental na regulação metabólica e na prevenção de doenças crônicas (NISHIKITO et al., 2023; CHEN et al., 2024).

5.3 Propagação vegetativa e produção de mudas de pitaya

A propagação da pitaya é realizada predominantemente através de métodos vegetativos, sendo a estaquia o procedimento mais amplamente adotado e tecnicamente recomendado na produção comercial de mudas em escala industrial. Este método apresenta vantagens técnicas e econômicas significativas, incluindo a manutenção integral das características genéticas desejáveis da planta-mãe, maior uniformidade fenotípica do material propagativo, redução substancial do período juvenil das plantas e a possibilidade de clonagem de genótipos selecionados de plantas-matrizes com características superiores comprovadas (RAHAD et al., 2016).

A seleção adequada do material vegetativo constitui etapa determinante para o sucesso da propagação por estaquia. Cavalcante e Martins (2008) demonstraram que a posição de origem da estaca na planta-matriz exerce influência quantitativa significativa sobre a formação radicular, sendo que estacas provenientes de ramos juvenis apresentaram 35% mais enraizamento em comparação às estacas adultas, além de maior densidade radicular, área radicular, comprimento de raízes e massa seca de raízes. Chhetri et al. (2021) verificaram que o comprimento das estacas influencia diretamente o desenvolvimento radicular e vegetativo, recomendando estacas de 25 a 30 cm para obtenção de resultados satisfatórios. O preparo adequado das estacas, incluindo corte em ângulo na base, tratamento fungicida e período de cicatrização de 3 a 7 dias à sombra, é fundamental para prevenir infecções e favorecer o enraizamento (ELOBEIDY, 2006).

O desenvolvimento de um sistema radicular vigoroso é fundamental para o estabelecimento bem-sucedido das mudas no campo, influenciando diretamente a capacidade de absorção de água e nutrientes, o vigor vegetativo e a resistência a estresses abióticos e bióticos. Grossnickle (2012) enfatiza que mudas com atributos radiculares desejáveis apresentam maiores chances de sobrevivência após o plantio, uma vez que o sistema radicular desempenha papel crucial na ancoragem da planta, na absorção de recursos do solo e na adaptação às condições ambientais. Wang et al. (2016) demonstraram que o crescimento radicular vigoroso e a presença de raízes longas e densas asseguram aquisição eficiente de macro e micronutrientes durante o crescimento inicial, sendo determinantes para a qualidade final das mudas e para o desempenho produtivo das plantas em campo.

O enraizamento de estacas de pitaya depende de práticas técnicas específicas que influenciam diretamente a formação radicular e a qualidade das mudas obtidas. Entre os fatores determinantes, destaca-se o uso de reguladores de crescimento, em especial o ácido indolbutírico (AIB), cuja aplicação tem se mostrado altamente eficaz na indução e aceleração do processo de enraizamento (SIDDIQUA et al., 2018; KAKADE et al., 2024).

Estudos demonstraram que concentrações adequadas de AIB proporcionam o início do enraizamento em aproximadamente 14 dias após o plantio, além de elevar o número e o comprimento médio das raízes (SIDDIQUA et al., 2018). Elobeidy (2006) verificou sucesso no enraizamento de estacas de 25 cm tratadas com AIB por 10 segundos e cultivadas em substratos à base de areia e perlita, destacando a eficiência do método na propagação vegetativa da pitaya.

A escolha do substrato exerce papel fundamental no sucesso do enraizamento das estacas de pitaya, uma vez que diferentes meios podem favorecer ou limitar o desenvolvimento das raízes. Rahad et al. (2016) observaram que a variedade BAU Dragon Fruit-2 apresentou o maior número médio de raízes por estaca (6,00), demonstrando que tanto o substrato quanto as características varietais influenciam diretamente o processo de enraizamento. De forma complementar, Siddiqua et al. (2018) destacaram que a propagação por estacas de caule é um método eficiente e confiável para a produção comercial de mudas, assegurando uniformidade e preservação das características genéticas das plantas.

Várias técnicas, incluindo micropropagação, têm sido desenvolvidas para variedades de *Hylocereus*, oferecendo protocolos in vitro para *H. undatus* e *H.*

polyrhizus que permitem multiplicação em larga escala com alta taxa de sobrevivência e uniformidade genética. A micropropagação oferece vantagens específicas para a propagação de variedades de *Hylocereus*, incluindo produção livre de patógenos, multiplicação rápida e conservação de germoplasma, representando alternativa tecnologicamente avançada para a produção comercial de mudas (COMLEKCIOLU, 2024).

5.4 Microalgas como bioinsumos na agricultura sustentável

O uso de microalgas como bioinsumos agrícolas tem se consolidado como uma das abordagens mais promissoras e sustentáveis da biotecnologia moderna, oferecendo alternativas ecológicas para o aumento da produtividade vegetal e a redução da dependência de insumos químicos. Esses microrganismos exercem múltiplas funções simultaneamente, atuando como biofertilizantes, bioestimulantes e biopesticidas, devido à presença de diversas biomoléculas estruturalmente complexas, incluindo aminoácidos, polissacarídeos, fitormônios endógenos, micronutrientes e moléculas sinalizadoras que favorecem o desenvolvimento vegetal, a resiliência frente a estresses ambientais e protegendo as plantas contra pragas e doenças (PARMAR et al., 2023).

As microalgas e cianobactérias possuem alta versatilidade metabólica, sendo capazes de converter nutrientes inorgânicos do ambiente em compostos orgânicos assimiláveis, promovendo uma nutrição vegetal mais eficiente e sustentável. Esses microrganismos participam da fixação biológica do nitrogênio, da solubilização de fosfatos e do aumento da disponibilidade de micronutrientes no solo. Além disso, produzem fitohormônios e metabólitos bioativos, como auxinas, citocininas e giberelinas, que estimulam o crescimento vegetal e fortalecem a tolerância das plantas a condições de estresse biótico e abiótico (PARMAR et al., 2023; BRITO-LOPEZ et al., 2025).

O potencial das microalgas como alternativa sustentável aos fertilizantes químicos decorre de sua capacidade de cultivo em sistemas controlados, utilizando recursos renováveis e produzindo biomassa e subprodutos de alto valor agregado, o que contribui para a redução da pegada de carbono e para práticas agrícolas mais sustentáveis (PARMAR et al., 2023; BRITO-LOPEZ et al., 2025).

Entre as microalgas com potencial reconhecido para uso agrícola, destaca-se *Chlorella vulgaris*, pertencente à classe Chlorophyceae. Trata-se de uma alga verde de rápido crescimento, amplamente estudada como bioestimulante vegetal por seu alto teor de proteínas, minerais, pigmentos, lipídios, vitaminas e antioxidantes, além de sua capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais (MINAOUI et al., 2024; MOON et al., 2024).

