

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

FERNANDA CATARINA DE ARAÚJO CAVALCANTE

**FENOTIPAGEM DE ALTA EFICIÊNCIA EM PLANTAS DE ARROZ TRATADAS
COM BIOESTIMULANTES**

Rio Largo - AL
2025

FERNANDA CATARINA DE ARAÚJO CAVALCANTE

**FENOTIPAGEM DE ALTA EFICIÊNCIA EM PLANTAS DE ARROZ TRATADAS
COM BIOESTIMULANTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. João Luciano de Andrade Melo Junior

Rio Largo- AL
2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 – 1512

C377f Cavalcante, Fernanda Catarina de Araújo.

Fenotipagem de alta eficiência em plantas de arroz tratadas com bioestimulantes. /
Fernanda Catarina de Araújo Cavalcante. – 2025.

38 f.: il.

Orientador: João Luciano de Andrade Melo Júnior.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Graduação em
Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de
Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. *Oryza sativa*. 2. Tratamento de sementes. 3. Técnica de avaliação. I. Título.

CDU: 631.531:633.18

Folha de Aprovação

FERNANDA CATARINA DE ARAÚJO CAVALCANTE


**FENOTIPAGEM DE ALTA EFICIÊNCIA EM PLANTAS DE ARROZ TRATADAS
COM BIOESTIMULANTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Agronomia do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Agrônoma. Aprovado em 20 de outubro de 2025.

Banca examinadora:

 Documento assinado digitalmente
JOÃO LUCIANO DE ANDRADE MELO JUNIOR
Data: 06/11/2025 09:01:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Orientador – Prof. Dr. João Luciano de Andrade Melo Junior, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias/UFAL)

 Documento assinado digitalmente
REINALDO DE ALENCAR PAES
Data: 07/11/2025 08:08:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Examinador – Prof. Dr. Reinaldo de Alencar Paes, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias/UFAL)

 Documento assinado digitalmente
LUAN DANILO FERREIRA DE ANDRADE MELO
Data: 06/11/2025 18:53:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

(Examinador – Prof. Dr. Luan Danilo Ferreira de Andrade Melo, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias/UFAL)

DEDICO

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pelo Dom da vida, pela força, sabedoria e pela presença constante em todos os momentos desta caminhada.

Aos meus pais, por acreditarem em mim e por serem meu alicerce em todas as fases da vida.

Ao meu marido, pelo amor, paciência e apoio incondicional, por compreender minhas ausências e me incentivar a seguir em frente mesmo nos momentos mais desafiadores.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste sonho, dedico com todo o meu carinho e gratidão.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde, determinação e serenidade para concluir mais esta etapa da minha vida.

Aos meus pais e familiares, por todo o amor, incentivo e compreensão durante os momentos de estudo e dedicação.

Ao meu marido, por estar ao meu lado em cada instante, oferecendo palavras de encorajamento, paciência e amor. Sua presença foi essencial para que eu nunca desistisse, mesmo diante das dificuldades.

Ao meu orientador, Prof.º Dr. João Luciano de Andrade Melo Junior, pela atenção, ensinamentos e apoio durante a elaboração deste trabalho. Sua orientação foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos colegas e amigos do curso de Agronomia, pela amizade, parceria e aprendizado compartilhado ao longo dessa jornada acadêmica.

A todos os professores e colaboradores do curso, pelo comprometimento e dedicação em transmitir conhecimento e inspirar o crescimento profissional e pessoal.

E, finalmente, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho fosse possível, deixo aqui o meu mais sincero agradecimento.

RESUMO

O arroz constitui um dos cereais de maior relevância global, representando a principal fonte de alimento para uma parcela significativa da população mundial. Todavia, a produtividade dessa cultura é frequentemente limitada pela ocorrência de pragas, doenças e estresses (bióticos e abióticos), demandando o desenvolvimento de estratégias inovadoras que assegurem a sustentabilidade e a eficiência nos sistemas de cultivo. Nesse contexto, os bioestimulantes surgem como uma ferramenta promissora, uma vez que podem favorecer o crescimento e desenvolvimento vegetal, além de aprimorar a eficiência no uso de recursos e incrementar a resiliência das plantas frente a condições adversas. Dentre os bioestimulantes, destaca-se os óleos essenciais de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus globulus*, os quais têm recebido atenção crescente em pesquisas em virtude de suas propriedades: bactericida, inseticida e fungicida, além de seu efeito bioestimulante. Diante o exposto, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação do óleo essencial de eucalipto em diferentes concentrações, na parte aérea e raiz do arroz por meio de análise de imagens. O experimento foi conduzido no Laboratório de Fitotecnia pertencente ao Campus de Engenharias de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, Brasil. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com 4 repetições de 50 sementes com cinco tratamentos, totalizando 20 parcelas experimentais para cada óleo. Foram utilizadas sementes de arroz da cultivar BRS A502, e para obtenção das concentrações do óleo essencial, utilizou-se a proporção de 1:1 de polisorbato para cada óleo essencial. A pesquisa foi estruturada a partir de estudo experimental e foi analisada a emergência através da análise de imagens. Os resultados indicaram que o bioestimulante promoveu alterações positivas no desenvolvimento das plântulas. Conclui-se que a associação entre cultivar BRS A502 e os óleos essenciais de eucalipto representam um avanço significativo para a agricultura moderna, permitindo identificar respostas fisiológicas rápidas e consistentes em plantas de arroz. A fenotipagem de alta eficiência baseada em análise de imagens constitui uma ferramenta promissora para estudos com bioestimulantes vegetais, permitindo avaliar de forma precisa e não destrutiva as respostas fisiológicas das plantas. No caso do arroz, essa metodologia possibilita o monitoramento detalhado dos efeitos do óleo essencial de eucalipto sobre a emergência, o vigor e o crescimento inicial das plântulas, superando as limitações das avaliações visuais tradicionais. Assim, a aplicação dessa abordagem contribui para gerar dados mais robustos e objetivos, favorecendo a adoção de práticas agrícolas sustentáveis e fundamentadas em evidências científicas.

Palavras-chave: *Oryza sativa*; tratamento de sementes; técnica de avaliação.

ABSTRACT

Rice is one of the most important cereals globally, representing the primary food source for a significant portion of the world's population. However, the productivity of this crop is often limited by pests, diseases, and stresses (both biotic and abiotic), requiring the development of innovative strategies to ensure greater sustainability and efficiency in cropping systems. In this context, biostimulants emerge as a promising tool, as they can promote plant growth and development, improve resource efficiency, and increase plant resilience to adverse conditions. Among the biostimulants, the essential oils of *Eucalyptus citriodora* and *Eucalyptus globulus* stand out, receiving increasing research attention due to their bactericidal, insecticidal, and fungicidal properties, in addition to their biostimulant effect. Therefore, this study aimed to evaluate the effect of applying eucalyptus essential oil at different concentrations in the aerial part and root of rice through image analysis. The experiment was conducted at the Plant Science Laboratory of the Agricultural Sciences and Engineering Campus of the Federal University of Alagoas, Rio Largo, AL, Brazil. A completely randomized experimental design (CRD) was used, with four replicates of 50 seeds and five treatments, totaling 20 experimental plots for each oil. Rice seeds of the BRS A502 cultivar were used, and essential oil concentrations were obtained using a 1:1 ratio of polysorbate to each essential oil. The research was structured around an experimental study, and emergence was analyzed through image analysis. The results indicated that the biostimulant promoted positive changes in seedling development. The conclusion is that the combination of cultivars BRS A502 and eucalyptus essential oils represents a significant advance for modern agriculture, enabling the identification of rapid and consistent physiological responses in rice plants. High-efficiency phenotyping based on image analysis is a promising tool for studies with plant biostimulants, allowing for precise and non-destructive evaluation of plant physiological responses. In the case of rice, this methodology enables detailed monitoring of the effects of eucalyptus essential oil on seedling emergence, vigor, and initial growth, overcoming the limitations of traditional visual assessments. Thus, the application of this approach contributes to generating more robust and objective data, favoring the adoption of sustainable agricultural practices based on scientific evidence.

