

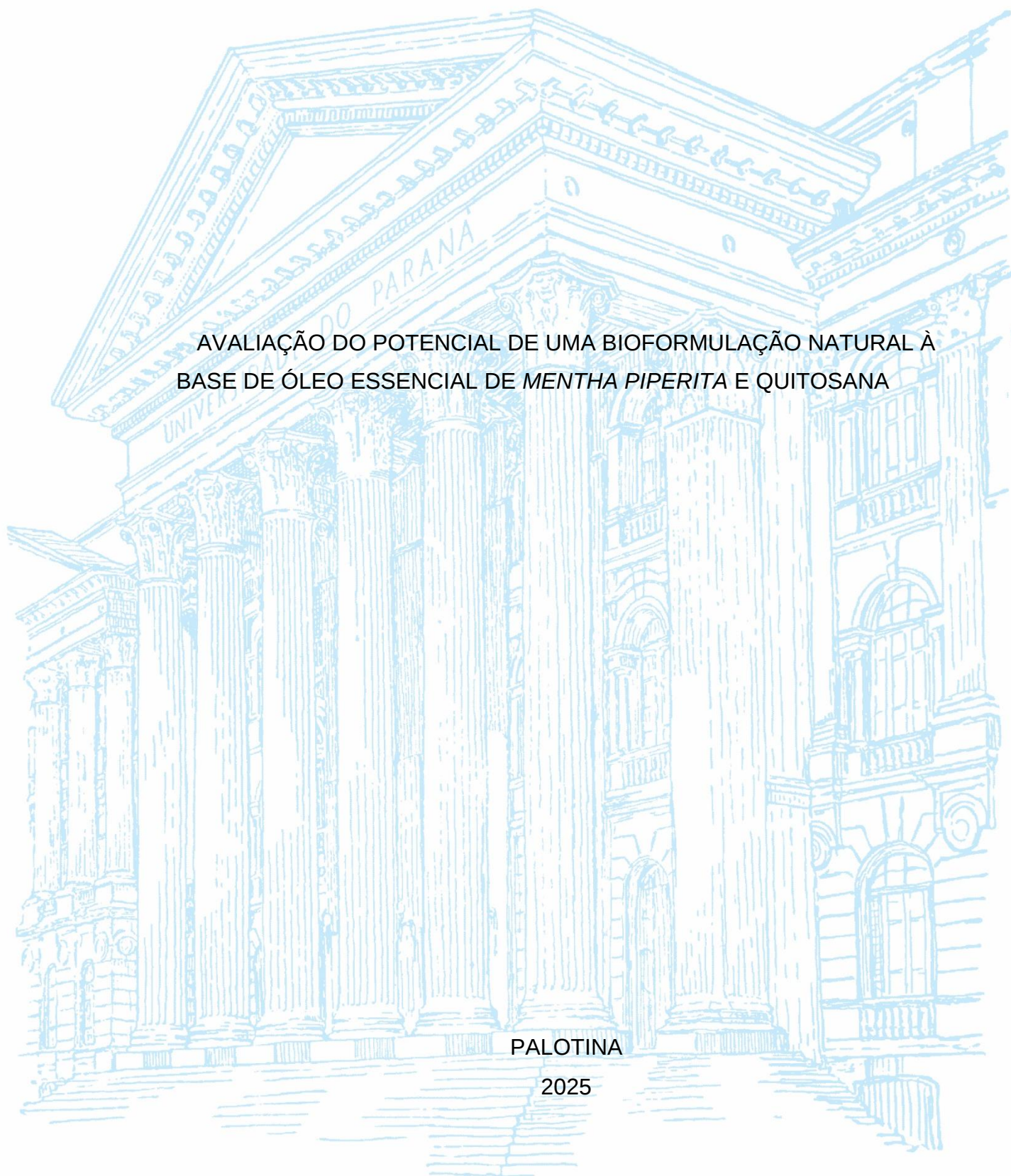
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINE VITÓRIA RODRIGUES

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UMA BIOFORMULAÇÃO NATURAL À
BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE *MENTHA PIPERITA* E QUITOSANA

PALOTINA

2025



Caroline Vitória Rodrigues

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UMA BIOFORMULAÇÃO NATURAL À
BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE *MENTHA PIPERITA* E QUITOSANA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Setor de Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia.

Orientadora: Prof^a Dra. Patrícia da Costa Zonetti

PALOTINA

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
Rua Pioneiro, 2153, - - Bairro Jardim Dallas, Palotina/PR, CEP 85950-000
Telefone: 3360-5000 - <https://ufpr.br/>

ATA DE REUNIÃO

Aos quatro dias do mês de julho do ano de dois mil e vinte e cinco, às dezenove horas, na Sala 17 do Bloco Didático VI, Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, realizou-se a Defesa Pública e Oral do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado "Avaliação do potencial de uma Bioformulação natural à base de óleo essencial de *Mentha piperita* e quitosana" apresentado pela discente Caroline Vitória Rodrigues, orientada pela Profa. Dra. Patricia da Costa Zonetti, como um dos requisitos obrigatórios para conclusão do curso de graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Iniciados os trabalhos, a orientadora e Presidente da Banca concedeu a palavra à discente, para exposição do seu trabalho. A seguir, foi concedida a palavra em ordem sucessiva aos membros da Banca de Exame, os quais passaram a arguir a discente. Ultimada a defesa, que se desenvolveu nos termos normativos, a Banca de Exame, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo atribuído à discente as seguintes notas: Profa. Dra. Patricia da Costa Zonetti, nota: 100 (cem), Profa. Dra. Raquel Ströher, nota: 100 (cem), e Profa. Dra. Roberta Paulert, nota: 100 (cem). A nota final da discente, após a média aritmética dos três membros da banca de exame, foi 100 (cem). As considerações e sugestões feitas pela Banca de Exame deverão ser atendidas pela discente sob acompanhamento da orientadora. Nada mais havendo a tratar foi lavrada a presente ata, que, lida e aprovada, vai por todos assinada eletronicamente.



Documento assinado eletronicamente por **PATRICIA DA COSTA ZONETTI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/07/2025, às 09:37, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **RAQUEL STROHER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/07/2025, às 09:53, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **ROBERTA PAULERT, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 07/07/2025, às 10:30, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador 7926667 e o código CRC 76B53213.

À minha mãe, que me ensinou a não parar diante das dificuldades.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores e professoras que, de alguma forma, contribuíram para que este momento fosse possível. Ser professor é mais do que ensinar conteúdos – é despertar pensamentos, acender paixões e moldar caracteres. A cada um e cada uma que deixou sua marca na minha trajetória, meu sincero reconhecimento.

Em especial, à minha orientadora, professora Dra. Patrícia Zonetti, pela atenção cuidadosa, orientação segura e apoio ao longo deste processo. Também à professora Dra. Raquel Ströher, por sua competência e dedicação exemplar nas múltiplas funções que desempenha na coordenação do curso – te admiro.

Aos amigos que fiz no decorrer da graduação, com os quais espero continuar dividindo os rumos que a vida tomar.

À minha família, que tanto amo e que é a base de tudo em minha vida.

A mim, pela resiliência.

Por fim, a Deus – afinal, não foste tu que me deste força e me fizeste prosperar, e fizeste brilhar pelo teu poder o meu caminho?

A vida é a arte do encontro,
embora haja tanto desencontro pela vida.
(VINICIUS DE MORAES, 1967.)

RESUMO

A crescente demanda por alternativas sustentáveis na agricultura tem impulsionado o desenvolvimento de bioestimulantes naturais capazes de atuar na fisiologia vegetal, promovendo o crescimento, o vigor e a tolerância das plantas a estresses ambientais. Este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos fisiológicos de uma bioformulação natural composta por óleo essencial de hortelã (*Mentha piperita*), quitosana e um emulsificante de origem vegetal, sobre o desenvolvimento de alface (*Lactuca sativa* L.). Os experimentos foram conduzidos em laboratório, sob condições controladas de temperatura e fotoperíodo, utilizando-se um delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições por tratamento. Os aquênios de alface (*Lactuca sativa* L.) foram acondicionados em caixas gerbox com papel germitest previamente umedecido com as soluções dos tratamentos, sendo as concentrações testadas de 0,25%, 0,50%, 1,00% e 2,00%, além do controle com água destilada. As avaliações de germinação foram realizadas diariamente ao longo de sete dias, enquanto o crescimento inicial das plântulas foi mensurado ao final do período experimental, incluindo as variáveis: porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento total da plântula, biomassa fresca e biomassa seca. Os resultados mostraram que a concentração de 0,25% foi a mais promissora, não apresentando diferenças estatísticas em relação ao controle para todas as variáveis analisadas e promovendo, inclusive, leve incremento na biomassa fresca. Em contrapartida, as concentrações de 1,00% e 2,00% reduziram significativamente a germinação, o IVG e o crescimento das plântulas, indicando efeito fitotóxico em doses elevadas. Conclui-se que a formulação proposta apresenta potencial bioestimulante quando aplicada em baixas concentrações, reforçando a importância do ajuste de dose para evitar efeitos inibitórios e ampliar os benefícios fisiológicos às plantas.

Palavras-chave: Bioinsumo; hortelã; fitotratamento; germinação; crescimento vegetal.

ABSTRACT

The increasing demand for sustainable alternatives in agriculture has driven the development of natural biostimulants capable of influencing plant physiology by promoting growth, vigor, and tolerance to environmental stresses. This study aimed to evaluate the physiological effects of a natural bioformulation composed of peppermint essential oil (*Mentha piperita*), chitosan, and a plant-based emulsifier on the development of lettuce (*Lactuca sativa* L.). The experiments were conducted under controlled laboratory conditions of temperature and photoperiod, following a completely randomized design with five replicates per treatment. Lettuce achenes (*Lactuca sativa* L.) were placed in Gerbox boxes lined with germination paper previously moistened with the treatment solutions. The tested concentrations were 0.25%, 0.50%, 1.00%, and 2.00%, in addition to a control treatment with distilled water. Germination assessments were carried out daily for seven days, while seedling growth was measured at the end of the experimental period. The evaluated variables included germination percentage, germination speed index (GSI), total seedling length, fresh biomass, and dry biomass. Results indicated that the 0.25% concentration was the most promising, showing no significant differences from the control in any of the variables analyzed and even promoting a slight increase in fresh biomass. In contrast, the 1.00% and 2.00% concentrations significantly reduced germination, GSI, and seedling growth, indicating phytotoxic effects at higher doses. It is concluded that the proposed formulation has biostimulant potential when applied at low concentrations, highlighting the importance of dose optimization to avoid inhibitory effects and enhance physiological benefits to plants.