Estudos recentes demonstram que a aplicação foliar de extratos aquosos de *C. vulgaris*, em diferentes concentrações, promove incrementos significativos no crescimento vegetal e na qualidade dos produtos agrícolas. Em *Mentha spicata* L., por exemplo, o uso do extrato resultou em maior rendimento, teor de óleo essencial e intensificação das atividades antioxidantes e antibacterianas (JAMSHIDI-KIA et al., 2024). Já em *Capsicum annuum* L., observou-se aumento expressivo na altura, diâmetro do caule, área foliar e na atividade das enzimas antioxidantes SOD, POD e CAT, evidenciando seu potencial como biofertilizante sustentável (TIAN et al., 2022).

O extrato de *C. vulgaris* atua como bioestimulante ao fornecer compostos bioativos e nutrientes essenciais que favorecem o metabolismo do nitrogênio e a biossíntese de clorofila, resultando em maior atividade fotossintética, acúmulo de biomassa e crescimento aprimorado (LA BELLA et al., 2021; TIAN et al., 2022). Além disso, estudos relatam aumento na concentração de fenóis e flavonoides, intensificação da capacidade antioxidante e melhoria da absorção de nutrientes, confirmando sua contribuição para o desempenho fisiológico das plantas e para a sustentabilidade da produção agrícola (KUSVURAN, 2021).

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Caracterização do experimento

O experimento foi conduzido entre julho a dezembro de 2022, em viveiro com 50% de sombreamento, coberto com tela de náilon preta (Sombrite®) e proteção adicional contra chuvas, instalado no Horto de Plantas Medicinais, da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD (Figura 1), localizado em Dourados, Mato Grosso do Sul, Brasil (22°11'43.7"S; 54°56'08.5"W; altitude de 452 m). De acordo com Kottek et al. (2006), o clima da região é classificado como monção equatorial (Am), caracterizando-se como zona de transição entre a savana equatorial com inverno seco (Aw), ao norte, e o clima temperado quente e úmido com verão quente (Cfa), ao sul. A temperatura média anual é de 22 °C e a precipitação média de 1.500 mm.



Figura 1. Propagação de pitaya por estaquia, conduzido em viveiro com 50% de sombreamento no Horto de Plantas Medicinais da UFGD, Dourados-MS, 2025.

Foram avaliadas três variedades de pitaya: 'Golden' (*Selenicereus undatus* × *S. undatus*, híbrido interclonal de polpa branca e casca amarela), *S. costaricensis* (pitaya roxa, casca e polpa vermelhas) e *S. undatus* (pitaya vermelha com polpa branca). Utilizou-se como bioestimulante o extrato da microalga *Chlorella* sp. (Primafert®) contendo 20 milhões de células de *Chlorella* sp. por mL, com a seguinte composição: C orgânico 29,3%; N 0,2%; P 0,9%; K 0,1%; Ca 0,1%; S 0,1%; Mg 0,1%; Zn 10,19 mg kg⁻¹; B 0,001 mg kg⁻¹; Fe 113,7 mg kg⁻¹; Cu 11,13 mg kg⁻¹; Mn 4,57 mg

kg^{-1} e pH 6,3, aplicado em cinco doses: 0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 L ha^{-1} , correspondentes a 0,0; 0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 mL planta $^{-1}$. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3×5 (variedades x doses de microalga), com quatro repetições. A unidade experimental foi composta por três mudas de pitaya.

Os cladódios utilizados para a propagação foram coletados de plantas matrizes mantidas na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), em Aquidauana – MS. As coletas ocorreram nas primeiras horas do dia, a fim de minimizar a perda de água. As estacas foram selecionadas com base em vigor e sanidade, cortadas em bisel na extremidade basal, com 20 cm de comprimento, e mantidas em ambiente ventilado por duas semanas para cicatrização, conforme Lone et al. (2010).

As estacas foram plantadas em sacos de polietileno preto ($12 \times 12 \text{ cm}$; 1,5 L) contendo mistura de 50% de Latossolo Vermelho Distroférrico e 50% de substrato comercial Bioplant® (Figura 2). O substrato apresentou pH 6,0, condutividade elétrica de $1,2 \text{ mS cm}^{-1}$, capacidade de retenção de água de 200% e umidade de 48%. O solo utilizado apresentava as seguintes características químicas na camada de 0-20 cm: pH (H_2O) 5,90; P 770,54 mg dm^{-3} ; K 0,622 mg dm^{-3} ; Ca 7,857 cmol dm^{-3} ; Mg 1,430 cmol dm^{-3} ; Al 0,00 cmol dm^{-3} ; H + Al 3,86 cmol dm^{-3} ; SB 9,91 cmolc dm^{-3} e V% 71,9.



Figura 2. Estacas de pitaya (20 cm) cultivadas em mistura de solo e substrato Bioplant®. UFGD, Dourados-MS, 2025.

As estacas foram inseridas verticalmente a 5 cm de profundidade, com as gemas voltadas para cima. A aplicação do extrato de microalga ocorreu 30 dias após o plantio, feita no solo próximo a base de cada cladódio com auxílio de uma seringa de 10 mL.

Durante o período experimental, realizaram-se duas irrigações semanais, mantendo a umidade do substrato próxima a 70% da capacidade de campo. Foram também efetuados tratos culturais, incluindo a remoção manual de plantas espontâneas e uma aplicação de calda bordalesa aos 30 dias após o plantio (DAP) para prevenção de doenças fúngicas.

6.2 Avaliações

A partir dos 35 DAP, observou-se o início da emissão de brotações. As avaliações foram realizadas semanalmente até os 70 DAP, determinando-se o número, o comprimento e o diâmetro dos brotos (Figura 3). Os dados obtidos nesse período foram considerados parcelas subdivididas no tempo.



Figura 3. Diâmetro e comprimento de brotos em mudas de pitaya. UFGD, Dourados-MS, 2025.

Aos 75 DAP, as mudas foram cuidadosamente removidas dos recipientes, lavando-se as raízes para remoção do substrato. Em seguida, as plantas foram separadas em parte aérea (cladódios e brotos) e raízes, sendo cada fração pesada para determinação da massa fresca e medição do comprimento radicular.

O material vegetal foi posteriormente seco em estufa com circulação forçada de ar a 60 ± 5 °C, até massa constante, por um período de oito dias, com revolvimento a cada três dias, devido ao elevado teor de água característico das Cactaceae. Após a secagem, foram obtidos os valores de massa seca da parte aérea e das raízes.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância, e, quando significativo pelo teste F ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey para as variedades de pitaya. Para as doses do extrato de microalga, realizou-se análise de regressão ($p < 0,05$). Os dados de avaliações sucessivas foram tratados como parcelas subdivididas no tempo. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o software SISVAR, versão 5.3 (FERREIRA, 2014).