Keywords: *Oryza sativa*; seed treatment; evaluation technique.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Dendrograma para análise multivariada do efeito do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* sobre a emergência e formação de mudas de arroz.....24
- Figura 2 - Dendrograma para análise multivariada do efeito do óleo essencial de *Eucalyptus citriodora* sobre a emergência e formação de mudas de arroz.25
- Figura 3 - Paletas de cores e histogramas de frequência da parte aérea e da raiz das mudas de arroz oriundas das melhores concentrações, 0,50 e 0,75%, respectivamente, dos óleos de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus citriodora*.....26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efeito do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* na emergência (E), primeira contagem de emergência (PCE), Índice de Velocidade de Emergência (IVE), índice de sincronia de emergência (ISE), comprimento de muda (CM) e massa seca de mudas (MSM) de arroz.....23

Tabela 2 - Efeito do óleo essencial de *Eucalyptus citriodora* na emergência (E), primeira contagem de emergência (PCE), Índice de Velocidade de Emergência (IVE), índice de sincronia de emergência (ISE), comprimento de muda (CM) e massa seca de mudas (MSM) de arroz.....24

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Bandas RGB e suas aplicações em fenotipagem de plantas.....	29
------------------------------------------------------------------------	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivos Gerais.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Características Gerais do Arroz.....	15
2.2 Importância econômica e agrônômica da cultura.....	15
2.3 Bioestimulantes	17
2.4 Uso de óleos essenciais na agricultura	18
2.4.1 Mecanismos de ação possíveis.....	18
2.4.2 Cuidados e limitações.....	18
2.4.3 Formas de aplicação estudadas.....	19
2.5 Cultivar BRS A502	19
2.6 Fenotipagem	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1 Local e condições experimentais.....	21
3.2 Material vegetal.....	21
3.3 Tratamento.....	21
3.4 Procedimento.....	21
3.5 Variáveis Analizadas.....	22
3.6 Análise Estatística.....	22
4 RESULTADOS	23
5 DISCUSSÃO.....	27
6 CONCLUSÕES.....	30
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
8 ANEXOS E APÊNDICES	35

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa L.*) faz-se presente na alimentação de mais da metade da população mundial, sendo fonte essencial de energia (carboidratos), proteínas, vitaminas e minerais. No Brasil, é um dos cereais mais cultivados, contribuindo para a segurança alimentar e com grande importância social e econômica, como geração de emprego e renda para o pequeno produtor e cadeias relacionadas ao beneficiamento, transporte e comércio local (EMBRAPA, 2023).

Apesar de sua importância, a cultura enfrenta desafios relacionados à necessidade de aumento de produtividade, ao uso racional de insumos e aos impactos de estresses bióticos e abióticos, como: seca, salinidade e baixa fertilidade do solo, além dos desafios fitossanitários. Nesse cenário, o desenvolvimento de tecnologias que associam eficiência produtiva à sustentabilidade é fundamental. Os bioestimulantes têm se consolidado como insumos estratégicos, promovendo melhorias no crescimento vegetal, no aproveitamento de nutrientes e na tolerância a estresses (SILVA *et al.*, 2022).

Os bioestimulantes compreendem substâncias naturais ou microrganismos benéficos capazes de melhorar processos fisiológicos específicos das plantas, promovendo crescimento e desenvolvimento vegetal sem atuarem diretamente como fertilizantes ou defensivos (SIBLE; SEEBUER; BELOW, 2021). Esses compostos têm despertado interesse crescente na agricultura moderna por seu potencial em aumentar a eficiência fisiológica e a resiliência das culturas frente a estresses abióticos, ao mesmo tempo em que reduzem a dependência de insumos químicos (ERTANI *et al.*, 2017).

Tradicionalmente, a avaliação de seus efeitos na cultura do arroz é realizada por meio de medições manuais e observações visuais, métodos limitados pela subjetividade, pelo tempo demandado e pela baixa precisão reprodutiva (DU JARDIN, 2015). Nesse cenário, o uso de tecnologias digitais, como a análise computacional de imagens RGB, apresenta-se como ferramenta inovadora para o monitoramento fenotípico de plantas. Essa técnica possibilita a extração de informações agronômicas de forma automatizada, precisa e não destrutiva, permitindo acompanhar o desenvolvimento da cultura sem necessidade de intervenção direta nas áreas cultivadas. (ABEBE *et al.*, 2023; LIU *et al.*, 2020)

Estudos com arroz de terras altas demonstraram que imagens RGB podem ser utilizadas para prever produtividade e diagnosticar deficiências nutricionais em diferentes

estágios de crescimento, explicando até 70–75% da variabilidade produtiva com base nas características do dossel vegetal (LI *et al.*, 2024; QIU *et al.*, 2022; TANAKA *et al.*, 2023).

A fenotipagem de alta eficiência baseada em imagens surge, portanto, como uma abordagem moderna e precisa para a quantificação de características fenotípicas relacionadas ao vigor e ao crescimento das plantas (ZHANG *et al.*, 2018; SUN *et al.*, 2019). Essa metodologia permite detectar variações sutis no desenvolvimento das plântulas de arroz sob diferentes concentrações de óleo essencial de eucalipto, fornecendo dados objetivos sobre o potencial bioestimulante desse composto (UGA *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2018). Evidências científicas indicam que óleos essenciais de eucalipto apresentam propriedades antifúngicas, antimicrobianas e estimulantes do metabolismo vegetal, podendo atuar positivamente na germinação e no crescimento inicial das plantas (STEFFEN; ANTONIOLLI; KIST, 2010; OUATTARA *et al.*, 2024). Assim, a integração entre a fenotipagem digital e o uso de bioestimulantes naturais, como o óleo essencial de eucalipto, representa uma estratégia promissora para a compreensão de respostas fisiológicas e para o aprimoramento de práticas agrícolas sustentáveis.

Essa abordagem é particularmente relevante para o cultivo de arroz de terras altas, como a cultivar BRS A502, desenvolvida pela Embrapa, que alia potencial produtivo, rusticidade e adaptabilidade a condições de sequeiro. No contexto regional, o estado de Alagoas apresenta tendência de crescimento na produção de arroz, com estimativa de safra de 23,4 mil toneladas para 2024/2025 — um aumento superior a 4% em relação à safra anterior, que produziu 22,4 mil toneladas (IBGE, 2024). Esses avanços reforçam a importância de tecnologias que integrem inovação, sustentabilidade e eficiência produtiva na cultura do arroz.

1.1 Objetivo

Avaliar o efeito da aplicação do óleo essencial de eucalipto (*Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus globulus*) em diferentes concentrações, nas sementes de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) por meio de análise computacional de imagens RGB.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Características gerais do arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma gramínea pertencente à família Poaceae, amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais do mundo. Segundo Fageria (2007) apresenta porte variável, geralmente herbáceo e ereto, com altura que pode variar entre 80 e 120 centímetros. Possui folhas longas, estreitas e lineares, dispostas de forma alternada ao longo do caule. O sistema radicular é fibroso e superficial, mas eficiente na absorção de água e nutrientes. Seu ciclo se modifica conforme a cultivar e o ambiente de cultivo, podendo ser classificado em: precoces (cerca de 90 a 100 dias), intermediárias (100 a 130 dias) ou tardias (mais de 130 dias).

O desenvolvimento da planta é dividido em três fases principais: vegetativa, reprodutiva e de enchimento de grãos, cada etapa apresenta exigências específicas de água, temperatura e nutrientes. O arroz é altamente adaptável, com variedades cultivadas em condições irrigadas, de sequeiro ou em áreas alagadas, o que contribui para sua ampla distribuição geográfica e importância econômica.

2.2 Importância econômica e agrônômica da cultura

O arroz consiste em uma cultura de grande importância econômica, visto que ocupa posição estratégica na produção agrícola mundial, com cerca de 700 milhões de toneladas, as quais estão concentradas em países asiáticos, como China e a Índia. No Brasil, a produção ultrapassa 10 milhões de toneladas, com destaque para o Rio Grande do Sul, o qual detém 70% do volume nacional (EMBRAPA, 2023). De acordo com estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a safra alagoana de 2024/2025 deve alcançar cerca de 23,4 mil toneladas, representando um crescimento de mais de 4% em comparação com a safra anterior. Esse incremento na produção pode ser interpretado como reflexo de diversos fatores, tais como: adoção de tecnologias compatíveis com as condições locais, incentivos públicos ao cultivo e melhorias nas práticas de manejo agrícola (GOVERNO DO ESTADO DE ALAGOAS, 2025). Em função disso, o aumento esperado coloca o cultivo do arroz entre os componentes estratégicos para o desenvolvimento da agricultura estadual,

contribuindo para diversificação produtiva e fortalecimento da cadeia regional (MOVIMENTO ECONÔMICO, 2025)

Esses números reforçam a necessidade da adoção de tecnologias capazes de garantir competitividade frente às mudanças climáticas e à pressão por sistemas agrícolas mais sustentáveis. No estado de Alagoas, apesar do arroz ser cultivado em três diferentes sistemas (sistemas irrigados, área não irrigada e sequeiro), sua produção é incipiente para atender à demanda interna do estado, o que torna necessária a importação do grão de outras regiões do país (Rabelo *et al.*, 2013).

Considerando esses aspectos, fica evidente que fortalecer a produção local é essencial, pois contribui para a redução dos custos logísticos, melhora a disponibilidade de alimento para a população e mantém a circulação de recursos dentro da economia estadual, estimulando o desenvolvimento regional.

Em relação ao desempenho agrônômico do arroz, o mesmo é afetado por diferentes estresses ambientais, como déficit hídrico, excesso de água, salinidade, temperaturas extremas, deficiência nutricional e toxicidade por metais pesados; os quais limitam o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

A deficiência hídrica é considerada um dos fatores mais limitantes, pois o arroz é muito sensível à falta de água, principalmente nas fases de germinação, perfilhamento e florescimento, esse estresse acaba comprometendo o enchimento de grãos, a eficiência fotossintética e a absorção de nutrientes. O excesso de água também pode comprometer o desempenho da cultura, visto que, embora algumas variedades de arroz apresentem tolerância ao alagamento raso, a submersão total por períodos prolongados pode resultar na morte das plantas. Esse efeito ocorre devido à redução da respiração celular, causada pela falta de oxigênio no solo, e ao acúmulo de substâncias tóxicas, como ferro e manganês em formas reduzidas, que prejudicam o metabolismo vegetal (CRUSCIOL; SORATTO, 2007; BAILEY-SERRES; LEE; BRACKEN, 2010).