Keywords: Biologicals; peppermint; phytotreatment; germination; plant growth.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: LINHA DO TEMPO COM MARCOS HISTÓRICOS NA ADOÇÃO DE BIOINSUMOS AGRÍCOLAS NO BRASIL..	21
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG) DE AQUÊNIOS DE ALFACE (<i>LACTUCA SATIVA L.</i>) COM USO DE BIOFORMULAÇÃO À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE <i>MENTHA PIPERITA</i> E QUITOSANA.	34
GRÁFICO 2 – COMPRIMENTO DE PLÂNTULAS DE ALFACE (<i>LACTUCA SATIVA L.</i>) COM USO DE UMA BIOFORMULAÇÃO À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE <i>MENTHA PIPERITA</i> E QUITOSANA.	37
GRÁFICO 3 – BIOMASSA FRESCA DE PLÂNTULAS DE ALFACE (<i>LACTUCA SATIVA L.</i>) COM USO DE UMA BIOFORMULAÇÃO À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE <i>MENTHA PIPERITA</i> E QUITOSANA.	37

Lista de Tabelas

TABELA 1: PRINCIPAIS BIOESTIMULANTES NATURAIS UTILIZADOS NA AGRICULTURA, CULTURAS-ALVO E EFEITOS FISIOLÓGICOS RELATADOS NA LITERATURA.	24
TABELA 2 – VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS RESPOSTA DE PERCENTUAL DE GERMINAÇÃO E ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG) DE PLÂNTULAS DE ALFACE (<i>LACTUCA SATIVA L.</i>) COM USO DE UMA BIOFORMULAÇÃO À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE <i>MENTHA PIPERITA</i> E QUITOSANA NAS CONCENTRAÇÕES DE 1,00 E 2,00%.....	32
TABELA 3 – VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS RESPOSTA DE PERCENTUAL DE GERMINAÇÃO E ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG) DE PLÂNTULAS DE ALFACE (<i>LACTUCA SATIVA L.</i>) COM USO DE UMA BIOFORMULAÇÃO À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE <i>MENTHA PIPERITA</i> E QUITOSANA NAS CONCENTRAÇÕES DE 0,25 E 0,50%.....	33
TABELA 4 – VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS RESPOSTA CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE ALFACE (<i>LACTUCA SATIVA L.</i>) COM USO DE BIOFORMULAÇÃO À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE <i>MENTHA PIPERITA</i> E QUITOSANA NAS CONCENTRAÇÕES DE 1,00 E 2,00%.....	35
TABELA 5 – VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS RESPOSTA DE CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE ALFACE (<i>LACTUCA SATIVA L.</i>) COM USO DE BIOFORMULAÇÃO À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE <i>MENTHA PIPERITA</i> E QUITOSANA NAS CONCENTRAÇÕES DE 0,25 E 0,50%.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 ADICIONAL LEGAL E CONTEXTUALIZAÇÃO RECENTE.....	14
1.2 PROBLEMA	16
1.3 OBJETIVOS	17
1.3.1 Objetivo geral	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
1.4 JUSTIFICATIVA	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 AGRICULTURA SUSTENTÁVEL E O USO DE BIOINSUMOS	19
2.2 EVOLUÇÃO DO USO DE BIOINSUMOS NO BRASIL E NO MUNDO	20
2.3 MERCADO DE BIOESTIMULANTES: ADOÇÃO E CRESCIMENTO DO SETOR (2020–2025)	22
2.4 FORMULAÇÕES COMPLEXAS E SINERGISMO DE COMPOSTOS BIOATIVOS 23	
2.5 ÓLEO ESSENCIAL DE HORTELÃ (<i>MENTHA PIPERITA</i>).....	25
2.6 QUITOSANA COMO BIOESTIMULANTE VEGETAL	26
2.7 BIOATIVIDADE VEGETAL E MECANISMOS FISIOLÓGICOS NA GERMINAÇÃO	27
2.8 ALFACE (<i>LACTUCA SATIVA L.</i>) COMO ESPÉCIE MODELO.....	29
3 MATERIAL E MÉTODOS	30
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	32
4.1 GERMINAÇÃO E ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG).....	32
4.2 CRESCIMENTO DAS PLÂNTULAS.....	34
4.3 DISCUSSÃO	39
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	42
REFERÊNCIAS.....	43

1 INTRODUÇÃO

O uso de bioinsumos na agricultura tem se destacado como uma alternativa sustentável ao manejo convencional, promovendo benefícios não apenas à produtividade, mas também à saúde do solo e à redução da dependência de insumos químicos (Yakhin *et al.*, 2017). Nos últimos anos, a pressão por práticas agrícolas de menor impacto ambiental e maior eficiência tem impulsionado o avanço de tecnologias baseadas em bioinsumos.

Entre esses bioinsumos, os bioestimulantes ocupam uma posição de crescente importância por atuarem diretamente na fisiologia da planta, especialmente durante o estágio inicial de desenvolvimento, favorecendo processos como a germinação, o enraizamento, o crescimento inicial e a resistência a estresses abióticos (Faria Machado *et al.*, 2023).

A formulação de bioestimulantes a partir de compostos naturais ou resíduos agroindustriais está em sintonia com os princípios da economia circular, agregando valor a subprodutos considerados resíduos e contribuindo para a redução do impacto ambiental da agricultura (Yakhin *et al.*, 2017). Nesse contexto, cresce o interesse por formulações bioestimulantes compostas por misturas complexas de compostos bioativos naturais. Produtos que combinam diferentes tipos de substâncias – por exemplo, óleos essenciais, polissacarídeos e fosfolipídeos – podem apresentar efeitos sinérgicos que potencializam a atividade metabólica das plantas sob condições adversas (Santos *et al.*, 2013; Drobek *et al.*, 2019). Essas combinações estimulam respostas fisiológicas como a divisão celular, o alongamento radicular, a regulação estomática e o acúmulo de biomassa (Rehman *et al.*, 2017; Faria Machado *et al.*, 2023), muitas vezes de forma mais eficaz que a aplicação isolada de cada componente.

A compreensão dos processos fisiológicos envolvidos na germinação e no crescimento inicial é essencial para avaliar a eficácia de novos bioestimulantes. Durante a germinação, ocorrem eventos metabólicos fundamentais, como a imbebição da semente, a ativação de enzimas, intensa respiração celular e a mobilização de reservas nutritivas (Kerbaudy, 2013; Taiz *et al.*, 2017). Tais processos podem ser potencializados pela ação de determinados bioestimulantes, resultando em maior vigor e uniformidade de plântulas, além de maior tolerância a estresses.

Entre os compostos naturais utilizados em bioestimulantes, o óleo essencial de hortelã (*Mentha piperita*) destaca-se por sua ampla gama de propriedades biológicas – incluindo atividades antimicrobiana, antioxidante, anti-inflamatória, repelente de pragas e estimulante de processos metabólicos vegetais. Alguns monoterpenos presentes nesse óleo, como o mentol e a mentona, podem influenciar a germinação e o desenvolvimento inicial de diversas culturas, possivelmente afetando a permeabilidade de membranas e a atividade enzimática das sementes (Costa *et al.*, 2012; Soares; Velini, 2014; Hussein *et al.*, 2021). Já a quitosana, um polímero derivado da quitina, é reconhecida como elicitador em plantas, capaz de induzir resistência sistêmica e modular a expressão de genes relacionados ao crescimento e à defesa vegetal (Xu; Geelen, 2018; Hayat *et al.*, 2018).

A integração do óleo de hortelã com a quitosana em uma mesma formulação representa, portanto, uma proposta inovadora, unindo um indutor de resistência natural a um composto bioativo de múltiplos efeitos fisiológicos. Resultados positivos obtidos com bioestimulantes em diversas culturas reforçam o potencial dessa abordagem: em soja, por exemplo, observaram-se incrementos no crescimento e produtividade com uso de bioestimulantes comerciais (Faria Machado *et al.*, 2023); em milho, aumentos no desenvolvimento radicular e foliar foram registrados (Santos *et al.*, 2013); e em trigo, aplicações de extratos vegetais como os de Moringa resultaram em maior biomassa e rendimento de grãos (Rehman *et al.*, 2017). No entanto, as respostas podem variar conforme a dose, a forma de aplicação e o tipo de formulação, o que evidencia a necessidade de estudos científicos que validem a eficiência de novas combinações bioativas (Xu; Geelen, 2018; Ali *et al.*, 2020).

Assim, este trabalho propõe a avaliação de uma formulação bioestimulante composta por óleo essencial de hortelã e quitosana, aplicada em aquênios de alface, com o objetivo de investigar seus efeitos nas fases de germinação e crescimento inicial.

1.1 ADICIONAL LEGAL E CONTEXTUALIZAÇÃO RECENTE

Até a promulgação da Lei nº 14.785, de 2023, bioinsumos ainda eram referenciados principalmente no contexto da Lei dos Agrotóxicos, sem definição própria e de forma genérica no ordenamento jurídico. Já a recente Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024, instituiu um marco regulatório específico para bioinsumos,

definindo-os como produtos, processos ou tecnologias de origem vegetal, animal ou microbiana (inclusive biotecnológicos), que atuam no crescimento, no desenvolvimento ou na resposta de plantas, solo, microrganismos ou produtos agropecuários.

Essa legislação introduziu distinções claras entre biofertilizantes, bioestimulantes e biodefensivos, permitindo o registro único de produtos multifuncionais – um avanço especialmente relevante para o reconhecimento formal dos bioestimulantes.