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comprimento, diâmetro e número de brotos não apresentaram influência significativa da interação entre doses do extrato de microalga e épocas de avaliação, registrando médias de 15,00 cm, 28,90 mm e 3,50, respectivamente. Entretanto, o comprimento de brotos demonstrou influência significativa da interação entre variedades de pitaya e épocas de avaliação, exibindo crescimentos lineares ao longo do período experimental (Figura 4).

A variedade Golden destacou-se com o maior comprimento de broto (28,78 mm), seguida pela Vermelha (23,85 mm) e Roxa (20,63 mm), aos 70 dias após o plantio. Este resultado evidencia que o crescimento e desenvolvimento da Golden manifestou-se de forma mais precoce comparativamente aos demais materiais genéticos avaliados.

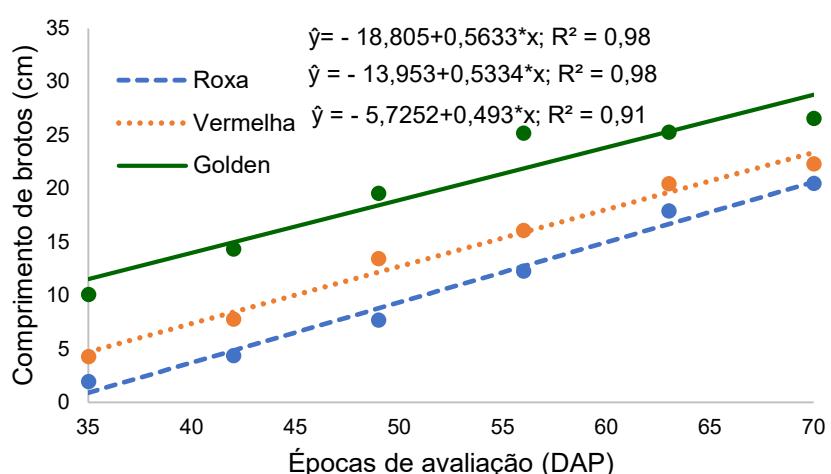


Figura 4. Comprimento de brotos de três variedades de pitaya, entre 35 e 70 dias após o plantio das estacas (DAP). UFGD, Dourados - MS, 2025.

Os meristemas radiculares e caulinares são regiões de intensa atividade mitótica e constituem pontos centrais de síntese e ação de reguladores vegetais responsáveis pela divisão e alongamento celular (PEÑA et al., 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013). Essas estruturas determinam, em grande parte, o ritmo de crescimento vegetativo das plantas.

O padrão linear de aumento no comprimento dos brotos observado nas três variedades de pitaya reflete o crescimento contínuo e progressivo típico dessa fase fenológica. As diferenças nas inclinações das curvas entre Golden, Roxa e Vermelha indicam particularidades genéticas relacionadas ao vigor vegetativo de cada variedade, influenciando a velocidade de alongamento dos cladódios ao longo do tempo.

Dessa forma, uma vez que não foi detectado efeito significativo das doses de *Chlorella* sp. para esse parâmetro, as variações observadas são atribuídas exclusivamente às características inerentes de cada variedade avaliada (Figura 5).



Figura 5. Crescimento da pitaya ao longo do período experimental nas diferentes épocas de avaliação. Dourados-MS, 2025.

Os diâmetros dos brotos foram significativamente influenciados pela interação entre as variedades de pitaya e os períodos de avaliação, apresentando comportamento de crescimento descrito por modelo quadrático (Figura 6). A variedade 'Golden' obteve o maior valor de diâmetro de brotos (39,28 mm) aos 53 dias após o plantio (DAP), enquanto a variedade Vermelha atingiu seu ponto máximo (34,55 mm) aos 61 DAP e a Roxa (31,80 mm) aos 64 DAP. Esses resultados indicam

que a variedade 'Golden' alcançou o ápice de crescimento mais precocemente, além de exibir maior comprimento de brotos (Figura 4), evidenciando seu caráter mais precoce quanto ao desenvolvimento vegetativo.

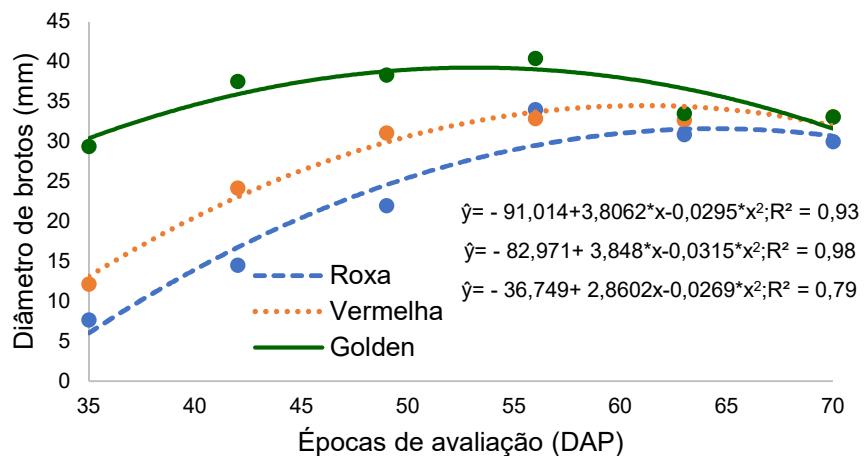


Figura 6. Diâmetro de brotos de três variedades de pitaya, entre 35 e 70 dias após o plantio das estacas (DAP). UFGD, Dourados – MS, 2025.

De acordo com Pinheiro e Ferreira (2015), as reservas presentes nos tecidos dos propágulos desempenham papel essencial na manutenção das plantas durante as fases iniciais de crescimento, especialmente sob condições ambientais adversas. A variação entre as variedades está em conformidade com os achados de Anushi (2024), que destacam a relevância da seleção de estacas com idade entre um e dois anos para maximizar o crescimento e a sobrevivência, ressaltando que o período de coleta das estacas é um fator determinante para o sucesso da propagação.

Após atingirem seus valores máximos, observou-se redução nos diâmetros dos brotos; contudo, o comprimento continuou apresentando incremento progressivo (Figura 4). Esse comportamento possivelmente está associado ao sombreamento do ambiente, que pode ter estimulado o alongamento dos brotos em busca de maior luminosidade, resultando em provável estiolamento. Achados semelhantes foram relatados por Cavalcante et al. (2011), que observaram influência significativa da redução da intensidade luminosa sobre o crescimento dos ramos secundários da pitaya.

O número de brotos foi influenciado pelas épocas de avaliação, apresentando crescimento linear, com o maior valor (4,29 brotos planta⁻¹) aos 70 DAP (Figura 7). As doses do extrato de microalga não influenciaram essa característica, apresentando média de 3,49 brotos planta⁻¹. Resultados contrários foram relatados por Freitas et al.