Já a salinidade reduz a absorção de água e nutrientes, enquanto solos de baixa fertilidade exigem maior aporte de fertilizantes químicos (ZHANG *et al.*, 2020). O arroz é considerado uma espécie moderadamente sensível à salinidade, sendo que a presença de sais no solo pode comprometer a absorção de água e nutrientes, além de provocar toxicidade iônica devido ao acúmulo de íons como sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-). Esses efeitos refletem-se principalmente nas etapas de germinação e estabelecimento das plântulas, reduzindo o vigor e o desenvolvimento inicial da cultura (MUNNS; TESTER, 2008; FAGERIA, 1985).

A temperatura exerce grande influência sobre o desenvolvimento da cultura do arroz, uma vez que valores baixos podem prejudicar o processo germinativo, o crescimento inicial e o enchimento de grãos, enquanto temperaturas elevadas comprometem a fertilidade do pólen, provocam esterilidade das flores e reduzem a qualidade dos grãos. Além disso, a deficiência de nutrientes essenciais, como nitrogênio, ferro, zinco e fósforo, limita o crescimento e a produtividade da cultura. Por outro lado, o excesso de determinados elementos pode causar toxicidade, afetando o metabolismo e o desempenho fisiológico das plantas (YOSHIDA, 1981; JAGADISH; CRAUFURD; WHEELER, 2007; FAGERIA, 2014; CRUSCIOL; SORATTO, 2007).

O manejo para mitigar estresses abióticos na cultura do arroz envolve um conjunto de estratégias integradas que buscam reduzir os efeitos negativos de fatores como seca, salinidade, frio e calor excessivo. Entre as principais medidas adotadas, destaca-se o desenvolvimento de cultivares mais tolerantes a essas condições adversas, permitindo maior estabilidade produtiva em ambientes desfavoráveis. Além disso, a adoção de práticas de irrigação eficientes, como o manejo adequado da lâmina d'água, contribui para o uso racional dos recursos hídricos e para a manutenção do equilíbrio hídrico das plantas (BOUMAN *et al.*, 2007; FAGERIA, 2014; ISMAIL *et al.*, 2013).

Outro aspecto essencial é o uso de adubação equilibrada, garantindo o suprimento adequado de nutrientes e fortalecendo o metabolismo vegetal frente aos estresses ambientais. A correção da acidez e o manejo da salinidade do solo também são fundamentais para criar um ambiente favorável ao desenvolvimento radicular e à absorção de nutrientes. Além disso, o planejamento do calendário agrícola, considerando o regime climático regional, permite evitar que as fases mais sensíveis da cultura coincidam com períodos de maior estresse. Esses desafios têm estimulado a busca por soluções alternativas que promovam maior resiliência das lavouras, sem elevar os custos de produção ou causar impactos ambientais significativos (CRUSCIOL; SORATTO, 2007; FAGERIA, 2014; EMBRAPA, 2018).

2.3 Bioestimulantes

De acordo com a legislação brasileira (Lei nº 14.475/2022), os bioestimulantes são definidos como produtos de origem natural que, aplicados às plantas ou ao solo, promovem estímulos fisiológicos capazes de melhorar a eficiência nutricional, a tolerância a estresses e a qualidade da produção. Esses produtos atuam de forma complementar à adubação e ao

manejo convencional, favorecendo o desempenho vegetal por meio de diferentes mecanismos de ação.

Entre os principais grupos de bioestimulantes, destacam-se as substâncias húmicas e fúlvicas, que melhoram a absorção de nutrientes e estimulam o crescimento radicular, contribuindo para o desenvolvimento inicial mais vigoroso das plantas. Os extratos de algas, por sua vez, são ricos em fitormônios naturais e compostos bioativos que aumentam a taxa fotossintética e a resistência a estresses abióticos, como demonstrado por Zhang *et al.* (2020).

Já os aminoácidos livres e peptídeos atuam como precursores metabólicos, acelerando processos de recuperação e crescimento vegetal após situações de estresse.

Outro grupo relevante é o dos microrganismos promotores de crescimento de plantas (PGPR), como espécies dos gêneros *Bacillus* e *Azospirillum*, que se destacam pela capacidade de realizar fixação biológica de nitrogênio e induzir resistência sistêmica (Silva *et al.*,2022).

2.4 Uso de óleos essenciais na agricultura

O uso de óleos essenciais, como o óleo de eucalipto, na agricultura tem ganhado interesse por suas propriedades bioestimulantes, antifúngicas e inseticidas naturais. Na cultura do arroz, o óleo de eucalipto ainda é uma tecnologia em pesquisa e validação, mas já há evidências de potenciais benefícios.

2.4.1 Mecanismos de ação possíveis

O óleo essencial apresenta múltiplos efeitos benéficos sobre as plantas, atuando como bioestimulante, elicitador de defesa e agente antimicrobiano e inseticida natural. Seu efeito bioestimulante está associado à presença de compostos voláteis, como eucaliptol, cineol e terpenos, que podem estimular a atividade enzimática, intensificar a fotossíntese e promover o crescimento radicular. Além disso, esses compostos contribuem para o aumento da tolerância das plantas a estresses abióticos, como seca, salinidade e calor, por meio da indução de mecanismos antioxidantes que reduzem os danos celulares causados por condições adversas.

No que diz respeito ao efeito elicitador de defesa, o óleo essencial é capaz de ativar genes relacionados à resistência sistêmica adquirida (RSA), fortalecendo as defesas naturais das plantas contra o ataque de fungos e bactérias. Paralelamente, sua ação antimicrobiana e

inseticida auxilia na redução da incidência de patógenos, como *Pyricularia oryzae*, agente causal da brusone do arroz, além de atuar como repelente de insetos-praga, incluindo percevejos e lagartas, contribuindo assim para um manejo mais sustentável e menos dependente de defensivos químicos.

2.4.2 Cuidados e limitações

Diversos estudos têm relatado possíveis benefícios associados ao uso de bioestimulantes e compostos naturais na cultura do arroz. Entre esses efeitos positivos, destaca-se o maior vigor das plântulas, resultando em melhor emergência e maior uniformidade no estande inicial. O estímulo ao crescimento radicular também é um ponto relevante, pois proporciona melhor aproveitamento da água e dos nutrientes disponíveis no solo, favorecendo o desenvolvimento das plantas mesmo em condições limitantes.

Além disso, observa-se um aumento na tolerância ao estresse oxidativo, graças à ativação de mecanismos fisiológicos e bioquímicos de defesa. Outro benefício importante é a redução na necessidade de uso de fungicidas e inseticidas sintéticos, o que contribui para práticas agrícolas mais sustentáveis e de menor impacto ambiental. Em conjunto, esses fatores podem resultar em um potencial incremento da produtividade, especialmente em situações de estresse ou condições adversas de cultivo.

2.4.3 Formas de aplicação estudadas

A aplicação do produto no tratamento de sementes contribui para o aumento do vigor e da resistência inicial das plântulas. Quando utilizada por pulverização foliar, a substância atua na indução de mecanismos de defesa contra patógenos e pode estimular o metabolismo da planta. Já a aplicação no solo favorece o desenvolvimento da microbiota benéfica e promove o crescimento radicular.

2.5 Cultivar BRS A502

Lançada em 2020 pela Embrapa Arroz e Feijão, a cultivar BRS A502 foi desenvolvida para ser de sequeiro, porém se adapta bem em solos irrigados sob pivô central, seu ciclo é médio com cerca de 101 a 110 dias do plantio até maturidade, com florescimento por volta de 76 dias. Tem porte mais baixo (\approx 98 cm), o que contribui para menor

acumulação, sua senescência é tardia e possui produtividade média com cerca de 4.000 kg/ha em condições normais, com potencial produtivo de alcançar 9.000 kg/ha em condições muito favoráveis. Os grãos são do tipo classe longo fino, baixa intensidade de grãos gessados, boa translucidez e grãos soltos. Alta estabilidade de rendimento de grãos inteiros ($\approx 67\%$) no beneficiamento.

Em Alagoas o programa “Mais Arroz”, vem testando novas variedades para melhorar a produção nos plantios irrigados do Baixo São Francisco e fortalecer a cadeia rizícola no estado. A região do Baixo São Francisco tem solos irrigados e práticas agrícolas consolidadas, embora exista espaço para novas cultivares que melhorem produtividade, resistência a doenças e melhor adaptada a condições climáticas.

Com base nessas características, a cultivar BRS A502 apresenta bom potencial de cultivo em Alagoas, destacando-se em diferentes condições de manejo. Ela se adapta bem a áreas de terras altas ou sequeiro bem drenadas, desde que o solo seja fértil e devidamente corrigido. Em sistemas irrigados, a BRS A502 também se mostra promissora, especialmente quando há controle eficiente da lâmina d'água ou possibilidade de irrigação por pivô, já que responde positivamente a esses manejos. Além disso, a cultivar pode ser utilizada como alternativa ou complemento em rotações de culturas, contribuindo para o aumento da produtividade, particularmente em explorações comerciais que adotem práticas de manejo adequadas.