1.2 PROBLEMA

Apesar da ampla aplicação de bioestimulantes naturais no contexto agrícola, muitos produtos disponíveis carecem de validação científica quanto à sua eficácia em diferentes fases do desenvolvimento vegetal e em distintas culturas. Em particular, formulações que combinam compostos bioativos apresentam potencial de ação integrada e funcional, mas ainda são pouco exploradas sob condições controladas. Essa lacuna de conhecimento limita o avanço técnico e comercial de novas formulações naturais com potencial de uso em programas de manejo sustentável.

Diante disso, este projeto propõe investigar qual é o efeito fisiológico de uma formulação natural composta por óleo essencial de hortelã e quitosana sobre a germinação e o crescimento inicial de aquênios de alface (*Lactuca sativa L.*) sob condições controladas de luz e temperatura. Considerando a sensibilidade fisiológica da alface a estímulos bioativos e sua ampla utilização como espécie modelo em estudos de bioatividade vegetal, torna-se relevante aprofundar a investigação dos efeitos dessa formulação em ambiente experimental controlado, contribuindo para a geração de dados confiáveis sobre sua eficácia.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos de uma bioformulação natural composta por óleo essencial de hortelã (*Mentha piperita*) e quitosana sobre a germinação e o crescimento inicial de aquênios de alface (*Lactuca sativa* L.).

1.3.2 Objetivos específicos

- Comparar a influência de diferentes concentrações aplicadas aos aquênios de alface;
- Avaliar a taxa e velocidade de germinação dos aquênios de alface tratados com a formulação bioestimulante;
- Verificar, estatisticamente, os efeitos da formulação sobre o comprimento das plântulas e o acúmulo de biomassa;
- Comparar os resultados obtidos com os tratamentos controle e verificar a existência de efeitos estimulantes ou inibitórios.

1.4 JUSTIFICATIVA

A adoção de insumos biológicos sustentáveis representa um caminho promissor para atender às demandas de uma agricultura mais eficiente, ambientalmente segura e economicamente viável. Esse cenário é reforçado pelo expressivo crescimento do mercado de bioinsumos nos últimos anos, impulsionado pela busca por soluções que aliem produtividade e sustentabilidade, com destaque para o avanço dos bioestimulantes no Brasil e no mundo (EMBRAPA, 2023). Estima-se, por exemplo, que a adoção de bioestimulantes entre os agricultores brasileiros tenha alcançado aproximadamente 30% em 2023, superando a média global de cerca de 18%, reflexo de um setor em rápida consolidação (Costa, 2023; Croplife Brasil, 2024).

Os bioestimulantes vegetais surgem como ferramentas estratégicas para promover o crescimento e o vigor das plantas, principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento – as quais são altamente sensíveis a variações fisiológicas (Xu; Geelen, 2018). Entre os compostos com potencial bioativo destacam-se os óleos essenciais, como o de hortelã, e a quitosana, que individualmente já apresentam efeitos benéficos documentados na literatura. A combinação desses compostos em uma formulação bioestimulante, visa investigar possíveis interações biofuncionais e validar cientificamente uma combinação sinérgica, com vistas à sua futura aplicação prática e comercial.

A utilização da alface como espécie modelo permite uma avaliação rápida e sensível dos efeitos fisiológicos da formulação, tornando o estudo relevante tanto do ponto de vista acadêmico, quanto para o setor produtivo agrícola. A formulação proposta também se alinha aos princípios da economia circular, uma vez que utiliza componentes naturais e aproveita resíduos de origem biológica – a quitosana é um polímero natural obtido por desacetilação parcial da quitina, substância encontrada principalmente nas carapaças de crustáceos como camarões e caranguejos, contribuindo para práticas agrícolas de menor impacto ambiental e para a promoção de um manejo mais sustentável dos cultivos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AGRICULTURA SUSTENTÁVEL E O USO DE BIOINSUMOS

A agricultura moderna passou por uma intensificação produtiva significativa nas últimas décadas, apoiada no alto consumo de fertilizantes sintéticos e defensivos químicos. Esse modelo elevou a oferta de alimentos, mas trouxe também graves impactos ambientais, como a contaminação dos solos e das águas pelo uso excessivo de nutrientes e agroquímicos, a perda de biodiversidade e a emissão de gases de efeito estufa (Fao, 2025). Estima-se, por exemplo, que as atividades agropecuárias respondam por cerca de 75% das emissões globais de óxido nitroso, devido principalmente ao uso intensivo de fertilizantes nitrogenados (Fao, 2025). O óxido nitroso contribui para o aquecimento global e para a degradação da camada de ozônio. Além disso, a dependência de agroquímicos tem levado ao esgotamento da saúde do solo e ao surgimento de pragas resistentes, criando um ciclo vicioso de necessidade de insumos cada vez maiores (Ma; Freitas; Dias, 2022).

Diante desses desafios, cresce a demanda por práticas agrícolas mais sustentáveis, capazes de manter alta produtividade com menor impacto ambiental. Os bioinsumos – ou insumos de base biológica – surgem como uma alternativa promissora dentro da chamada “agricultura verde”, pois podem reduzir a dependência de químicos e restaurar o equilíbrio ecológico das lavouras (Croplife Brasil, 2024). Produtos biológicos tendem a ser biodegradáveis, menos tóxicos e capazes de favorecer a regeneração da biodiversidade, especialmente da microbiota do solo (Croplife Brasil, 2024). Dessa forma, a adoção de bioinsumos alinha-se às agendas globais de qualidade ambiental e clima, ajudando a reduzir emissões de gases de efeito estufa e a poluição, ao mesmo tempo em que contribui para a segurança alimentar.

Em resumo, o cenário atual impõe à agricultura o duplo desafio – aumentar a produção, porém de forma sustentável. Tecnologias de baixo impacto ambiental, como os bioinsumos, apresentam-se como ferramentas essenciais para enfrentar problemas como a mudança climática, a degradação dos recursos naturais e as exigências dos consumidores por alimentos mais seguros (Ma; Freitas; Dias, 2022). Nos tópicos a seguir, discute-se como os bioinsumos, em especial os

bioestimulantes vegetais, contribuem para uma agricultura mais sustentável e resiliente, e como seu uso vem evoluindo e sendo incentivado no Brasil e no mundo.

2.2 EVOLUÇÃO DO USO DE BIOINSUMOS NO BRASIL E NO MUNDO

Embora o uso de insumos biológicos na agricultura não seja totalmente novo – há registros pontuais de aplicações há muitas décadas –, o emprego comercial de bioestimulantes vegetais ganhou tração global a partir do final do século XX. Produtos como extratos de algas marinhas, ácidos húmicos e hidrolisados proteicos passaram a ser testados e adotados por agricultores visando ganhos adicionais de produtividade e maior tolerância a estresses abióticos. Na Europa e nos Estados Unidos, a demanda por bioestimulantes cresceu rapidamente na última década, impulsionada pela busca por sistemas de cultivo mais sustentáveis e por marcos regulatórios favoráveis (como a inclusão de “estimulantes de plantas” na legislação de fertilizantes da União Europeia em 2019). Países latino-americanos, como Argentina e Brasil, também vivenciaram um aumento recente no uso de bioestimulantes. Produtores têm reconhecido as vantagens de combinar bioestimulantes com insumos convencionais para atender a exigências ambientais mais rígidas e melhorar a eficiência dos sistemas produtivos (Gottems, 2024).

No Brasil, especificamente, a evolução dos bioinsumos se acelerou nos últimos anos. Um ponto de inflexão ocorreu por volta de 2013, quando surtos de pragas resistentes (como a lagarta *Helicoverpa armigera*) evidenciaram a necessidade de alternativas aos métodos químicos convencionais ((Ma; Freitas; Dias, 2022). O sucesso demonstrado por agentes de controle biológico nesses casos aumentou a confiança dos agricultores nos bioinsumos. A partir de 2020, observa-se uma forte expansão do setor: o número de novos produtos biológicos registrados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) cresceu significativamente, e atualmente centenas de bioinsumos (entre biofertilizantes, biodefensivos e bioestimulantes) estão disponíveis comercialmente. A Figura 1 ilustra, em forma de linha do tempo, alguns marcos dessa trajetória de adoção de bioinsumos no Brasil nas últimas décadas.