(2021), que observaram que o extrato de algas SprintAlga TS® foi mais eficiente na produção de brotações no genótipo de pitaya *H. polyrhizus*, uma vez que o efeito benéfico dos produtos se dá devido à presença de hormônios e/ou substâncias promotoras de crescimento de plantas marinhas presentes nos extratos, o que não foi observado nesse estudo para essa característica.

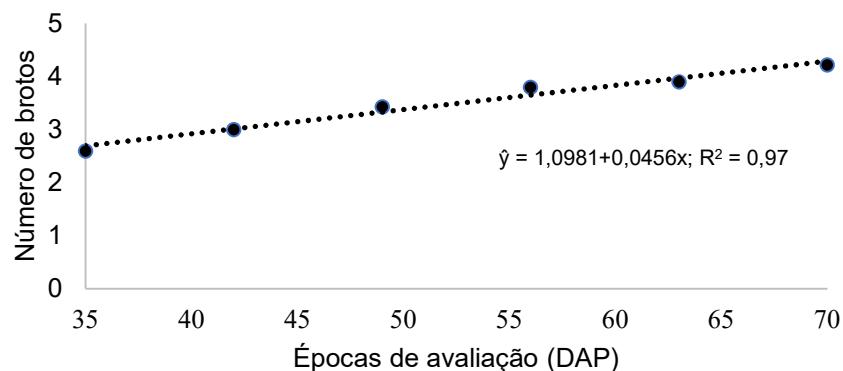


Figura 7. Número de brotos observados em mudas de pitaya, entre 35 e 70 dias após a estquia. UFGD, Dourados-MS, 2025.

O número de brotações foi influenciado significativamente pelos materiais de pitaya (Tabela 1). A variedade Golden apresentou o maior valor, superando em 117,39% em relação à Roxa e 54,32% em relação à Vermelha. Assim como os resultados de comprimento (Figura 4) e diâmetro (Figura 6), o número de brotos foi superior na Golden, demonstrando ser uma característica varietal a precocidade superior aos demais materiais genéticos.

Tabela 1. Número de brotos em mudas variedades de pitaya. UFGD, Dourados - MS, 2025.

Variedades	Número de brotos (planta ⁻¹)
Golden	5,00 a
Roxa	2,30 b
Vermelha	3,24 b
C.V. (%)	28,76

*Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Esta resposta diferencial entre variedades corrobora com os achados de Sivaramakrishnan e Incharoensakdi (2020), que demonstraram que diferentes

genótipos respondem de forma distinta aos reguladores de crescimento, incluindo aqueles produzidos por microalgas.

Para produtores de mudas de pitaya, constitui parâmetro importante ressaltar que o número de brotações é fundamental, considerando que cada brotação poderá originar uma nova muda, além do potencial que o material propagativo carrega, em virtude de manter todas as características da planta-mãe (RUTHS et al., 2021).

As massas frescas de cladódio e raízes foram influenciadas significativamente pelas variedades de pitaya (Tabela 2). Os cladódios das variedades Vermelha e Roxa apresentaram as maiores massas, com incrementos de 69,84 e 58,47 g planta⁻¹, respectivamente, em relação à variedade Golden. Estes valores devem-se ao fato de as estacas empregadas no plantio serem mais densas para as variedades Vermelha e Roxa, por apresentarem maturidade fisiológica mais avançada que a Golden. Em contrapartida, a Vermelha e a Golden registraram as maiores massas frescas de raízes, superando em 9,77 e 7,43 g planta⁻¹ a variedade Roxa.

As massas secas do cladódio, raiz e brotos seguiram o mesmo padrão das massas frescas, sendo significativamente influenciadas pelas variedades de pitaya (Tabela 2). Os maiores valores para massa seca de cladódio foram observados com a Vermelha e Roxa, enquanto para raiz, pela Vermelha e Golden.

Considerando que o presente estudo foi conduzido em ambiente com 50% de sombreamento, os valores superiores da pitaya Vermelha podem estar de acordo com Almeida et al. (2016), que citam que esta variedade é encontrada espontaneamente em florestas tropicais da América em condições de sub-bosque, apresentando maior comprimento de parte aérea e maior volume de raízes, com irradiância solar em torno de 500 µmol m⁻² s⁻¹.

Tabela 2. Massas frescas de cladódio, raiz e brotos de mudas de variedades de pitaya. UFGD, Dourados – MS, 2025.

Variedades	Massas frescas (g planta ⁻¹)			Massas secas (g planta ⁻¹)		
	Cladódio	Raiz	Broto	Cladódio	Raiz	Broto
Golden	73,48 b	20,51 a	73,09 a	6,71 b	5,58 ab	5,34 a
Roxa	131,95 a	13,08 b	63,39 a	11,16 a	4,46 b	3,34 b
Vermelha	143,32 a	22,85 a	67,61 a	11,63 a	6,93 a	3,88 b
C.V. (%)	28,33	39,79	30,42	24,86	40,04	23,80

*Médias seguidas pelas mesmas letras, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A adaptação diferencial das variedades às condições de cultivo está relacionada às suas características genéticas intrínsecas e à capacidade de resposta aos fatores ambientais. Wang et al. (2022) evidenciaram que fitohormônios como auxinas, citocininas, giberelinas e espermidina podem aliviar sintomas de estresse ao modular processos fisiológicos, restaurando assim o crescimento das plantas.

O maior valor de massa seca de broto foi proporcionado pela Golden, resultado que pode ser atribuído ao fato desta variedade ter registrado também o maior comprimento, diâmetro e número de brotos, demonstrando maior eficiência na alocação de recursos para o crescimento da parte aérea em detrimento do sistema radicular.

O comprimento de raízes foi influenciado significativamente pela interação das doses de *Chlorella* sp. e variedades de pitaya (Figura 8). Cada variedade apresentou comportamento diferenciado para esta característica em função das doses estudadas. A variedade Golden, mesmo não se ajustando às equações de regressão, foi a que apresentou o maior comprimento de raiz (34,79 cm) em relação às demais variedades, independentemente da dose aplicada. A pitaya Roxa registrou o maior comprimento (30,89 cm) na dose de 0,50 mL. Este resultado pode ser atribuído à composição do extrato, que contém N, P, K, Ca e micronutrientes como Zn, Fe e Cu, que colaboram no crescimento das raízes.