2.6 Fenotipagem

Pesquisas recentes têm demonstrado que bioestimulantes podem modular respostas fenotípicas em diferentes culturas. Em trigo, por exemplo, extratos de algas aumentam o índice de vegetação medido por sensores multiespectrais (SMITH et al., 2021). Em milho, microrganismos promotores de crescimento mostraram incremento em parâmetros de fluorescência da clorofila, correlacionados com maior produtividade (SILVA et al., 2022).

Contudo, em arroz, estudos ainda são incipientes, indicando a necessidade de pesquisas que integrem bioestimulantes e fenotipagem de alta eficiência para gerar informações aplicáveis ao manejo agrícola.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e condições experimentais

O experimento foi montado em casa de vegetação do Laboratório de Fitotecnia no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, AL, Brasil, no período de 24 de março de 2025 a 20 de abril de 2025. Foram preparados em sacos plásticos com 3 sementes cada.

3.2 Material vegetal

Foram utilizadas sementes de arroz da cultivar de arroz BRS A502, e para obtenção das concentrações do óleo essencial, utilizou-se a proporção de 1:1 de polisorbato para um de óleo essencial. Os óleos foram o óleo essencial de *Eucalyptus globulus* e também o óleo essencial de *Eucalyptus citriodora*.

3.3 Tratamento

O Delineamento experimental foi o Inteiramente Casualizado (DIC), com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando 20 parcelas experimentais de arroz para cada bioestimulante testado.

T1: Controle (Água destilada)

T2: Concentração A (Óleo essencial de eucalipto 0,25%)

T3: Concentração B (Óleo essencial de eucalipto 0,50%)

T4: Concentração C (Óleo essencial de eucalipto 0,75%)

T5: Concentração D (Óleo essencial de eucalipto 1%)

3.4 Procedimento

Inicialmente realizou-se a assepsia das sementes, bancadas e utensílios com álcool 70%, conforme as Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009). As sementes foram imersas em álcool por um minuto, lavadas em água corrente (BRASIL, 2025) e, em seguida, embebidas nas soluções de bioestimulantes por cinco minutos (200 sementes por

tratamento) as soluções foram preparadas utilizando-se uma seringa para medir as dosagens de óleo essencial e Tween 80, em proporção 1:1, nas concentrações de 0,25; 0,50; 0,75 e 1,0 mL de óleo essencial, completando o volume com água destilada até 100 mL. As misturas foram homogeneizadas para garantir diluição uniforme e posteriormente submetidas ao teste de emergência; As sementes foram postas para germinar em saquinhos com vermiculita, contendo cada saco 3 sementes. O experimento ficou em temperatura ambiente na casa de vegetação. Foram consideradas emergentes as sementes que originaram plântulas normais, com todas as suas estruturas essenciais desenvolvidas. As contagens diárias foram efetuadas no mesmo horário, o período de avaliação foi por dezoito dias, tendo início a partir do quinto dia após a implantação do experimento (BRASIL, 2025). Contagem de emergência foi realizada em sete dias. Sendo feita as leituras diariamente até o término do experimento (18º dia). Comprimento de raiz foi medido da ponta da raiz ao ápice da folha, após 18 dias essas mudas foram levadas para o Laboratório de Fitotecnia, para ser analisada a matéria seca, onde foi colocada em papel kraft para ser secada em estufa durante 24h a 80°, após a secagem foi pesada em balança analítica de precisão com 4 casas decimais.

3.5 Variáveis Analisadas

Para avaliação da qualidade fisiológica das sementes de arroz, foram utilizadas as variáveis de primeira Contagem Emergência (PCE), Emergência (E), Índice de Velocidade de Emergência (IVE), Tempo Médio de Emergência (TME), Sincronia e Incerteza de Emergência (Z) e (U), além das variáveis de Comprimento e Massa Seca de Parte Aérea e Raiz (CPA), (CPRAIZ), (MAS) e (MSRAIZ) respectivamente.

3.6 Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey para comparação de médias ($p < 0,05$). Para a análise exploratória multivariada dos dados, foi utilizado o ambiente de programação Python 3.12.7. As bibliotecas utilizadas foram: Pandas, NumPy, Seaborn, Matplotlib e SciPy. Os dados foram previamente normalizados (z-score) para permitir a comparação entre variáveis com diferentes magnitudes. Em seguida, foi gerado um mapa de calor com dendrograma (heatmap com clustering hierárquico), evidenciando os padrões de similaridade entre variáveis fisiológicas e entre os tratamentos testados.

4 RESULTADOS

A análise de variância (ANOVA) revelou efeito significativo ($p < 0,05$) das diferentes concentrações dos óleos essenciais de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus citriodora* sobre a emergência e o vigor das mudas de arroz. Em ambos os casos, as concentrações intermediárias 0,50% e 0,75% possibilitaram os melhores desempenhos para o uso dos óleos essenciais de *E. globulus* e *E. citriodora*, respectivamente, com maiores resultados de emergência (E), primeira contagem (PCE) e Índice de Velocidade de Emergência (IVE), e comprimento da parte aérea (CPA) de mudas de arroz (Tabelas 1 e 2).

Essas doses também reduziram o tempo médio de emergência (TME) e aumentaram o índice de sincronia de emergência (ISE) do estande, indicando maior uniformidade e vigor fisiológico das plantas. Já a concentração de 1,0%, resultou em leve queda nos parâmetros avaliados, sugerindo possível efeito fitotóxico (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Efeito do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* na emergência (E), primeira contagem de emergência (PCE), Índice de Velocidade de Emergência (IVE), índice de sincronia de emergência (ISE), comprimento de muda (CM) e massa seca de mudas (MSM) de arroz.

Concentração (%)	E(%)	PCE(%)	IVE	ISE	CM (mm)	MSM (g)
Controle	90 A	75 B	5,122 B	0,5 B	12,3 B	0,127 B
0,25	90 A	40 C	3,123 D	0,3 C	9,2 C	0,099 C
0,50	93 A	89 A	7,894 A	0,7 A	15,4 A	0,256 A
0,75	87 B	39 C	4,24 C	0,3 C	7,8 D	0,087 D
1,0	67 C	31 C	2,156 E	0,1 D	5,2 E	0,032 E
Valor de F	11,02**	9,13**	5,45**	9,08**	7,65**	13,57**

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Significativo a 1% de probabilidade.

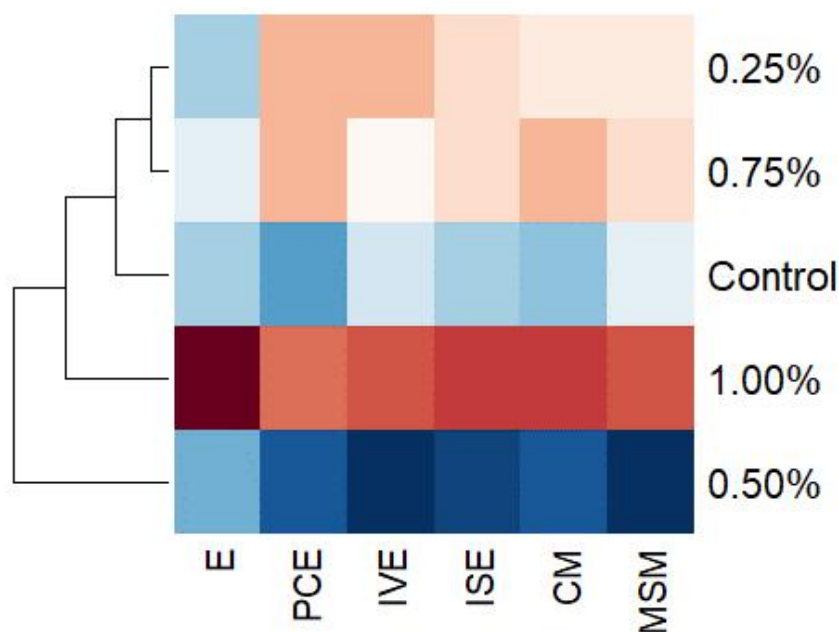
Considerando o efeito do óleo essencial de *E. globulus* sob a formação das mudas de arroz, através da análise multivariada, observou-se que a concentração de 0,50% permitiu maior emergência de plântulas nos primeiros cinco dias de cultivo, bem como, a formação de mudas mais vigorosas aos 18 dias de avaliação, diferindo significativamente em relação aos outros tratamentos, e principalmente ao controle. Efeito notado no dendrograma, pela tonalidade do azul (Figura 1).

Tabela 2. Efeito do óleo essencial de *Eucalyptus citriodora* na emergência (E), primeira contagem de emergência (PCE), Índice de Velocidade de Emergência (IVE), índice de sincronia de emergência (ISE), comprimento de muda (CM) e massa seca de mudas (MSM) de arroz.