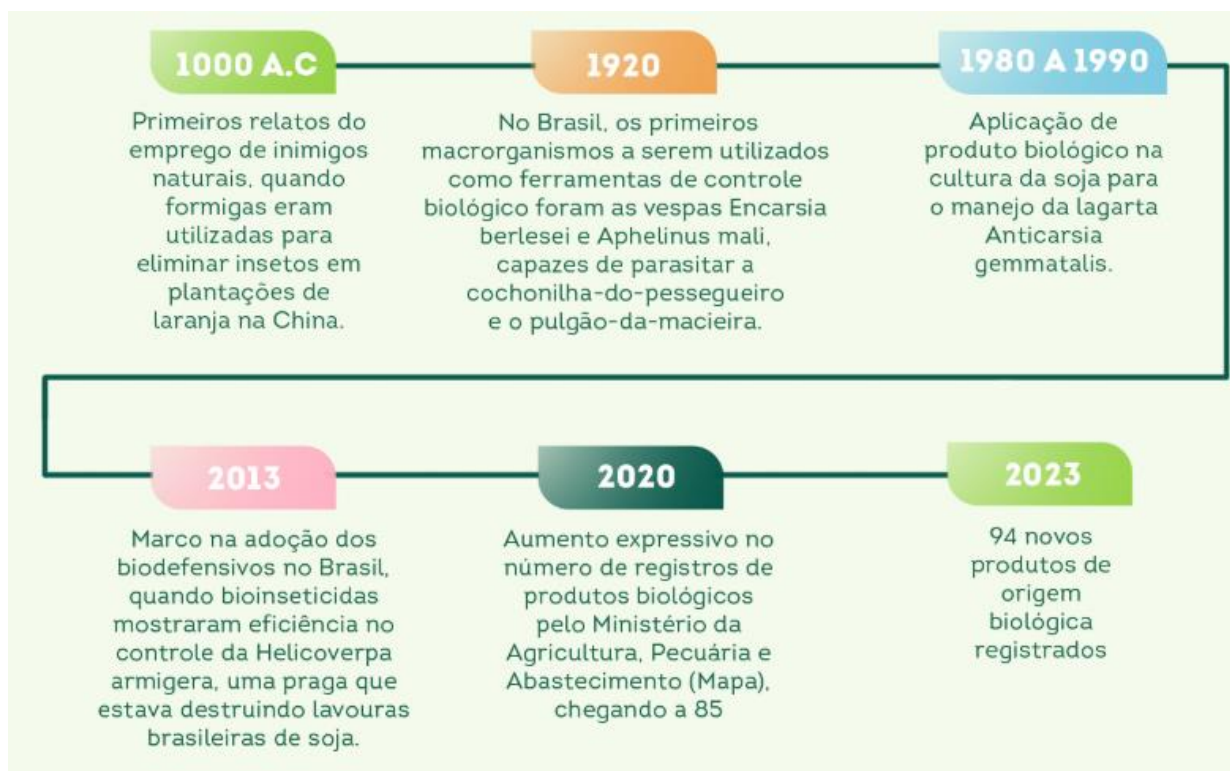


FIGURA 1: LINHA DO TEMPO COM MARCOS HISTÓRICOS NA ADOÇÃO DE BIOINSUMOS AGRÍCOLAS NO BRASIL. (FONTE: CROPLIFE BRASIL, 2024).

O uso de bioinsumos tornou-se uma das principais apostas da agricultura brasileira atual (Croplife Brasil, 2024). A cultura da soja, principal *commodity* nacional, lidera o uso desses insumos – estima-se que 55% de todos os bioinsumos comercializados no país sejam aplicados na cultura de soja, seguida por milho (27%) e cana-de-açúcar (12%), dentre outras culturas (Croplife Brasil, 2024). Essa ampla utilização em grandes culturas evidencia que os bioinsumos deixaram de ser uma curiosidade restrita à agricultura orgânica para se integrarem ao manejo convencional em larga escala. Internacionalmente, o Brasil hoje é referência: produtores nacionais apresentam taxas de adoção de bioestimulantes e outros insumos biológicos superiores à média global (aproximadamente 30% dos agricultores brasileiros já utilizam algum bioestimulante, frente a ~18% mundialmente) (Costa, 2023). Essa liderança reflete tanto a pressão por soluções sustentáveis quanto o histórico de inovação agrônômica do país, que tem abraçado novas tecnologias de produção.

2.3 MERCADO DE BIOESTIMULANTES: ADOÇÃO E CRESCIMENTO DO SETOR (2020–2025)

O mercado de bioestimulantes vegetais tem crescido significativamente nos últimos anos, tanto global quanto nacionalmente. Esse avanço reflete maior aceitação dos produtores, incentivos regulatórios e investimentos em pesquisa e inovação. Estimativas recentes indicam que, em 2023, o setor global movimentou entre US\$ 2,7 e 3 bilhões, com projeções de alcançar US\$ 5,5 a 6,6 bilhões até 2033, a depender da taxa de crescimento anual, que pode variar entre 7% e 10% (Gottems, 2024; Costa, 2023). Esse desempenho supera o ritmo dos insumos químicos tradicionais, sinalizando uma migração parcial para soluções biológicas.

Os bioestimulantes, por promoverem tolerância ao estresse e eficiência fisiológica nas plantas, têm ganhado espaço em diversas culturas. Em termos de composição de mercado, os produtos à base de ácidos húmicos e fúlvicos lideram (cerca de 49%), seguidos por extratos de algas, aminoácidos, proteínas hidrolisadas e microrganismos. Sua aplicação abrange desde grandes culturas (mais de 60% da demanda) até hortaliças, frutas e gramados (Gottems, 2024).

No Brasil, os bioinsumos — incluindo os bioestimulantes — apresentaram um crescimento ainda mais expressivo. Na safra 2023/2024, o setor movimentou R\$ 5 bilhões, com alta de 15% em relação ao ciclo anterior, e taxa média de crescimento de 21% ao ano desde 2020 (Croplife Brasil, 2024). Conforme disponível em relatório especializado, o mercado global de bioestimulantes deverá alcançar cerca de US\$ 4,46 bilhões em 2025 e crescer com um CAGR (Taxa de Crescimento Anual Composta) de 10,32%, atingindo aproximadamente US\$ 7,29 bilhões em 2030 (Mordor Intelligence, 2024).

Quanto ao uso, aproximadamente 23% da área agrícola nacional já utiliza algum tipo de bioinsumo. Dentre os principais tipos, os bioestimulantes — especialmente inoculantes e solubilizadores — estão presentes em cerca de 63% da área das culturas mais relevantes, como soja e milho, o que demonstra sua forte integração ao manejo atual (Croplife Brasil, 2024).

Impulsionado por legislações mais restritivas ao uso de químicos e pela busca por tecnologias sustentáveis, o mercado global de bioinsumos pode triplicar até 2032. No Brasil, esse crescimento deve se manter sustentado por quatro pilares:

profissionalização da indústria; comprovação técnica dos produtos; integração com manejos convencionais; e inovação em formulações (Croplife Brasil, 2024).

Em síntese, os bioestimulantes deixaram de ser soluções de nicho para se tornarem ferramentas estratégicas no agronegócio. Seu papel no aumento da produtividade com menor impacto ambiental justifica a relevância de pesquisas como esta.

2.4 FORMULAÇÕES COMPLEXAS E SINERGISMO DE COMPOSTOS BIOATIVOS

Muitos bioestimulantes modernos são desenvolvidos como formulações complexas, combinando diferentes compostos bioativos (ou mesmo microrganismos) em um mesmo produto. A razão por trás disso é explorar possíveis efeitos sinérgicos – isto é, situações em que a ação conjunta de vários componentes resulta em um benefício maior do que a soma das ações individuais. Pesquisas indicam que a combinação de substâncias pode levar a interações aditivas ou sinérgicas positivas para a planta (Drobek *et al.*, 2019). Por exemplo, um bioestimulante que una ácidos húmicos + extrato de alga pode simultaneamente melhorar a estrutura do solo e fornecer hormônios naturais, obtendo um efeito mais completo no desenvolvimento radicular. Na prática, observa-se que formulações multicomponentes muitas vezes superam produtos de composto único em parâmetros de crescimento e produtividade (Drobek *et al.*, 2019).

Rouphael e Colla (2018) reportaram que extratos vegetais contendo múltiplos fitocompostos levaram a maior incremento de crescimento do que a aplicação separada desses mesmos compostos. Entretanto, nem sempre misturar resulta em sinergia – em alguns casos pode haver efeitos antagônicos ou redundantes. Por isso, o desenvolvimento de bioestimulantes “blend” requer pesquisa para identificar combinações compatíveis e complementares.

Recentemente, Rouphael e Colla (2018) propuseram o conceito de “ação bioestimulante sinérgica”, enfatizando o *design* de formulações de próxima geração que integrem diversas categorias de bioestimulantes de modo inteligente, maximizando suas interações positivas. Assim, em vez de produtos concentrados em um só princípio ativo (como era comum com reguladores de crescimento

sintéticos), os bioestimulantes atuais tendem a incluir múltiplos ingredientes ativos em proporções equilibradas.

Para que o potencial de uma formulação mista seja plenamente atingido, é crucial assegurar a compatibilidade físico-química entre os componentes. Diferentes substâncias, quando misturadas, podem interagir de forma indesejada – por exemplo, pode ocorrer precipitação de sais, inativação de moléculas bioativas devido a pH inadequado, ou mesmo redução da viabilidade de microrganismos benéficos se combinados com certos extratos. Uma formulação eficaz exige estabilidade: os compostos devem permanecer solúveis, ativos e não reagir uns com os outros durante o armazenamento e após a aplicação. Na prática, fabricantes e pesquisadores realizam testes de compatibilidade e estabilidade antes de lançar um produto multicomponente. Recomenda-se, inclusive, que agricultores façam testes prévios ao misturar bioestimulantes com outros produtos na calda, para evitar problemas de precipitação ou perda de eficácia por incompatibilidade (Valent Biosciences, 2024).

Nesse contexto, a Tabela 1 apresenta alguns dos principais bioestimulantes naturais reportados na literatura, destacando suas culturas-alvo, efeitos fisiológicos observados e respectivas referências. Esses dados reforçam a diversidade de compostos utilizados atualmente e a tendência de desenvolvimento de formulações multicomponentes com ações sinérgicas.

TABELA 1: PRINCIPAIS BIOESTIMULANTES NATURAIS UTILIZADOS NA AGRICULTURA, CULTURAS-ALVO E EFEITOS FISIOLÓGICOS RELATADOS NA LITERATURA.

Bioestimulante / Composto ativo	Cultura-alvo	Efeitos fisiológicos observados	Referência
Quitosana	Alface, tomate, arroz	Indução de resistência sistêmica, aumento de biomassa, vigor, germinação	Xu; Geelen (2018)
Óleo essencial de hortelã-pimenta (<i>Mentha piperita</i>)	Trigo, alface, rúcula	Efeito alelopático (negativo em altas doses), estimulação metabólica leve	Turgut & Coşkun (2021); Andrade <i>et al.</i> (2023)
Extrato de <i>Moringa oleifera</i>	Trigo, milho	Aumento da germinação, comprimento da plântula, acúmulo de biomassa	Rehman <i>et al.</i> (2017)
Ácidos húmicos e fúlvicos	Soja, milho, hortaliças	Estímulo ao crescimento radicular, absorção de nutrientes, vigor	Yakhin <i>et al.</i> (2017)
Extrato de alcaçuz (<i>Glycyrrhiza glabra</i>)	Milho, trigo	Estímulo à germinação, crescimento inicial, ação antiestrófica	Desoky <i>et al.</i> (2020)
Algas marinhas (<i>Ascophyllum nodosum</i>)	Hortaliças, cereais	Aumento de tolerância ao estresse, incremento em clorofila e fotossíntese	Ali <i>et al.</i> (2020)
Extrato de alho (<i>Allium</i>	Alface, milho	Propriedades antifúngicas e	Yasmin <i>et al.</i> (2022)

Bioestimulante / Composto ativo	Cultura-alvo	Efeitos fisiológicos observados	Referência
<i>sativum</i>)		bioestimulantes na germinação e crescimento	

2.5 ÓLEO ESSENCIAL DE HORTELÃ (*MENTHA PIPERITA*)

Segundo Turgut e Coşkun (2021), o óleo essencial de hortelã-pimenta (*Mentha piperita*) é composto principalmente por mentol e mentona, substâncias responsáveis pelo aroma característico e por grande parte de suas propriedades biológicas. Esse óleo tem sido extensivamente estudado devido à sua versatilidade de efeitos. Em plantas, extratos e óleos de hortelã podem atuar como agentes alelopáticos, afetando a germinação de sementes e o desenvolvimento de plântulas de outras espécies.