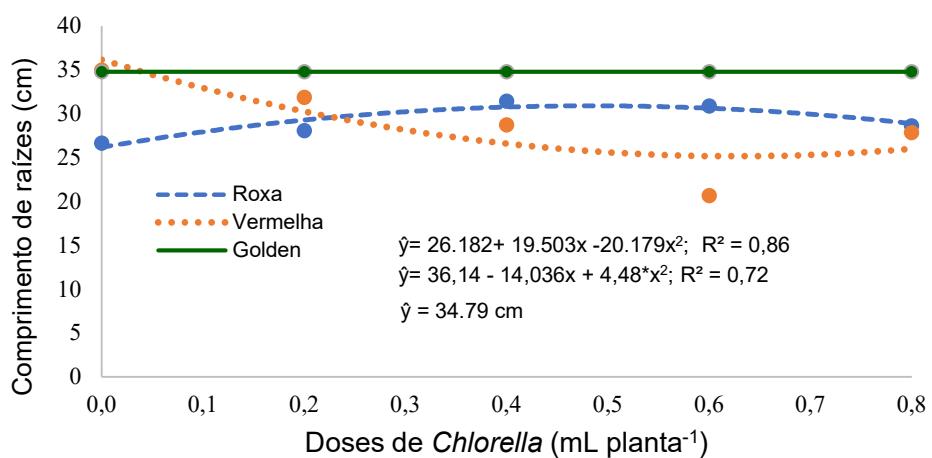


Figura 8. Comprimento de raiz de variedades de pitaya em diferentes doses do extrato da microalga *Chlorella* sp. UFGD, Dourados – MS, 2025.

A eficácia dos bioestimulantes à base de microalgas na formação de raízes adventícias tem sido amplamente documentada na literatura científica. Elakbawy et

al. (2022) desenvolveram métodos eficientes para detecção e avaliação de reguladores de crescimento produzidos por variedades de cianobactérias, demonstrando que estes compostos bioativos podem significativamente melhorar o desenvolvimento radicular. Em contrapartida, o comprimento de raiz da variedade de pitaya Vermelha diminuiu com o emprego da *Chlorella* sp., evidenciando resposta genótipo-dependente.

Estudo realizado por Freitas et al. (2021) com variedades de pitaya (*H. undatus* e *H. polyrhizus*) apresentaram resultados semelhantes com relação ao comportamento diferenciado entre as variedades, atribuindo esta resposta à diversidade genética. Esses autores não encontraram diferenças significativas entre os tratamentos para comprimento médio de raiz e comprimento da maior raiz para *H. undatus*. Em contrapartida, para *H. polyrhizus*, a testemunha apresentou melhores resultados quanto ao comprimento da maior raiz em comparação aos tratamentos que compreendem o uso do indutor de enraizamento AIB e a combinação de AIB + extrato de alga.

As doses de microalga a base de *Chlorella* não influenciaram significativamente a massa seca dos cladódios das pitayas estudadas, apresentando média de 9,84 g planta⁻¹. Dependendo da quantidade e do tempo de exposição do cladódio às doses utilizadas, a auxina pode inibir ou estimular o crescimento e a diferenciação dos tecidos do cladódio, existindo um nível ótimo para estas respostas fisiológicas. Du et al. (2017) demonstraram que diferentes reguladores de crescimento vegetal afetam diferencialmente o crescimento celular, proteínas, carotenoides e produção de lipídios em microalgas, incluindo a síntese de ácidos graxos, o que pode explicar as variações observadas nas respostas das diferentes variedades.

A massa seca de raiz foi influenciada pela interação doses de *Chlorella* sp. e variedades de pitaya que, assim como no comprimento de raiz (Figura 6), cada variedade comportou-se de forma diferente em relação às doses. A Vermelha não se ajustou a nenhum modelo matemático, porém registrou a maior massa (6,93 g planta⁻¹). A Golden apresentou média de 5,58 g planta⁻¹, enquanto a Roxa apresentou efeito quadrático, com maior massa de raiz (6,24 g planta⁻¹) na dose de 0,36 mL de *Chlorella* sp. (Figura 9).

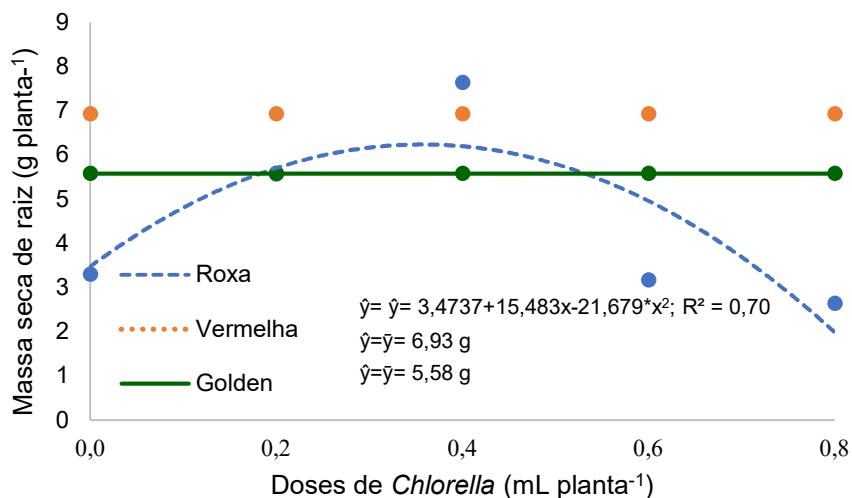


Figura 9. Massa seca de raízes de variedades de pitaya em diferentes doses do extrato da microalga *Chlorella* sp. UFGD, Dourados - MS, 2025.

Este comportamento distinto entre as variedades também foi observado por Freitas et al. (2021) ao avaliar o efeito de extrato de algas e do ácido indolbutírico (AIB) no enraizamento e na brotação de estacas das variedades de pitaia *H. undatus* e *H. polyrhizus*, onde confirmaram tal situação pela alta diversidade genética interespecífica e intraespecífica de acessos na espécie *H. undatus* (LIMA et al., 2014).

Tanto a massa seca dos brotos quanto a massa fresca dos brotos (Figuras 10 e 11) foram influenciadas significativamente pela interação variedades de pitayas e doses do extrato de *Chlorella* sp. utilizadas, apresentando curvas com ajuste quadrático. Os valores máximos foram registrados pela variedade Golden, na dose de 0,32 mL planta⁻¹ para massa seca (5,73 g planta⁻¹) e 0,21 mL planta⁻¹ para massa fresca de brotos (79,50 g planta⁻¹).