Concentração (%)	E(%)	PCE(%)	IVE	ISE	CM (mm)	MSM (g)
Controle	90 B	75 B	5,122 B	0,5 B	12,3 B	0,127 B
0,25	85 C	36 D	2,020 C	0,3 C	6,8 E	0,083 D
0,50	89 B	38 C	2,012 D	0,2 D	8,1 C	0,095 C
0,75	92 A	88 A	8,793 A	0,8 A	15,3 A	0,242 A
1,0	68 D	32 E	3,003 C	0,3 C	7,5 D	0,090 C
Valor de F	10,01**	10,24**	4,34**	10,19**	8,66**	14,68**

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

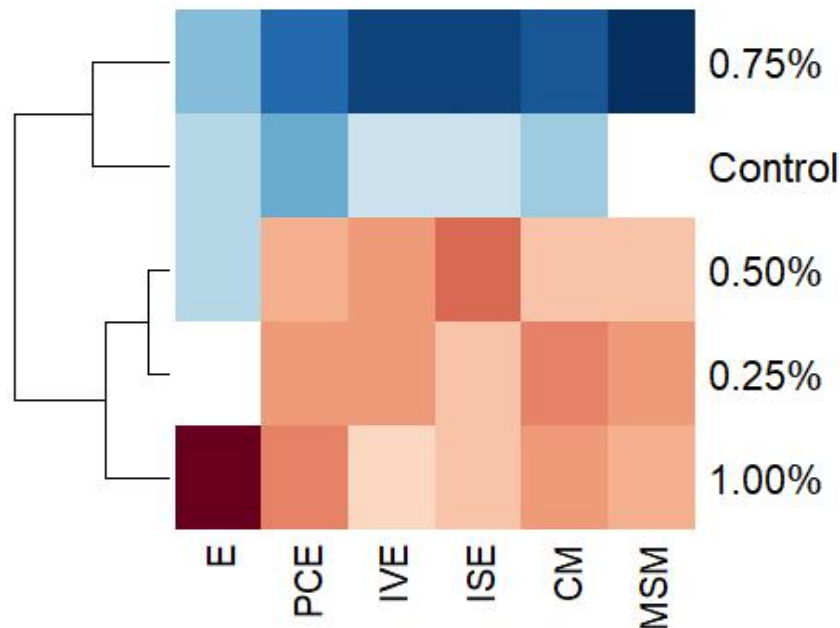
**Significativo a 1% de probabilidade.



Fonte: Autor, 2025.

Figura 1. Dendrograma para análise multivariada do efeito do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* sobre a emergência e formação de mudas de arroz.

Para o óleo de *E. citriodora*, constatou-se que na concentração de 0,75% seria possível a formação de mudas mais vigorosas para transplântio, uma vez que nessa concentração, todas as variáveis analisadas apresentaram resultados maiores tanto em relação ao controle, como aos demais tratamentos. Também notados pelas tonalidades de azul mais escuro. Ressalta-se ainda, o efeito fitotóxico da concentração de 1,0% na emergência das plântulas, representado no dendrograma pela coloração vermelho escuro (Figura 2).



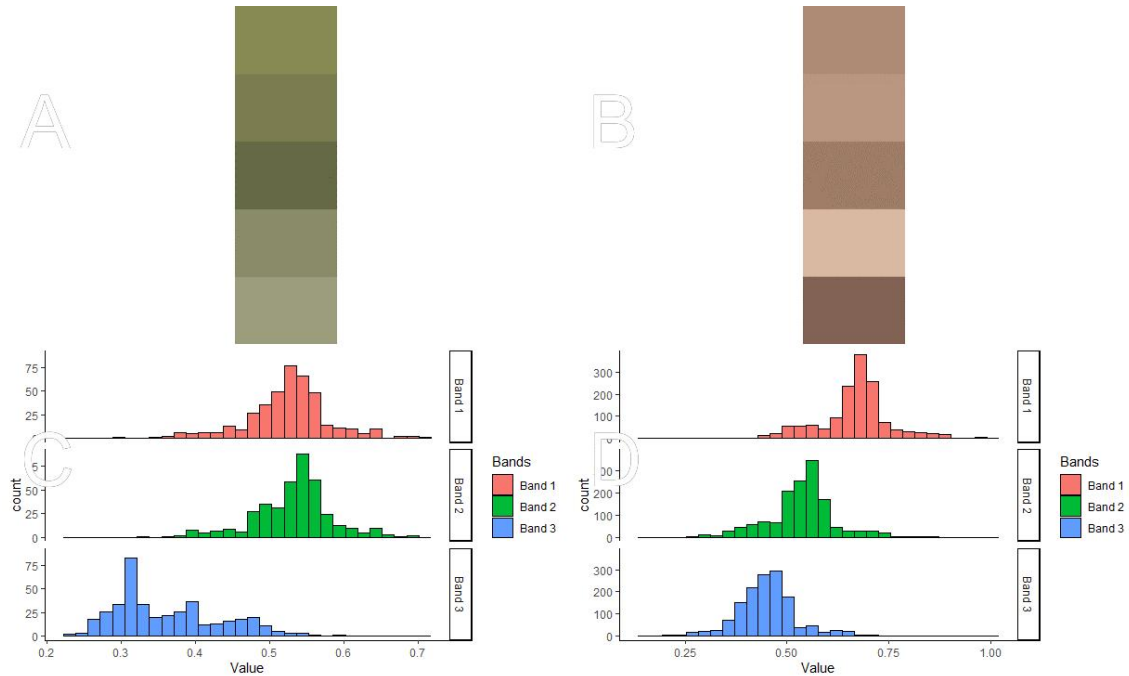
Fonte: Autor, 2025.

Figura 2. Dendrograma para análise multivariada do efeito do óleo essencial de *Eucalyptus citriodora* sobre a emergência e formação de mudas de arroz.

Observou-se a paleta de cores da parte aérea e da raiz das mudas de arroz, nas melhores concentrações, 0,50 e 0,75%, dos óleos de *E. globulus* e *E. citriodora*, respectivamente, e seus histogramas de frequência, através das imagens multiespectrais ou RGB, sendo o histograma separado por canais. Para a parte aérea, canais vermelho e verde, os valores variaram de 0,40 a 0,60, com um pico de frequência de aproximadamente 75 pixels, em torno de 0,55, indicando a presença de tons medianos a escuros de vermelho e verde na imagem. No canal azul, os valores variaram de 0,3 a 0,5, com pico de mais de 75 pixels a 0,3, sugerindo tons azulados escuros na imagem (Figura 3).

Pela paleta de cores das raízes das plantas de arroz, e considerando os histogramas de frequência dos três canais de cores, constatou-se para os canais de vermelho, verde e azul, respectivamente, faixas de valores entre 0,50 e 0,75, 0,30 e 0,55, e 0,30 e 0,60, e picos de

frequência de aproximadamente 300 pixels, a 0,65, 0,55 e 0,45. Esses resultados indicaram tons de verde e vermelho, variando de medianos a escuros, e tons de azul mais escuros nas imagens (Figura 3).



Fonte: Autor, 2025.

Figura 3. Paletas de cores e histogramas de frequência da parte aérea e da raiz das mudas de arroz oriundas das melhores concentrações, 0,50 e 0,75%, respectivamente, dos óleos de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus citriodora*.

As bandas RGB cobrem o espectro visível e fornecem informações valiosas sobre a fisiologia vegetal. Em fenotipagem por imagem, a análise da intensidade e distribuição espectral dessas bandas permite identificar variações sutis de cor e vigor, fundamentais para avaliar o efeito de bioestimulantes, por exemplo.

5 DISCUSSÃO

A análise multivariada (heatmap com dendrograma) confirmou a formação de dois agrupamentos principais: um associado às concentrações de 0,50 e 0,75%, correlacionado ao maior vigor e crescimento, e outro formado pelos tratamentos 0 e 1,0%, com desempenho fisiológico inferior. Esses resultados evidenciaram que as doses intermediárias de ambos os óleos essenciais favoreceram o desenvolvimento inicial das mudas de arroz.

Os resultados indicam que os óleos essenciais de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus citriodora* apresentam efeito bioestimulante sobre a emergência e o desenvolvimento inicial das sementes de arroz, corroborando pesquisas que relatam efeitos positivos de óleos essenciais sobre a fisiologia vegetal. Segundo Ferreira et al. (2023), compostos presentes no eucalipto, como o eucaliptol, cineol, citronelal, citronelol e geraniol podem estimular processos metabólicos relacionados à germinação, aumentando a atividade enzimática e favorecendo o crescimento radicular.

A melhora observada nas concentrações de 0,50% e 0,75% para os óleos essenciais de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus citriodora* respectivamente pode estar associada à ação antioxidante dos compostos fenólicos e terpenóides, que contribuem para o equilíbrio redox celular, prevenindo danos oxidativos em tecidos embrionários durante a emergência. Resultados semelhantes foram relatados por Silva et al. (2022), que observaram aumento no vigor e na emergência de sementes de feijão tratadas com baixas concentrações de óleo essencial de eucalipto.

De forma semelhante, Steffen, Antonioli e Steffen (2010) verificaram que o óleo essencial de *Eucalyptus grandis*, em baixas concentrações, promoveu maior germinação e crescimento inicial de mudas, evidenciando que concentrações intermediárias tendem a exercer efeito estimulante sobre o metabolismo vegetal. Esses autores ressaltam que os compostos voláteis do eucalipto podem atuar como reguladores fisiológicos, favorecendo o desenvolvimento radicular e a síntese de enzimas associadas à germinação.

Garbim et al. (2022) também observaram comportamento semelhante ao avaliar o efeito do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* sobre a germinação e crescimento de rabanete e alface. Os autores constataram que doses moderadas resultaram em leve estímulo à germinação, enquanto concentrações mais elevadas apresentaram efeito fitotóxico, reduzindo o crescimento das plântulas. Essa tendência de resposta dose-dependente foi confirmada por estudos de Barbosa et al. (2019), que avaliaram o óleo essencial de *Eucalyptus citriodora* e observaram que, embora pequenas doses possam atuar como bioestimulantes, o aumento da concentração leva à inibição da germinação e redução do vigor.