Estudos mostram, por exemplo, que voláteis de *Mentha* podem reduzir a germinação de aquênios de alface quando em alta concentração, o que é atribuído à interferência nos processos fisiológicos germinativos (Soares; Velini, 2014). Esse efeito paradoxal sugere um fenômeno de hormese, em que doses muito baixas de compostos alelopáticos podem não ser deletérias e até induzir leves respostas de defesa nas sementes. Por exemplo, Hussein *et al.* (2021) relataram que extratos vegetais puderam aumentar a tolerância a estresse hídrico em plantas, estimulando mecanismos antioxidantes e osmoprotetores. Assim, embora óleos essenciais de hortelã em alta concentração sejam inibitórios, em dose adequada podem desencadear respostas fisiológicas benéficas, como também indicado por Soares e Velini (2014), que observaram estímulo de germinação de alface em baixas doses.

O óleo essencial de hortelã destaca-se como componente multifuncional em formulações naturais, pois combina propriedades bioestimulantes e protetivas. Estudos reportam que, além de promover certos aspectos do crescimento, óleos de *Mentha* exibem atividade antimicrobiana e repelente, ajudando a proteger plantas contra patógenos e insetos (Bakkali *et al.*, 2008). De fato, Hussein *et al.* (2021) demonstraram que compostos vegetais podem aumentar a resistência de plantas sob estresse, atuando como indutores de defesa. Assim, aliado a outros componentes, o óleo de hortelã pode contribuir simultaneamente para o vigor e a tolerância a estresses bióticos/abióticos.

É importante notar, porém, que esses efeitos benéficos manifestam-se apenas em faixas adequadas de concentração – acima de certo limiar, prevalecem efeitos fitotóxicos (Soares; Velini, 2014; Mirmostafaei, Azizi e Fujii 2020). Aplicações de óleos essenciais de *Mentha* em sementes e plântulas têm mostrado resultados variados de acordo com dose e forma de uso. Mesa *et al.* (2015) relataram que tratamentos de sementes com concentrações adequadas de óleos essenciais melhorou a germinação e o vigor inicial de plântulas de arroz, possivelmente por indução de respostas de defesa e ativação metabólica logo nos estágios iniciais. Em alface, extratos de hortelã em baixas doses podem estimular a germinação, enquanto doses elevadas inibem, indicando a existência de um limiar ótimo de concentração para efeito benéfico (Soares; Velini, 2014).

Em suma, o óleo essencial de hortelã possui um conjunto de propriedades (bioestimulantes, protetoras e reguladoras) que justificam sua inclusão em formulações naturais voltadas a melhorar a performance de sementes e plântulas. O desafio reside em ajustar sua concentração e combinação com outros componentes para maximizar os efeitos positivos e minimizar possíveis fitotoxicidades.

2.6 QUITOSANA COMO BIOESTIMULANTE VEGETAL

A quitosana é um polímero natural obtido a partir da desacetilação parcial da quitina, material abundante nas carapaças de crustáceos (camarões, caranguejos etc.), exoesqueletos de insetos e parede celular de fungos. Trata-se de uma cadeia linear de β -(1,4)-D-glucosamina, cuja estrutura catiônica (devido aos grupos amina protonados) é a chave para suas interações biológicas (El Hadrami *et al.*, 2010). Por ser biodegradável, atóxica ao ser humano e compatível com o meio ambiente, a quitosana ganhou inúmeras aplicações nas áreas médica, farmacêutica e, mais recentemente, agrícola.

No contexto de bioestimulantes vegetais, a quitosana é reconhecida principalmente por sua capacidade de atuar como molécula sinalizadora em plantas (Xu; Geelen, 2018). Quando aplicada às sementes, às folhas ou ao solo, a quitosana pode desencadear respostas de defesa semelhantes às ativadas por patógenos – é o chamado efeito elicitor. Essa resposta inclui o fortalecimento de paredes celulares (por deposição de calose e lignina), a produção de fitoalexinas e a ativação de enzimas antioxidantes, o que em conjunto aumenta a resistência da planta a

doenças e estresses abióticos (Mesa *et al.*, 2015; Hayat *et al.*, 2018;). Além da indução de resistência, a quitosana tem efeito direto no desenvolvimento: estudos reportam estimulação do crescimento de raízes e parte aérea em diversas culturas, atribuída à modulação de genes de crescimento e ao aumento na absorção de nutrientes (Mesa *et al.*, 2015; Rahman *et al.*, 2021). Em sementes de arroz, por exemplo, tratamentos com quitosana melhoraram a taxa de germinação e o vigor inicial, resultando em plântulas mais desenvolvidas e com maior conteúdo de clorofila (Mesa *et al.*, 2015).

A versatilidade da quitosana como insumo agrícola também se expressa na sua capacidade de formar filmes e revestir sementes, controlando a liberação de substâncias ativas e conferindo proteção contra patógenos do solo (Fao, 2022). Em formulações combinadas, a quitosana pode funcionar como agente de compatibilização, ajudando a estabilizar misturas de compostos (devido às suas propriedades de polímero viscoso) e potencializando a eficácia geral do produto. Por exemplo, ao ser combinada com extratos vegetais ricos em fenólicos, a quitosana pode formar complexos que prolongam a disponibilidade dos compostos ativos e ao mesmo tempo mitigam possíveis efeitos tóxicos por liberação rápida (Genica, 2025).

Contudo, assim como ocorre com os óleos essenciais, os efeitos da quitosana dependem da sua concentração e do grau de desacetilação. Concentrações muito elevadas podem inibir o crescimento de algumas plantas ou causar estresse osmótico, enquanto doses adequadas promovem estimulação (Hayat *et al.*, 2018). Portanto, o uso ótimo da quitosana como bioestimulante requer ajuste fino e, frequentemente, sua associação a outros componentes que complementem sua ação.

Portanto, espera-se que a quitosana atue sinergicamente com o óleo essencial de hortelã, unindo seus efeitos de indução de resistência e estímulo de crescimento aos efeitos metabólicos proporcionados pelos compostos voláteis do óleo.

2.7 BIOATIVIDADE VEGETAL E MECANISMOS FISIOLÓGICOS NA GERMINAÇÃO

A germinação de sementes é um processo fisiológico complexo, controlado por fatores internos (dormência, vigor e metabolismo de reservas) e externos

(temperatura, luz, umidade e presença de compostos bioativos) (Taiz *et al.*, 2017). Substâncias naturais como a quitosana e óleos essenciais interferem nas etapas iniciais da germinação, desde a embebição até a protrusão da radícula.

A germinação pode ser dividida em três fases principais: na Fase I, embebição, ocorre a rápida absorção de água e reativação enzimática. Na Fase II, há metabolismo ativo com degradação das reservas (amido, lipídios e proteínas), convertendo-as em substratos energéticos. A Fase III é marcada pela protrusão da radícula, com início do crescimento ativo do embrião. Esse processo, em condições ideais, pode ser completado em 1–2 dias em espécies como a alface (Silva *et al.*, 2020).

Bioestimulantes vegetais têm o potencial de acelerar a germinação, aumentar o comprimento radicular e a massa seca, e melhorar o crescimento inicial das plântulas (Hayat *et al.*, 2018). Essas variáveis são fundamentais para avaliar a bioatividade de compostos aplicados em estudos como o presente, ou em testes de alelopatia (Costa *et al.*, 2021).

Fatores ambientais como umidade, oxigênio, temperatura e luz influenciam diretamente a germinação. A água é essencial para a embebição; o oxigênio, para a respiração celular do embrião. A temperatura ideal varia entre espécies, sendo geralmente entre 20–30 °C para culturas como a alface, com inibição do processo fora dessas faixas. A luz é determinante para sementes fotoblásticas positivas, como a alface, que requerem estímulo luminoso, especialmente na faixa do vermelho, para ativação do fitocromo e início da germinação (Melo; Nakagawa, 2008).

Além disso, compostos químicos presentes no meio também influenciam a germinação. Hormônios como ácido abscísico (inibidor) e giberelinas (promotoras), além de substâncias alelopáticas naturais, podem atuar como moduladores do processo. Um exemplo é o óleo essencial de hortelã, rico em mentol, que apresenta efeito alelopático negativo sobre a germinação de outras espécies como a rúcula (*Eruca sativa*) (Andrade *et al.*, 2023).

Em testes de bioatividade e alelopatia, diversos parâmetros fisiológicos são utilizados para mensurar o desempenho germinativo: porcentagem de germinação (PG), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento de radícula, massa fresca e massa seca das plântulas (Barrios *et al.*, 2022). O IVG permite avaliar a rapidez da germinação, enquanto o comprimento radicular e a biomassa indicam o vigor e o potencial de estabelecimento das plântulas. Em muitos casos, mesmo com

PG alta, plântulas fracas (curtas e com pouca biomassa) indicam efeito negativo de um extrato. Por outro lado, bioestimulantes eficazes tendem a melhorar todos esses parâmetros.