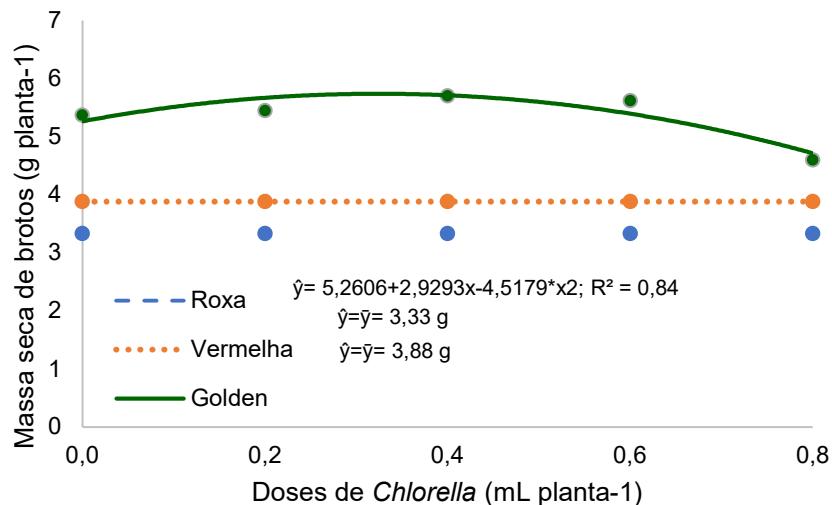


Figura 10. Massa seca de brotos em variedades de pitaya em diferentes doses do extrato da microalga *Chlorella* sp. UFGD, Dourados - MS, 2025.

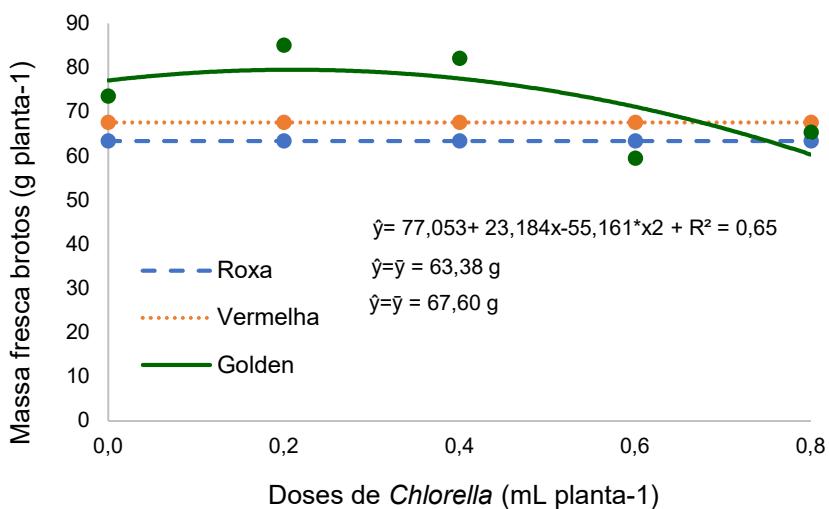


Figura 11. Massa fresca de brotos em variedades de pitaya em diferentes doses do extrato da microalga *Chlorella* sp. UFGD, Dourados - MS, 2025.

Sabe-se que as microalgas do gênero *Chlorella* produzem fitohormônios similares às citocininas, que estão relacionados à diferenciação e divisão celular (ORTIZ-MORENO; SANDOVAL-PARRA; SOLARTE-MURILLO, 2019). A capacidade das microalgas de sintetizar reguladores de crescimento vegetal foi confirmada por Sivaramakrishnan e Incharoensakdi (2020), que demonstraram que hormônios vegetais exógenos, incluindo citocininas, induzem mecanismos de sinalização em microalgas, afetando diferencialmente a produção de ácidos graxos e outros compostos bioativos. A resposta positiva na variedade Golden, nas massas dos

brotos, com a aplicação da microalga, pode estar relacionada a estes fatores fisiológicos.

As variedades Vermelha e Roxa não se ajustaram aos modelos matemáticos, apresentando médias de 3,88 e 3,33 g planta⁻¹ para massa seca, e de 67,60 e 63,38 g planta⁻¹ para massa fresca, respectivamente. Este comportamento genótipo-dependente mostra que diferentes variedades de pitaya respondem de forma distinta à aplicação do extrato de *Chlorella* sp., sugerindo a necessidade de ajustes específicos nas concentrações para maximizar os benefícios em cada material genético, conforme também observado em estudos com bioestimulantes à base de extratos de algas marinhas (STIRK et al., 2024).

8. CONCLUSÕES

Nas condições em que foi conduzido o experimento, concluiu-se que:

- ✓ A variedade Golden apresentou desenvolvimento mais precoce em comparação às variedades Vermelha e Roxa.
- ✓ Cada variedade de pitaya respondeu de forma distinta à aplicação do extrato da microalga *Chlorella* sp., evidenciando comportamento genótipo-dependente.
- ✓ As doses de 0,32 e 0,21 mL planta⁻¹ proporcionaram as maiores massas fresca e seca de brotos na variedade Golden, demonstrando maior eficiência nessas concentrações.
- ✓ De modo geral, o extrato de microalga mostrou-se promissor para o desenvolvimento de mudas de pitaya, sendo recomendada a realização de estudos adicionais que explorem diferentes métodos e formas de aplicação do bioestimulante.
- ✓ Os resultados obtidos contribuem para o aprimoramento de protocolos de propagação ao identificar a variedade Golden como a de melhor desempenho inicial e ao indicar as doses mais eficientes do bioestimulante para essa variedade. Essas informações auxiliam na escolha de materiais genéticos e no ajuste das práticas de manejo, oferecendo subsídios para protocolos mais eficientes e ambientalmente adequados.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAFRUTAS. Frutas: receita com exportações ultrapassa US\$ 1,2 bi em 2024. Brasília, DF: Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados, 24 jan. 2025. Disponível em: <https://abrafrutas.org/>. Acesso em: 29 set. 2025.

ALMEIDA, E. I. B. et al. Cultivo de *Hylocereus* sp. com enfoque na propagação vegetativa, sombreamento e adubação mineral. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 10, n. 1, p. 65-76, jan./mar. 2016. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v10i1.2823.

ANUSHI, A.; KRISHNAMOORTHI, A.; GHOSH, P. K. From Seed to Succulence: Mastering Dragon Fruit Propagation Techniques. **Journal of Plant Biota**, v. 3, n. 1, p. 8–12, 2024. DOI: 10.51470/JPB.2024.3.1.08.

BALAJI, M.; DAS, U.; VASHISHTH, R. Dragon fruit (*Hylocereus* spp.) as a potential crop for nutraceutical properties, livelihood enhancement and climate change mitigation. **Cogent Food & Agriculture**, v. 11, n. 1, p. 2544956, 2025. DOI: 10.1080/23311932.2025.2544956.

BETANCUR-G., J. A.; MURIEL-R., S. B.; GONZÁLEZ-J., E. P. Morphological characterization of the red dragon fruit – *Selenicereus undatus* (Haw.) D.R. Hunt – under growing conditions in the municipality of San Jerónimo (Antioquia, Colombia). **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 73, n. 1, p. 9019–9027, 2020. DOI: 10.15446/rfnam.v73n1.77735.