Esses resultados reforçam que os óleos essenciais de eucalipto possuem dupla ação: bioestimulante em doses adequadas e inibitória em níveis elevados, comportamento típico de compostos bioativos vegetais. A análise multivariada deste estudo também destacou a superioridade das concentrações intermediárias, demonstrando agrupamentos consistentes entre tratamentos favoráveis e interações positivas entre variáveis fisiológicas. Assim, confirma-se o potencial dos óleos essenciais de *Eucalyptus* como agentes naturais promotores de germinação e vigor em sementes de arroz, desde que aplicados em concentrações que maximizem os efeitos estimulantes e evitem a toxicidade.

A fenotipagem de plantas por meio de imagens tem se consolidado como uma ferramenta eficiente para avaliar os efeitos de bioestimulantes, possibilitando a quantificação não destrutiva de características fenotípicas associadas ao crescimento, desenvolvimento e vigor das plantas. Com a aplicação de bioestimulantes, como óleos essenciais, é possível acompanhar de maneira contínua e objetiva alterações em parâmetros como parte aérea e raiz das plantas.

Plataformas de imagem RGB, permitem coletar grandes volumes de dados fenotípicos. Técnicas de processamento de imagens e análise por machine learning ou inteligência artificial facilitam a detecção de diferenças sutis entre plantas tratadas com bioestimulantes e controles, que poderiam passar despercebidas em avaliações manuais (FIORANI; SCHURR, 2013; YANG et al., 2020). As imagens obtidas por câmeras RGB baseiam-se na combinação das bandas vermelha (R), verde (G) e azul (B), que capturam informações relacionadas à coloração. Essas bandas podem ser utilizadas para estimar parâmetros morfológicos, auxiliando na caracterização do desenvolvimento vegetal, que apresenta as principais aplicações das bandas RGB em fenotipagem de plantas, como exemplificado no quadro 1.

Além disso, essa abordagem possibilita monitorar o efeito dos bioestimulantes ao longo do tempo, avaliando respostas dinâmicas como aceleração da emergência, aumento de vigor, expansão foliar e maior tolerância a estresses abióticos. Com isso, a fenotipagem por imagem uni alta precisão, reprodutibilidade e escalabilidade, acelerando a seleção de tratamentos promissores e fornecendo dados quantitativos para pesquisas em fitotecnia e agricultura sustentável (ARAUS; CAIRNS, 2014; POUND et al., 2014).

Quadro 1. Bandas RGB e suas aplicações em fenotipagem de plantas.

Banda	Faixa de comprimento de onda (nm)	Frequência aproximada (THz)	Principais aplicações em fenotipagem
B	450 – 495	606 – 668	Detecta pigmentos como antocianinas; auxilia na análise de crescimento inicial e vigor de plântulas; sensível à espessura foliar.
G	495 – 570	526 – 606	Relaciona-se à refletância da clorofila; usada para avaliar a saúde foliar e o estado nutricional das plantas.
R	620 – 750	400 – 484	Essencial para estimar teores de clorofila e fotossíntese; permite identificar estresse por deficiência ou excesso de nutrientes.

Fonte: Adaptado de Li et al. (2014), Araus e Cairns (2014), Makanza et al. (2018), Pérez-Ortiz et al. (2016) e Furbank e Tester (2011).

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que os óleos essenciais de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus citriodora* apresentam efeito bioestimulante no arroz, com melhor desempenho nas concentrações intermediárias (0,50% e 0,75%), enquanto 1% mostrou fitotoxicidade. Dessa forma, concentrações moderadas dos óleos representam uma alternativa promissora para promover a emergência, vigor, uniformidade e crescimento inicial das plântulas de arroz.

A aplicação desses compostos em níveis adequados constitui uma estratégia natural e sustentável para o tratamento de sementes, favorecendo a qualidade fisiológica e o desenvolvimento inicial das plantas. O uso do óleo essencial de eucalipto em doses moderadas também contribui para práticas agrícolas mais sustentáveis reduzindo a dependência de insumos químicos e apresentando potencial para integração em programas de produção de sementes de alta qualidade fisiológica.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEBE, A. M.; KIM, Y.; KIM, J.; KIM, S. L.; BAEK, J. *Image-based high-throughput phenotyping in horticultural crops*. *Plants*, v. 12, p. 2061, 2023.
- ALVES, M. C.; SILVA, L. J.; COSTA, R. S. Efeito de óleos essenciais na germinação e desenvolvimento inicial de plântulas. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 43, n. 2, p. 110–118, 2020.
- Araus, J. L., & Cairns, J. E. (2014). Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. *Trends in Plant Science*, 19(1), 52–61
- ASSAEIFAR, M.; HOSSEINI, N.; HAJI HASANI ASL, N.; ZANDI, P.; MORADI AGHDAM, A. Allelopathic effect of *Eucalyptus globulus*' essential oil on seed germination and seedling establishment of *Amaranthus blitoides* and *Cynodon dactylon*. *Trakia Journal of Sciences*, v. 11, n. 1, p. 73-81, 2013.
- BAILEY-SERRES, J.; LEE, S. C.; BRACKEN, C. S. *Submergence tolerance in rice: SUB1A confers survival by limiting ethylene production and elongation growth*. *Trends in Plant Science*, v. 15, n. 5, p. 274–282, 2010.
- BOUMAN, B. A. M. *et al. Water management in irrigated rice: coping with water scarcity*. Los Baños: International Rice Research Institute, 2007.
- BRASIL. Regras para análise de sementes. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, 2009
- BRASIL. Lei nº 14.475, de 14 de dezembro de 2022. Dispõe sobre a definição e registro de bioestimulantes no Brasil. Diário oficial da união, Brasília, DF, 2022
- ČMIKOVÁ, N.; et al. Chemical composition and biological activities of *Eucalyptus globulus* essential oil (EGEO). [S.l.]: MDPI, 2023. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10004840/>. Acesso em: 18 de outubro 2025.
- CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P. *Arroz: ecofisiologia e manejo da cultura*. In: CASTRO, P. R. C. (Org.). *Fisiologia vegetal: práticas de fisiologia vegetal*. Piracicaba: FEALQ, 2007. p. 421–445.
- DU JARDIN, P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, v. 196, p. 109–119, 2015.
- EMBRAPA. *Arroz e Feijão: Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil*. Brasília: Embrapa, 2019.
- EMBRAPA Arroz e Feijão, comunicado técnico 253 <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1124146/1/CNPAF-2020-CT253.pdf> consultado em 01/10/2025

- EMBRAPA. Sistema de Cultivo arroz irrigado no Brasil. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/744542/1/sistema03.pdf> Brasília, DF, 2023.
- EMBRAPA. *Cultivo de arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil*. 10. ed. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 204 p.
- ERTANI, A.; LORENZI, R.; MINGOZZI, M.; et al. The role of biostimulants and bio-effectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, v. 4, p. 5, 2017.
- FAGERIA, N. K. *Rice: Ecology and Physiology of Yield and Production*. Boca Raton: CRC Press, 2007.
- FAGERIA, N. K. *Salt tolerance of rice cultivars*. *Plant and Soil*, v. 88, n. 2, p. 237–243, 1985.
- FAGERIA, N. K. *Mineral nutrition of rice*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- Fiorani, F., & Schurr, U. (2013). Future scenarios for plant phenotyping. *Annual Review of Plant Biology*, 64, 267–291.
- GOVERNO DO ESTADO DE ALAGOAS. Produção de arroz tem potencial de crescer mais de 40 % com investimentos do Governo de Alagoas. Secretaria de Estado da Agricultura e do Desenvolvimento Agrário, Alagoas, jan. 2025. Disponível em: <https://www.agricultura.al.gov.br/noticia/586-producao-de-arroz-tem-potencial-de-crescer-mais-de-40-com-investimentos-do-governo-de-alagoas-2.com> Acesso em: 18 out. 2025.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção agrícola municipal 2024: arroz*. Estimativa para a produção de cereais, leguminosas e oleaginosas. Agência de Notícias : IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 04 set. 2025
- INVESTINDO POR AÍ. Safra de arroz em Alagoas atinge 23,4 mil toneladas e recebe financiamento recorde. 31 jul. 2024. Disponível em: <https://investindoporai.com.br/especial-safra-de-arroz-em-alagoas-atinge-234-mil-toneladas-e-recebe-financiamento-recorde.com> Acesso em: 18 out. 2025.
- ISMAIL, A. M.; SINGH, U. S.; SINGH, S.; DAR, M. H.; SENGUPTA, K. *The contribution of stress-tolerant rice varieties to food security in sub-Saharan Africa*. *Field Crops Research*, v. 152, p. 39–47, 2013.
- JAGADISH, S. V. K.; CRAUFURD, P. Q.; WHEELER, T. R. *High temperature stress and spikelet fertility in rice (Oryza sativa L.)*. *Journal of Experimental Botany*, v. 58, n. 7, p. 1627–1635, 2007.
- LI, J.; Wang, W.; Sheng, Y.; Anwar, S.; Su, X.; Nian, Y.; Yue, H.; Ma, Q.; Liu, J.; Li, X. *Rice Yield Estimation Based on Cumulative Time Series Vegetation Indices of UAV MS and RGB Images*. *Agronomy*, v. 14, n.12, 2956, 2024. Acesso: 19 de outubro de 2025 <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/12/2956> MDPI
- LIU, X.; BLAH-BLAH (etc.). *High-throughput phenotyping platform for analyzing drought tolerance in rice*. Planta, 2020.