Portanto, a análise combinada desses indicadores fisiológicos permite avaliar de forma precisa a bioatividade de compostos aplicados e seus efeitos promotores ou inibitórios na germinação e desenvolvimento inicial das plantas.

2.8 ALFACE (*LACTUCA SATIVA* L.) COMO ESPÉCIE MODELO

A alface é uma hortaliça de ciclo curto, cujos aquênios apresentam características favoráveis para estudos de bioatividade: são pequenos, de estrutura simples e com germinação rápida e uniforme, sem dormência profunda. Muitas cultivares são fotoblásticas positivas, necessitando de luz para germinar, e respondem bem a temperaturas em torno de 20–25 °C. Em condições ideais, a germinação ocorre em 1 a 2 dias, o que viabiliza ensaios com respostas rápidas e consistentes (Melo; Nakagawa, 2008).

Sua sensibilidade fisiológica também a torna um organismo modelo eficiente. Sementes pequenas e com reservas limitadas exigem oxigenação adequada e respondem negativamente a estresses como temperatura elevada ou salinidade moderada. Essas características, embora desafiadoras em campo, são vantajosas em laboratório, pois permitem detectar com precisão, alterações induzidas por substâncias bioativas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Fisiologia e Nutrição de Plantas da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor Palotina, PR, sob condições controladas de temperatura, luminosidade e assepsia. Os ensaios foram realizados em uma câmara de germinação tipo B.O.D. (Biological Oxygen Demand), programada para manter temperatura constante de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas.

Foram estabelecidos tratamentos com diferentes concentrações da bioformulação contendo óleo essencial de hortelã e quitosana. A bioformulação utilizada, contendo 3% (v/v) de óleo essencial de hortelã (*Mentha piperita*) e 2 mg/mL de quitosana, foi previamente preparado pelo Instituto de Bioquímica e Biotecnologia, da Universidade de Münster, na Alemanha, e fornecido à UFPR para fins de pesquisa acadêmica. A composição conta ainda com outros componentes, cuja identidade não será divulgada por questões estratégicas.

Antes do início dos experimentos, procedeu-se à higienização completa das bancadas, caixas de germinação do tipo Gerbox, materiais e utensílios utilizados na preparação das soluções, utilizando-se álcool 70% para garantir a assepsia dos testes. Em cada caixa Gerbox foram colocadas duas folhas de papel germitest, previamente cortadas para se ajustarem ao fundo das caixas, as quais foram umedecidas com 7 mL da solução correspondente aos tratamentos. Os aquênios de alface (*Lactuca sativa* L.) foram então distribuídos uniformemente sobre o papel umedecido, mantendo-se as caixas sob condições controladas de temperatura e fotoperíodo ao longo de todo o experimento.

A realização dos testes foi organizada em três etapas. No primeiro teste, aplicaram-se as concentrações de 1,00% e 2,00% da bioformulação, diluídas em água destilada. Utilizaram-se quinze caixas Gerbox, sendo cinco destinadas ao tratamento com a concentração de 1,00%, cinco ao tratamento com 2,00% e cinco ao controle negativo, tratado exclusivamente com água destilada. No segundo teste, avaliou-se a concentração de 0,25%, utilizando-se cinco caixas para esse tratamento e cinco caixas adicionais para o controle negativo. No terceiro teste, aplicou-se a concentração de 0,50%, também com cinco caixas para o tratamento e cinco para o controle. Todas as concentrações foram obtidas por diluição do produto base com água destilada, mantendo-se o volume total de aplicação em cada caixa padronizado em 7 mL – água destilada ou tratamento com a bioformulação.

Cinquenta aquênios foram dispostos sobre as caixas Gerbox previamente tratadas e mantidas nas condições controladas da câmara B.O.D. por sete dias. Durante o período experimental, realizou-se a contagem diária dos aquênios germinados em cada unidade, registrando-se os dados em planilhas de controle.

Ao final do sétimo dia, realizou-se a última contagem de germinação e foram selecionadas 15 plântulas de cada repetição para mensuração individual do comprimento total – a qual foi realizada com o auxílio de um paquímetro. Em seguida, procedeu-se à determinação da massa fresca total das 15 plântulas de cada caixa. As amostras foram então secas em estufa a 60 °C por 24 horas para obtenção da massa seca correspondente.

Foram calculados os seguintes parâmetros fisiológicos: taxa de germinação (% de aquênios germinados ao final do período), índice de velocidade de germinação (IVG), comprimento médio da raiz primária e da parte aérea por plântula, massa fresca média e massa seca média. O IVG foi calculado de acordo com a fórmula proposta por Maguire (1962), conforme descrito por Borghetti e Ferreira (2004), utilizando-se a soma do número de aquênios germinados em cada dia dividido pelo número de dias correspondentes. Essa metodologia permite avaliar a velocidade e a uniformidade da germinação, considerando o acúmulo progressivo de plântulas ao longo do período de observação (Borghetti; Ferreira, 2004).

Os dados foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância (ANOVA), seguida, quando aplicável, do teste de comparação de médias de Tukey ou análise de regressão, ambos ao nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SISVAR, versão 5.8 (Build 92).

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 GERMINAÇÃO E ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG)

A germinação dos aquênios de alface e o índice de velocidade de germinação (IVG) foram influenciados pelas concentrações da bioformulação utilizada.

A Tabela 2 apresenta os resultados de germinação e IVG para as concentrações mais altas (1% e 2%), comparadas ao controle.

TABELA 2 – VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS RESPOSTA DE PERCENTUAL DE GERMINAÇÃO E ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG) DE PLÂNTULAS DE ALFACE (*LACTUCA SATIVA* L.) COM USO DE UMA BIOFORMULAÇÃO À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE *MENTHA PIPERITA* E QUITOSANA NAS CONCENTRAÇÕES DE 1,00 E 2,00%.

TRATAMENTOS	% de germinação	Índice de Velocidade de Germinação (IVG)
Controle	90 a	25,3 a
Bioformulação (1,00%)	82 a	12,6 b
Bioformulação (2,00%)	39 b	5,67 c

*Letras diferentes nas colunas representam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A porcentagem de germinação apresentou variações significativas conforme a concentração da bioformulação. Na concentração de 2,00% houve diferença estatística significativa com redução superior a 50% em relação ao controle, indicando um efeito fitotóxico.

No que se refere ao Índice de Velocidade de Germinação (IVG), a redução com o aumento da concentração foi ainda mais expressiva. A velocidade de germinação no tratamento a 1,00% foi praticamente reduzida à metade em comparação ao controle, e com 2,00% caiu para menos de um quarto, indicando atrasos no processo germinativo.

Analisando os dados com o uso da bioformulação em concentrações mais baixas, observa-se que não houve efeito sobre a porcentagem de germinação dos aquênios (Tabela 3). Isso indica que as doses baixas da bioformulação não afetaram o potencial germinativo.

TABELA 3 – VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS RESPOSTA DE PERCENTUAL DE GERMINAÇÃO E ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG) DE PLÂNTULAS DE ALFACE (*LACTUCA SATIVA* L.) COM USO DE UMA BIOFORMULAÇÃO À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE *MENTHA PIPERITA* E QUITOSANA NAS CONCENTRAÇÕES DE 0,25 E 0,50%.

TRATAMENTOS	% de germinação	Índice de Velocidade de Germinação (IVG)
Controle	82 a	20,6 a
Bioformulação (0,25%)	77 a	19,5 a
Bioformulação (0,50%)	77 a	14,2 b

*Letras diferentes nas colunas representam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Comparando os dados da Tabela 3 com os dados da Tabela 2, onde a concentração de 2,00% reduziu a germinação para apenas 39%, percebe-se uma clara vantagem em manter o produto em concentrações inferiores a 1,00%, especialmente para evitar efeitos fitotóxicos. Nota-se que apenas a concentração mais elevada (2,00%) causou redução na germinação, ao passo que nas demais concentrações o percentual germinou em patamar semelhante ao controle. A porcentagem de germinação dos aquênios variou de forma discreta entre a maioria dos tratamentos, situando-se entre aproximadamente 77% e 90%, sem diferenças estatísticas significativas entre o controle e as concentrações de 0,25%, 0,50% e 1,00%.

No índice de velocidade de germinação (IVG), observa-se que a concentração de 0,50% atrasou a germinação, revelando que, mesmo com uma dose considerada baixa, a bioformulação pode retardar o processo germinativo. Comparando com os resultados da Tabela 2, onde as aplicações com concentrações de 1,00% e 2,00% resultaram em IVG de 12,6 e 5,67 respectivamente, percebe-se que a queda de IVG se acentua progressivamente com o aumento da concentração, sendo 0,50% um ponto de inflexão onde o estímulo começa a se tornar inibição.

O Gráfico 1 ilustra o comportamento do IVG em função da concentração da bioformulação.

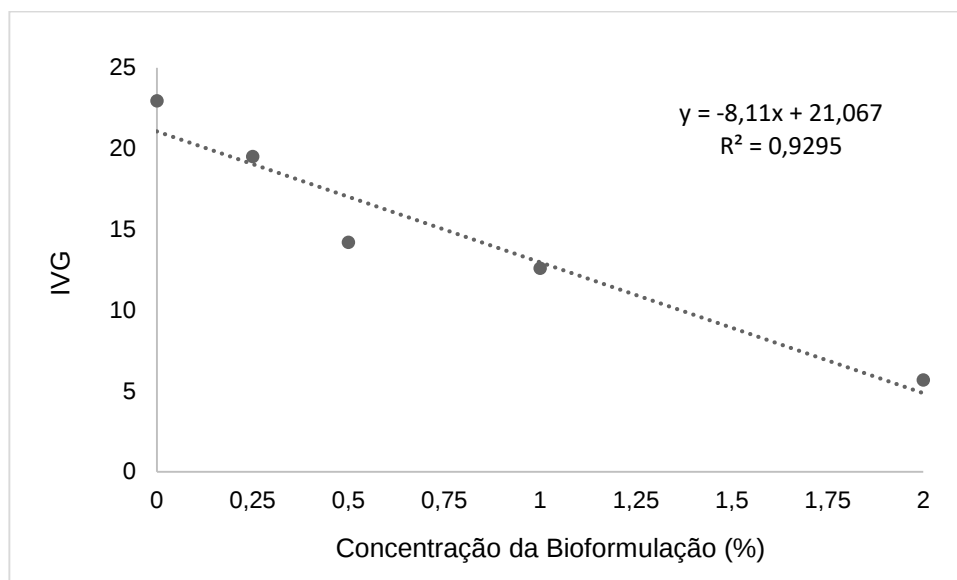


GRÁFICO 1 – ÍNDICE DE VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO (IVG) DE AQUÊNIOS DE ALFACE (*LACTUCA SATIVA L.*) COM USO DE BIOFORMULAÇÃO À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE *MENTHA PIPERITA* E QUITOSANA. EQUAÇÃO DE REGRESSÃO SIGNIFICATIVA A 5%. FONTE: A AUTORA (2025).