BISHOYI, A. K. et al. Nutritional composition, phytochemical profile and health benefits of *Hylocereus undatus* (pitaya): a comprehensive review. **eFood**, v. 5, n. 5, e70017, 2024. DOI: 10.1002/efd2.70017.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Setor de fruticultura se destaca nas exportações brasileiras. Brasília, DF: MAPA, 1 jul. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura>. Acesso em: 29 set. 2025.

BRITO-LÓPEZ, C. et al. Plant growth-promoting microbes and microalgae-based biostimulants: sustainable strategy for agriculture and abiotic stress resilience. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 380, n. 1892, p. 20240251, 2025. DOI: 10.1098/rstb.2024.0251.

CAVALCANTE, I. H. L. et al. Adubação orgânica e intensidade luminosa no crescimento e desenvolvimento inicial da pitaya em Bom Jesus-PI. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 970–982, 2011.

CAVALCANTE, I. H. L.; MARTINS, A. B. G. Effect of juvenility on cutting propagation of red pitaya. **Fruits**, v. 63, n. 5, p. 277–283, 2008.

CHEN, S. Y. et al. Nutritional value and therapeutic benefits of dragon fruit: a comprehensive review with implications for establishing Australian industry standards. **Molecules**, v. 29, n. 17, p. 5676, 2024. DOI: 10.3390/molecules29175676.

CHHETRI, S.; HASAN, M. A.; TAMANG, A. Influence of varying length of stem cutting and IBA concentrations on root and shoot growth in dragon fruit cv. Giant White (*Hylocereus undatus*). **Environment and Ecology**, v. 39, n. 1, p. 58–63, 2021.

COMLEKCIOLU, S. Propagação in vitro e estratégias de enraizamento para *Hylocereus undatus* e *Hylocereus polyrhizus*. **Plant Biotechnology Reports**, v. 18, p. 829–838, dez. 2024. DOI: 10.1007/s11816-024-00935-z.

COSME, F. et al. Red Fruits Composition and Their Health Benefits - A Review. **Foods**, v. 11, n. 5, p. 644, 2022. DOI: 10.3390/foods11050644.

DINESHKUMAR, R. et al. Microalgae as bio-fertilizers for rice growth and seed yield productivity. **Waste and Biomass Valorization**, v. 9, n. 5, p. 793–800, 2018. DOI: 10.1007/s12649-017-9873-5.

DU, H. et al. The effects of plant growth regulators on cell growth, protein, carotenoid, PUFAs and lipid production of *Chlorella pyrenoidosa* ZF strain. **Energies**, v. 10, n. 11, p. 1696, 2017. DOI: 10.3390/en10111696.

ELAKBAWY, W. M.; SHANAB, S. M. M.; SHAIBY, E. A. M. Enhancement of plant growth regulators production from microalgae cultivated in treated sewage wastewater (TSW). **BMC Plant Biology**, v. 22, n. 277, p. 1–14, 2022. DOI: 10.1186/s12870-022-03649-w.

ELOBEIDY, A. A. Mass propagation of pitaya (dragon fruit). **Fruits**, v. 61, n. 5, p. 313–319, 2006. DOI: 10.1051/fruits:2006030.

FACT.MR. Dragon fruit market: analysis by powder and puree form use in food & beverages, foodservice, and retail/household from 2024 to 2034. [S. I.]: Fact.MR, fev. 2024. Disponível em: <https://www.factmr.com/report/dragon-fruit-market>. Acesso em: 13 out. 2025.

FALEIRO, F. G. et al. Pitayas: atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação na Embrapa Cerrados. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. 64 p. (Documentos, 374). Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1139508/1/Doc-374-Fabio-Faleiro.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

FERNANDES, A. C.; COUTINHO, G. Nitrogênio no desenvolvimento inicial de mudas de pitaya vermelha. **Global Science Technology**, [S. I.], v. 12, n. 3, p. 32–43, 2019.

FONSECA, L. A. B. V. Fruticultura brasileira: diversidade e sustentabilidade para alimentar o Brasil e o mundo. Brasília: Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA, 3 maio 2022. Disponível em: <https://www.cnabrasil.org.br>. Acesso em: 29 set. 2025.

FREITAS, F. R. de et al. Efeito de extrato de algas no enraizamento de estaca de pitaia. **Agropecuária Catarinense**, v. 34, n. 2, p. 62–67, 2021. DOI: 10.52945/rac.v34i2.813.

GROSSNICKLE, S. C. Why seedlings survive: influence of plant attributes. **New Forests**, v. 43, n. 5–6, p. 711–738, 2012.

JAMSHIDI-KIA, F.; SAEIDI, K.; LORIGOOINI, Z.; HOSSEINZADEH SALAMI, B. Efficacy of foliar application of *Chlorella vulgaris* extract on chemical composition and biological activities of the essential oil of spearmint (*Mentha spicata* L.). **Heliyon**, v. 10, e40531, 2024. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e40531.

KAKADE, D. S. et al. Influence of indole butyric acid on root and shoot growth in dragon fruit (*Selenicereus undatus*) stem cuttings. **Multilogic in Science**, v. 15, n. 1, p. 125–133, 2024.

KHOO, H. E.; HE, X.; TANG, Y.; LI, Z.; LI, C.; ZENG, Y.; TANG, J.; SUN, J. Betacyanins and Anthocyanins in Pulp and Peel of Red Pitaya (*Hylocereus polyrhizus* cv. Jindu), Inhibition of Oxidative Stress, Lipid Reducing, and Cytotoxic Effects. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, p. 1–14, 2022. DOI: 10.3389/fnut.2022.894438.

KUSVURAN, S. Microalgae (*Chlorella vulgaris* Beijerinck) alleviates drought stress of broccoli plants by improving nutrient uptake, secondary metabolites, and antioxidative defense system. **Horticultural Plant Journal**, v. 7, n. 3, p. 221–231, 2021. DOI: 10.1016/j.hpj.2021.03.001.

LA BELLA, E.; BAGLIERI, A.; ROVETTO, E. I.; STEVANATO, P.; PUGLISI, I. Foliar spray application of *Chlorella vulgaris* extract: Effect on the growth of lettuce seedlings. **Agronomy**, v. 11, n. 2, p. 308, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11020308.

LIMA, C. A. de; FALCÃO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. H.; BELLO, G. Avaliação de características físico-químicas de frutos de duas variedades de pitaya. **Revista Ceres**, v. 61, n. 3, p. 377–383, maio/jun. 2014. DOI: 10.1590/S0034-737X2014000300018.