MACÍAS, A. F.; et al. Chemical composition and phytotoxic potential of *Eucalyptus globulus* essential oil against *Lactuca sativa* and two herbicide-resistant weeds *Avena fatua* and *Amaranthus hybridus*. [S.l.]: [s.n.], 2021. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7943212.pdf>. Acesso em: 17 de outubro de 2025.

MOVIMENTO ECONÔMICO. Com produção em alta, AL quer ampliar cultivo de arroz em canaviais. Maceió, 03 fev. 2025. Disponível em: <https://movimentoeconomico.com.br/estados/alagoas/2025/02/03/com-producao-em-alta-al-quer-ampliar-cultivo-de-arroz-em-canaviais.com> Acesso em: 18 out. 2025.

MUNNS, R.; TESTER, M. *Mechanisms of salinity tolerance*. Annual Review of Plant Biology, v. 59, p. 651–681, 2008.

OLIVEIRA, F. L.; SANTOS, G. M.; LIMA, R. A. Influência de óleos essenciais no desempenho fisiológico de sementes de arroz. *Journal of Seed Science*, v. 44, n. 3, p. 245–254, 2022.

OUATTARA, S.; ITOLOU, A.; ZOUGRANA, S.; et al. Efficacy of essential oil formulations in rice seed treatment against *Magnaporthe oryzae*. *American Journal of BioScience*, v. 12, n. 2, p. 45–54, 2024.

QIU, Z.; Ma, F.; Li, Z.; Xu, X.; Du, C. *Development of Prediction Models for Estimating Key Rice Growth Variables Using Visible and NIR Images from Unmanned Aerial Systems*. Remote Sensing, v.14, n.6, 1384, 2022. Acesso: 19 de outubro 2025 <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/6/1384>

RABELO, Raimundo R.; Santos, Ana Lúcia C. dos; Silva, Bento C. da; Freire, João B.; A cadeia produtiva orizícola do Baixo São Francisco: Antecedentes, situação atual, perspectiva e atuação de alguns componentes. Embrapa, Brasília, DF, 1ª edição p. 11, 2013

RODRIGUES, A.A.C., & MENEZES, H.C. (2020). Óleos essenciais no controle de doenças de plantas: avanços e perspectivas. *Ciência Rural*, 50 (4).

SANTOS, A. B.; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A. (Eds.). *A cultura do arroz no Brasil*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006.

SIBLE, C. N.; SEEBUER, J. R.; BELOW, F. E. Plant Biostimulants: A Categorical Review, Their Implications for Row Crop Production, and Relation to Soil Health Indicators. *Agronomy*, v. 11, n. 7, p. 1297, 2021.

SILVA, J. P. Oliveira, A.R.; MENDES, F.L. Efeitos de microrganismos promotores de crescimento em arroz irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 46, p. 1-12, 2022.

SNITH, A.; JOHNSON, P.; WANG, Y. High-throughput phenotyping of wheat under biostimulant application. *Plant Physiology and Biochemistry*, Paris, v. 159, p. 78–88, 2021.

STEFFEN, R. B.; ANTONIOLLI, Z. I.; KIST, G. P. Efeito estimulante do óleo essencial de eucalipto na germinação e crescimento inicial de mudas de *Eucalyptus grandis*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 30, n. 63, p. 199–206, 2010.

SUN, D.; CEN, H.; WENG, H.; et al. Using hyperspectral analysis as a potential high-throughput phenotyping tool in GWAS for protein content of rice quality. *Plant Methods*, v. 15, p. 54, 2019.

TANAKA, Y. H.; SATO, Y.; KIMURA, T.; et al. Deep learning enables instant and versatile estimation of rice yield using ground-based RGB images. *Plant Phenomics*, v. 5, p. 1–13, 2023. DOI: 10.34133/plantphenomics.0112

UGA, Y.; FUKAI, S.; TSUKAGOSHI, H.; et al. High-throughput phenotyping for early growth traits in rice seedlings. *Plant Physiology*, v. 182, n. 2, p. 894–906, 2020.

Yang, W., Duan, L., Chen, G., Xiong, L., & Liu, Q. (2020). Plant phenomics and high-throughput phenotyping: accelerating rice functional genomics using multidisciplinary technologies. *Current Opinion in Plant Biology*, 54, 35–44.

YOSHIDA, S. *Fundamentals of rice crop science*. Los Baños: International Rice Research Institute, 1981.

ZHANG, L. HUANG, X.; WANG, J. Seaweed extracts improve growth and stress tolerance in rice. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 39, p. 1120–1131, 2020.

8 ANEXOS E APÊNDICES

As imagens apresentadas neste apêndice ilustram a morfologia da parte aérea e do sistema radicular de plântulas de arroz submetidas aos tratamentos com diferentes concentrações de óleo essencial de eucalipto. O registro visual foi realizado para complementar a análise fenotípica e evidenciar o efeito dos bioestimulantes sobre o crescimento inicial das plantas. Observa-se variação no desenvolvimento entre os tratamentos, principalmente quanto ao comprimento e vigor das raízes, bem como altura das folhas. Essas imagens permitem uma avaliação comparativa qualitativa do desempenho das plântulas e reforçam os resultados quantitativos obtidos nas análises biométricas, contribuindo para a compreensão do potencial bioestimulante do óleo essencial de eucalipto na cultura do arroz.