Nota-se uma tendência decrescente no índice de velocidade de germinação (IVG) dos aquênios de alface conforme o aumento da concentração da bioformulação à base de óleo essencial de *Mentha piperita* e quitosana. Esses resultados reforçam o efeito dose-dependente negativo da bioformulação sobre a velocidade de germinação, sendo que concentrações superiores a 0,25% já comprometem significativamente a emergência inicial das plântulas.

4.2 CRESCIMENTO DAS PLÂNTULAS

O crescimento inicial das plântulas de alface foi avaliado por meio das variáveis comprimento, massa fresca e massa seca, considerando o efeito das diferentes concentrações da bioformulação à base de óleo essencial de *Mentha piperita* e quitosana. Os resultados obtidos para as concentrações de 1,00% e 2,00% estão apresentados na Tabela 4, permitindo observar as respostas fisiológicas das plântulas frente ao tratamento utilizado.

TABELA 4 – VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS RESPOSTA CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE ALFACE (*LACTUCA SATIVA* L.) COM USO DE BIOFORMULAÇÃO À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE *MENTHA PIPERITA* E QUITOSANA NAS CONCENTRAÇÕES DE 1,00 E 2,00%.

TRATAMENTOS	Comprimento Plântulas (cm)	Massa Fresca (g)	Massa Seca (g)
Controle	3,65 a	0,0078 a	0,00130 a
Bioformulação (1,00%)	1,78 b	0,00547 b	0,00080 a
Bioformulação (2,00%)	0,99 b	0,00248 c	0,00150 a

*Letras diferentes nas colunas representam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de significância.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 4, verifica-se que a aplicação da bioformulação nas concentrações de 1,00% e 2,00% promoveram uma redução significativa no crescimento das plântulas de alface, quando comparadas ao controle. Considerando a variável comprimento, a redução foi de aproximadamente 51% na dose de 1,00% e de cerca de 73% na dose de 2,00%, em relação ao controle, evidenciando um efeito inibitório.

O mesmo padrão foi observado para a massa fresca, cuja diminuição foi da ordem de 30% na concentração de 1,00% e superior a 65% na concentração de 2,00%, quando comparadas aos valores do tratamento controle. Esses resultados demonstram que o aumento da concentração da bioformulação resultou em um comprometimento progressivo do desenvolvimento das plântulas, afetando tanto o alongamento quanto o acúmulo de biomassa fresca.

Em contraste, para a massa seca, não foram verificadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Isso pode indicar que, embora o crescimento vegetativo visível e o acúmulo de água nas plântulas tenham sido prejudicados, a produção de matéria seca não sofreu alterações relevantes nas condições testadas.

Para as concentrações mais baixas, 0,25% e 0,50%, os resultados referentes ao comprimento, massa fresca e massa seca das plântulas de alface estão apresentados na Tabela 5. Esses dados permitem avaliar o comportamento fisiológico das plântulas frente a doses reduzidas da bioformulação, facilitando a comparação com os efeitos observados nas concentrações mais elevadas.

TABELA 5 – VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS RESPOSTA DE CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE ALFACE (*LACTUCA SATIVA* L.) COM USO DE BIOFORMULAÇÃO À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE *MENTHA PIPERITA* E QUITOSANA NAS CONCENTRAÇÕES DE 0,25 E 0,50%.

TRATAMENTOS	Comprimento Plântulas (cm)	Massa Fresca (g)	Massa Seca (g)
Controle	2,39 a	0,00462 b	0,00081 a
Bioformulação (0,25%)	2,61 a	0,00557 ab	0,00084 a
Bioformulação (0,50%)	2,61 a	0,00685 a	0,00089 a

*Letras diferentes nas colunas representam diferença estatística pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A análise dos resultados da Tabela 5 indica que, nas concentrações de 0,25% e 0,50%, a bioformulação não reduziu significativamente o comprimento das plântulas de alface, mantendo-se valores estatisticamente semelhantes ao controle. Esse comportamento sugere que, até essas concentrações, o produto não exerce efeito inibitório sobre o alongamento das plântulas, preservando o desenvolvimento inicial.

No caso da massa fresca, observa-se uma tendência de incremento proporcional à dose aplicada. As plântulas tratadas com 0,50% apresentaram um aumento de aproximadamente 48% na massa fresca em comparação ao controle, o que indica um possível efeito bioestimulante positivo em concentrações baixas, favorecendo o acúmulo de biomassa. Já na massa seca, os dados demonstraram ausência de diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, indicando que as alterações observadas na massa fresca podem estar associadas principalmente à retenção de água nos tecidos vegetais, sem alterações expressivas na produção de matéria seca. Esses resultados sugerem estabilidade no desenvolvimento vegetativo em doses baixas, o que reforça a segurança da aplicação em concentrações inferiores a 1,00%.

A comparação entre os dados das Tabelas 4 e 5 permite concluir que o comprimento das plântulas e o acúmulo de massa fresca são estimulados em concentrações até 0,50%, mas passam a ser significativamente prejudicados a partir da dose de 1,00%, com efeito mais severo em 2,00%. Esse padrão reforça a natureza dose-dependente da resposta fisiológica das plântulas de alface à bioformulação testada.

O comportamento observado para o comprimento e para a massa fresca pode ser visualizado nos Gráficos 2 e 3, que ilustram a redução progressiva dessas variáveis com o aumento das concentrações da bioformulação.

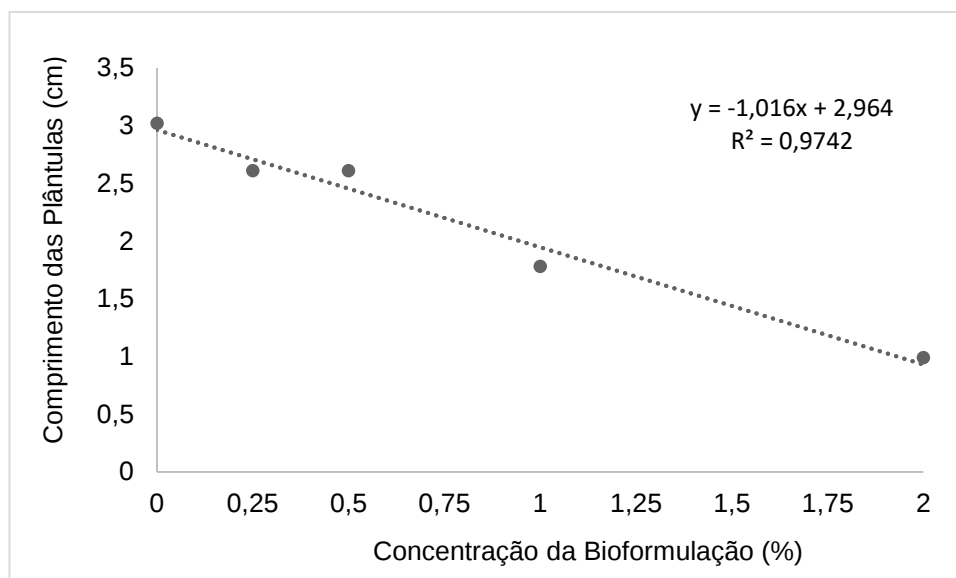


GRÁFICO 2 – COMPRIMENTO DE PLÂNTULAS DE ALFACE (*LACTUCA SATIVA L.*) COM USO DE UMA BIOFORMULAÇÃO À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE *MENTHA PIPERITA* E QUITOSANA.
EQUAÇÃO DE REGRESSÃO SIGNIFICATIVA A 5%.
FONTE: A AUTORA (2025).

O Gráfico 2 evidencia a redução no comprimento das plântulas à medida que aumentam as concentrações da bioformulação. É possível observar reduções visíveis a partir de 1,00%, e queda ainda mais acentuada na concentração de 2,00%.

Na sequência, o Gráfico 3 apresenta os dados de massa fresca das plântulas, permitindo visualizar de forma clara a variação da biomassa acumulada em função das diferentes concentrações do bioestimulante.

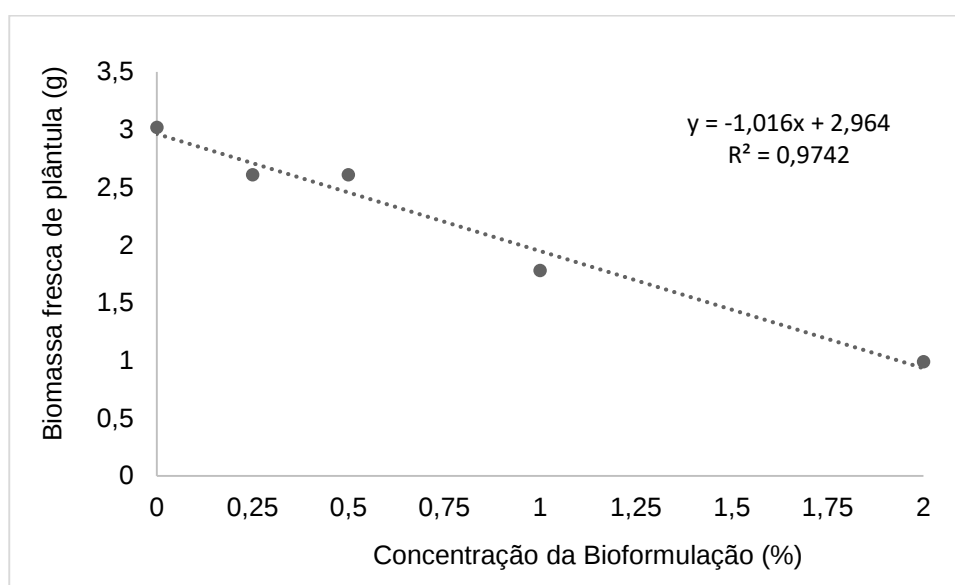


GRÁFICO 3 – BIOMASSA FRESCA DE PLÂNTULAS DE ALFACE (*LACTUCA SATIVA L.*) COM USO DE UMA BIOFORMULAÇÃO À BASE DE ÓLEO ESSENCIAL DE *MENTHA PIPERITA* E QUITOSANA.