MINAOUI, F. et al. Biostimulant effect of green soil microalgae *Chlorella vulgaris* suspensions on germination and growth of wheat (*Triticum aestivum* var. Achtar) and soil fertility. **Algal Research**, v. 82, p. 103655, ago. 2024. DOI: 10.1016/j.algal.2024.103655.

MONDAL, M. S. A.; AKBAR, U.; MANDAL, O.; RANI, A.; DAR, A. H.; CHATTERJEE, A.; ABDI, O. Advances in agronomic practices, postharvest technologies, and medicinal potential of dragon fruit (*Hylocereus* spp.): A comprehensive updated review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 23, p. 101557, 2025. DOI: 10.1016/j.jafr.2025.101557.

MOON, J.; PARK, Y. J.; CHOI, Y. B.; TRUONG, T. Q.; HUYNH, P. K.; KIM, Y. B.; KIM, S. M. Physiological effects and mechanisms of *Chlorella vulgaris* as a biostimulant on the growth and drought tolerance of *Arabidopsis thaliana*. **Plants**, v. 13, n. 21, p. 3012, 2024. DOI: 10.3390/plants13213012.

NISHIKITO, D. F. et al. Efeitos anti-inflamatórios, antioxidantes e outros efeitos benéficos à saúde da pitaya e potenciais sistemas de liberação de seus compostos bioativos. **Pharmaceutics**, v. 15, n. 1, p. 159, 2023. DOI: 10.3390/pharmaceutics15010159.

ORTIZ-MORENO, M. L.; SANDOVAL-PARRA, K. X.; SOLARTE-MURILLO, L. V. *Chlorella*, ¿un potencial biofertilizante?. **Orinoquia**, v. 23, n. 2, p. 57–78, jul./dez. 2019. DOI: 10.22579/20112629.573.

PARMAR, P. et al. Microalgae as next generation plant growth additives: Functions, applications, challenges and circular bioeconomy based solutions. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1073546, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2023.1073546.

PAULS, B.; LAUTENSCHLÄGER, T.; NEINHUIS, C. Anatomical and biomechanical properties of the junction between stem and aerial roots of *Selenicereus undatus*. **Plants**, v. 12, n. 13, p. 2544, 2023. DOI: 10.3390/plants12132544.

PEÑA, M. L.; GUBERT, C.; TAGLIANI, M. C.; BUENO, P. M. C.; BIASI, L. A. Concentrações e formas de aplicação do ácido indolbutírico na propagação por estaquia dos mirtileiros cvs. Flórida e Clímax. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 57–64, 2012. DOI: 10.5433/1679-0359.2012v33n1p57.

PINHEIRO, T. S.; FERREIRA, A. C. Variedades de Cactaceae nas restingas do nordeste brasileiro: aspectos funcionais. **Gaia Científica**, v. 9, p. 193-201, 2015.

RAHAD, M. A. B. K.; ISLAM, M. A.; RAHIM, M. A.; MONIRA, S. Effects of rooting media and varieties on rooting performance of dragon fruit cuttings (*Hylocereus undatus* Haw.). **Research in Agriculture, Livestock and Fisheries**, v. 3, n. 1, p. 67–77, 2016. DOI: 10.3329/ralf.v3i1.27859.

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

RYMBAI, H.; VERMA, V. K.; TALANG, H.; DEVI, M. B.; MAWLEIN, J. Higher propagation and nutrient use efficiency of cladode cuttings in dragon fruit (*Hylocereus costaricensis*) due to the effect of substrates and growth regulators. **Discover Plants**, v. 2, p. 282, 2025. DOI: 10.1007/s44372-025-00363-5.

SANTOS, D. N. dos; PIO, L. A. S.; FALEIRO, F. G. (Ed.). Pitaya: uma alternativa frutífera. Brasília, DF: ProImpress, 2022. 68 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1140650/1/livropitaya-versaofinalweb.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

SANTOS, D. N. dos; PIO, L. A. S.; FALEIRO, F. G. Pitaya: uma alternativa frutífera. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1148826/pitaya-uma-alternativa-frutifera>. Acesso em: 29 set. 2025.

SHAH, K.; CHEN, J.; CHEN, J.; QIN, Y. Pitaya nutrition, biology, and biotechnology: a review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 18, p. 13986, 2023. DOI: 10.3390/ijms241813986.

SIDDIQUA, A.; THIPPESHA, D.; SHIVAKUMAR, B. S.; ADIVAPPAR, N.; GANAPATHI, M. Effect of growth regulators on rooting and shooting of stem cuttings in dragon fruit [*Hylocereus undatus* (Haworth) Britton & Rose]. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 5, p. 1595–1598, 2018.

SIVARAMAKRISHNAN, R.; INCHAROENSAKDI, A. Plant hormone induced enrichment of *Chlorella* sp. omega-3 fatty acids. **Biotechnology for Biofuels**, v. 13, n. 237, p. 1–13, 2020. DOI: 10.1186/s13068-019-1647-9.

STIRK, W. A. et al. Comparison of plant biostimulating properties of *Chlorella sorokiniana* biomass produced in batch and semi-continuous systems supplemented with pig manure or acetate. **Journal of Biotechnology**, v. 381, p. 17–26, 2024. DOI: 10.1016/j.biote.2023.12.004.

SUH, D. H. et al. Análise do perfil metabólico de pitayas vermelhas e brancas (*Hylocereus polyrhizus* e *Hylocereus undatus*) para comparação da biossíntese de betalainas e da atividade antioxidante. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 34, p. 8764–8771, 2014. DOI: 10.1021/jf5020704.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TIAN, S.; KHAN, A.; ZHENG, W.; SONG, J.; LU, X.; WANG, L. Effects of *Chlorella* extracts on growth of *Capsicum annuum* L. seedlings. **Scientific Reports**, v. 12, n. 15455, 2022. DOI: 10.1038/s41598-022-19846-6.

TRINDADE, A. R.; PAIVA, P.; LACERDA, V.; MARQUES, N.; NETO, L.; DUARTE, A. Pitaya as a new alternative crop for Iberian Peninsula: biology and edaphoclimatic requirements. **Plants**, v. 12, n. 21, p. 3212, 2023. DOI: 10.3390/plants12213212.

WANG, C.; QI, M.; GAO, J.; ZHOU, C.; YAN, X.; RUAN, R.; CHENG, P. The active phytohormone in microalgae: the characteristics, efficient detection, and their adversity resistance applications. **Molecules**, v. 27, n. 6, p. 1846, 2022. DOI: 10.3390/molecules27061846.

WANG, Y.; KROGSTAD, T.; CLARKE, J. L.; HALLAMA, M.; ØGAARD, A. F.; EICH-GRETOREX, S.; KANDELER, E.; CLARKE, N. Rhizosphere organic anions play a minor role in improving crop species' ability to take up residual phosphorus (P) in agricultural soils low in P availability. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 1664, 2016.