- Óleo de *Eucalyptus globulus*

Imagem 1 - Controle

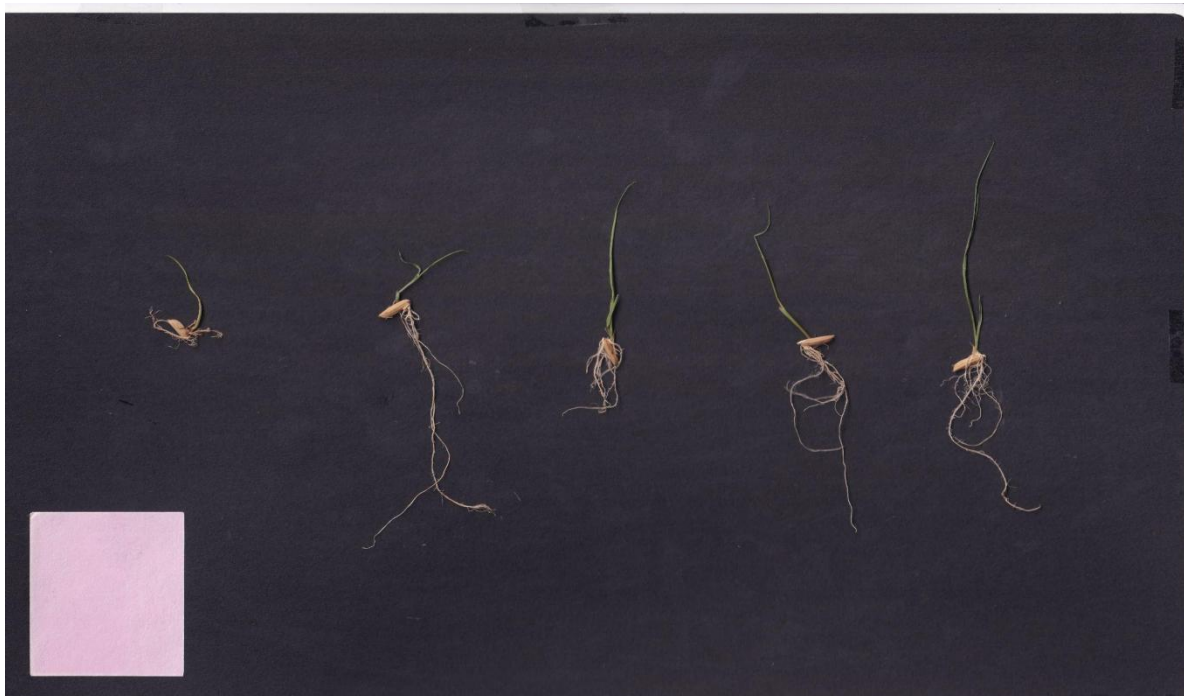


Imagem 2 - Concentração 0,25%



Imagem 3 - Concentração 0,5%



Imagem 4 - Concentração 0,75%

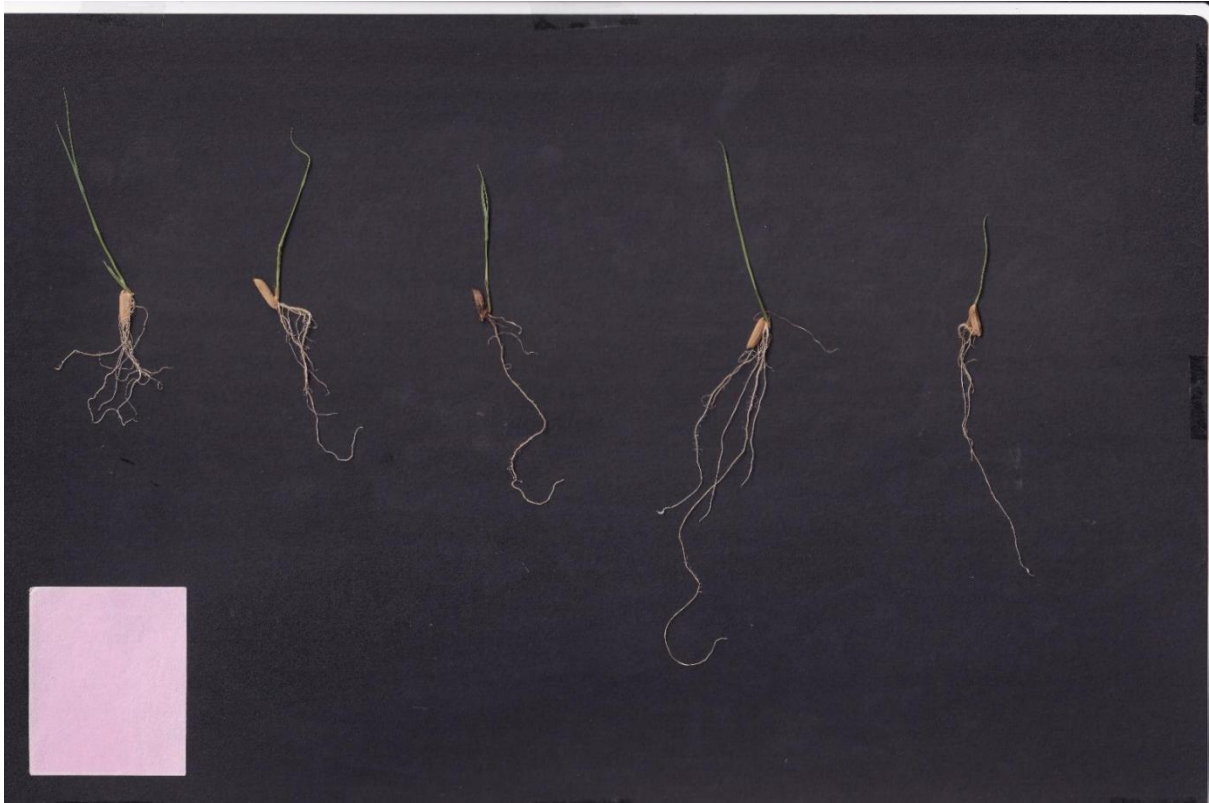
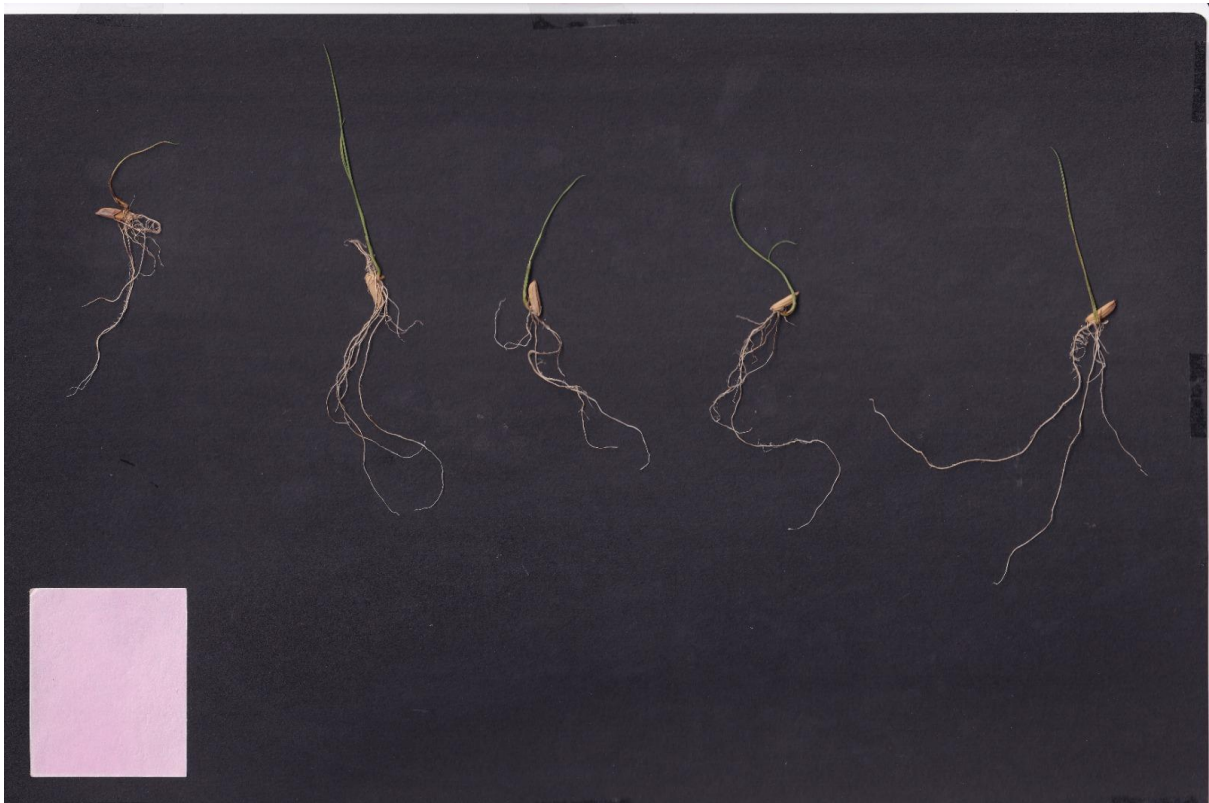


Imagem 5 - Concentração 1%



Óleo Essencial *Eucalyptus citriodora*

Imagem 6 -Controle



Imagem 7 - Concentração 0,25%



Imagem 8 - Concentração 0,50%

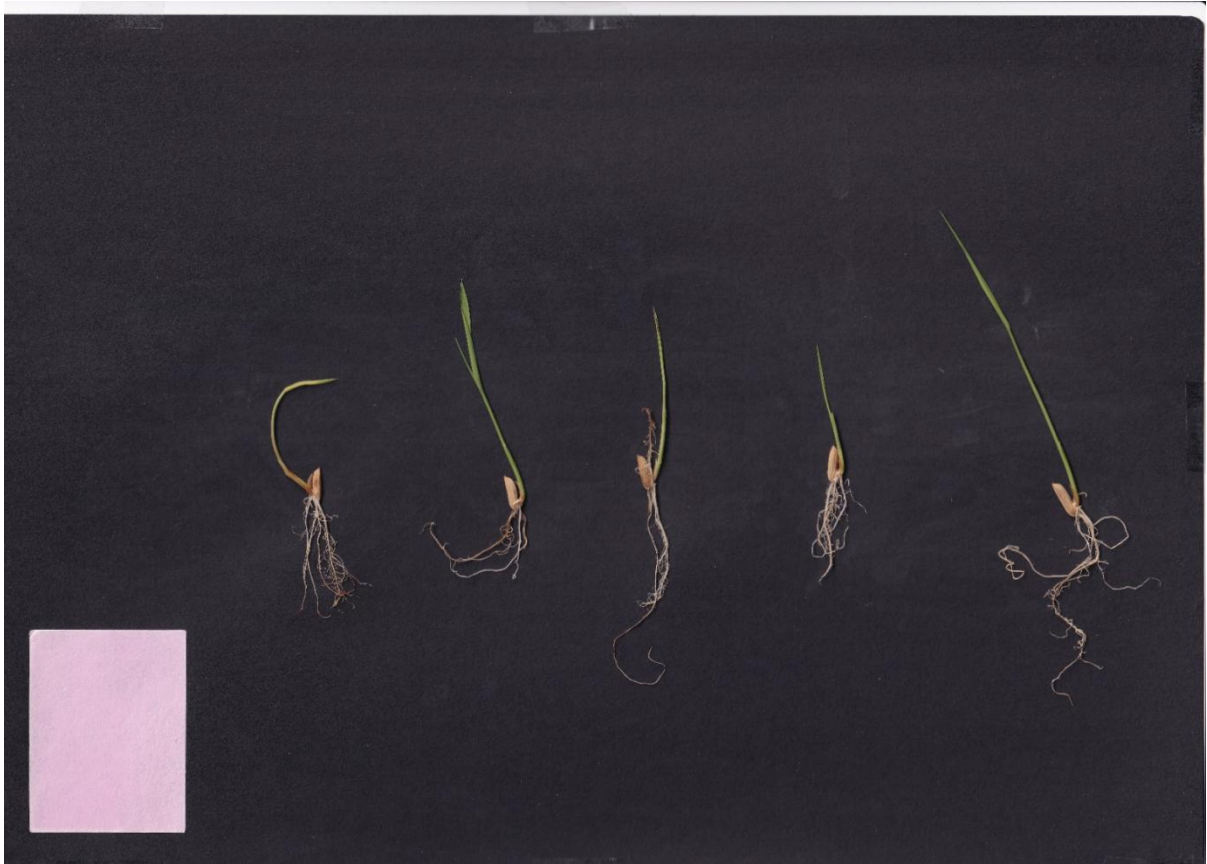


Imagem 9 - Concentração 0,75%



Imagem 10 - Concentração 1%