EQUAÇÃO DE REGRESSÃO SIGNIFICATIVA A 5%.
FONTE: A AUTORA (2025).

A análise gráfica da biomassa fresca confirma o padrão dose-dependente observado nas Tabelas 4 e 5. O controle apresentou o maior valor, seguido das concentrações de 0,25% e 0,50%, com reduções significativas a partir de 1,00%, sendo a menor média registrada na concentração de 2,00%.

Enquanto concentrações até 0,50% demonstraram potencial para manter ou até estimular o acúmulo de biomassa fresca, as doses de 1,00% e 2,00% mostraram efeitos inibitórios significativos, afetando negativamente tanto o comprimento quanto a massa fresca das plântulas.

Quanto à massa seca, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, o que sugere que, apesar das variações na biomassa fresca e no comprimento, a produção de matéria seca permaneceu constante, indicando que os efeitos da bioformulação nas concentrações testadas impactaram principalmente o acúmulo de água e o desenvolvimento vegetativo inicial.

4.3 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo corroboram com os achados da literatura, especialmente no que se refere ao comportamento fisiológico de aquênios e plântulas de alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a bioestimulantes naturais. Diversos autores destacam que compostos como a quitosana e os óleos essenciais possuem potencial para atuar como bioestimulantes, porém seus efeitos são fortemente dependentes da dose, da espécie vegetal e das condições ambientais envolvidas, conforme discutido por Xu e Geelen (2018), Hussein *et al.* (2021), Drobek *et al.* (2019) e Faria Machado *et al.* (2023).

De acordo com estudos recentes, a quitosana tem sido amplamente empregada como indutora de germinação e promotora de crescimento vegetal, devido à sua capacidade de ativar mecanismos fisiológicos relacionados à defesa e à absorção de nutrientes (Silva *et al.*, 2021a). No presente trabalho, as doses mais baixas da bioformulação (0,25% e 0,50%) não diferiram estatisticamente do controle quanto à taxa de germinação e promoveram incremento na biomassa fresca, especialmente na concentração de 0,50%, o que reforça a eficácia da quitosana como promotora do metabolismo inicial das plântulas. Esse efeito positivo também foi relatado por Gornik *et al.* (2008), que observaram aumento de biomassa em mudas de pepino tratadas com quitosana em baixas concentrações.

No que se refere ao óleo essencial de *Mentha piperita*, os resultados indicam que seu uso requer cautela, principalmente em doses mais elevadas. Embora estudos relatem o potencial de óleos essenciais como elicitores e promotores de crescimento vegetal (Silva *et al.*, 2021b), há evidências de efeitos fitotóxicos quando utilizados em concentrações superiores, como também foi observado neste estudo nas doses de 1,00% e 2,00%. Essa toxicidade pode estar relacionada à composição química do óleo essencial de hortelã, que apresenta alta concentração de mentol (até 48%) e mentona (até 20%), além de isomentona, 1,8-cineol e acetato de mentila. Esses compostos, especialmente os monoterpenos como mentol e mentona, são descritos como aleloquímicos capazes de causar danos às membranas celulares e provocar estresse oxidativo em tecidos vegetais (Silva *et al.*, 2021b).

Além disso, esses mesmos compostos apresentam reconhecida bioatividade contra organismos fitopatogênicos. O óleo essencial de *Mentha arvensis* L., por

exemplo, inibiu mais de 80% do crescimento de fungos como *Fusarium*, *Penicillium* e *Aspergillus* em testes in vitro, demonstrando também ação nematicida (Silva *et al.*, 2021b). Essa atividade biocida reforça a hipótese de que, em doses mais altas, tais substâncias possam interferir de forma negativa no metabolismo vegetal, resultando nos efeitos fitotóxicos aqui observados.

É importante destacar que a resposta fisiológica das plântulas à bioformulação seguiu um padrão dose-dependente, com estímulos positivos em doses baixas e efeitos adversos em concentrações mais altas. Essa resposta está em consonância com os resultados de Paulino *et al.* (2013), os quais relataram que, em alface, extratos de hortelã, quando aplicados em baixas doses, podem estimular a germinação, enquanto doses elevadas provocam inibição, caracterizando um limiar ótimo de concentração para o efeito benéfico. Os dados obtidos neste estudo reforçam esse comportamento, evidenciando que, para a bioformulação à base de óleo essencial de hortelã e quitosana, concentrações inferiores a 1% são as mais adequadas para favorecer o desenvolvimento inicial das plântulas, principalmente quanto ao acúmulo de biomassa fresca.

Adicionalmente, diversos estudos apontam que a ação de óleos essenciais sobre sementes pode variar de acordo com sua composição química, concentração, forma de aplicação e a sensibilidade da espécie-alvo, exigindo ajuste criterioso nas formulações (Pinto *et al.*, 2019). Além disso, a combinação de quitosana com outros compostos bioativos pode resultar em efeitos sinérgicos ou antagônicos, a depender da dose e da compatibilidade entre os ativos, conforme observado em formulações contendo óleo e polímeros naturais (Al-hussaini; Ahmed e Salem, 2020). O desempenho observado nas concentrações mais baixas, neste trabalho, sugere uma possível sinergia entre a quitosana e o óleo essencial de hortelã, especialmente quanto ao acúmulo de biomassa fresca, enquanto a elevação da dose compromete esse equilíbrio e favorece o aparecimento de efeitos fitotóxicos.

Portanto, a literatura científica confirma e contextualiza os resultados observados neste estudo, destacando que a eficácia de bioformulações/bioestimulantes naturais não depende apenas da presença de compostos bioativos, mas, sobretudo, do equilíbrio adequado de suas concentrações e da adaptação ao contexto fisiológico da cultura-alvo. Os dados obtidos, assim, contribuem para o aprofundamento do conhecimento sobre o uso seguro e eficiente de bioinsumos no cultivo da alface, oferecendo suporte para

futuras pesquisas com outros modelos de aplicação, outras fases fenológicas e doses ainda mais reduzidas, com vistas à adoção de práticas agrícolas mais sustentáveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a bioformulação natural composta por óleo essencial de *Mentha piperita* e quitosana apresenta potencial para atuar como bioestimulante vegetal, especialmente quando aplicada em baixas concentrações. A dose de 0,25% destacou-se por favorecer o desenvolvimento inicial das plântulas de alface (*Lactuca sativa* L.) sem provocar efeitos fitotóxicos, sendo comparável ao controle em diversos parâmetros fisiológicos e apresentando leve incremento em biomassa fresca.

Os dados obtidos reforçam a importância do ajuste de dose no uso de bioestimulantes naturais, uma vez que concentrações mais elevadas, como 1,00% e 2,00%, comprometeram significativamente o processo germinativo e o crescimento das plântulas. A sensibilidade das respostas fisiológicas às diferentes concentrações evidencia o papel crítico da formulação e do manejo correto desses insumos.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como perspectivas futuras, recomenda-se a realização de testes com concentrações intermediárias, bem como a avaliação do desempenho da formulação sob condições de estresse ambiental e em ensaios em casa de vegetação ou campo. Além disso, estratégias de melhoria da formulação, como a microencapsulação do óleo essencial, podem ser exploradas para reduzir a fitotoxicidade e ampliar a segurança de uso em doses mais elevadas.

REFERÊNCIAS

- AGRO GENICA. **Bioestimulante: o que é e por que seu uso cresce no agronegócio?**. 2025. Disponível em: <https://agro.genica.com.br/2025/03/21/bioestimulante-o-que-e-e-por-que-seu-uso-cresce-no-agronegocio/>. Acesso em: 13 maio 2025.
- AL-HUSSAINI, Z. M.; AHMED, S. F.; SALEM, N. M. Aqueous garlic extract as a plant biostimulant: influence on growth, enzymatic activity and resistance induction in tomato seedlings. **South African Journal of Botany**, v. 130, p. 250–257, 2020.
- ALI, Q. *et al.* Low doses of *Cuscuta reflexa* extract act as natural biostimulants. **Biomolecules**, v. 10, n. 1212, p. 1-30, 2020. (Artigo nº 1212.)
- BAKKALI, F. *et al.* Biological effects of essential oils. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, p. 446–475, 2008.
- BORGHETTI, F.; FERREIRA, A. G. Interpretação de resultados de germinação. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 209-222.
- COSTA, A. G. *et al.* Crescimento vegetativo e produção de óleo essencial de hortelã-pimenta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 534–540, 2012.
- COSTA, J. C. *et al.* Alelopatia de extratos voláteis na germinação de sementes e no comprimento da raiz de alface. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 3, n. 2, p. 2295–2298, 2008.
- COSTA, R. Adoção de bioestimulantes na agricultura brasileira chega a 30% em 2023. **Revista Cultivar**, 21 dez. 2023. Disponível em: <https://revistacultivar.com.br/noticias/adocao-de-bioestimulantes-na-agricultura-brasileira-chega-a-30-em-2023>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- COSTA, K. D. S. *et al.* Influência alelopática de hortelã (*Mentha x villosa* Huds.) sobre emergência de plântulas de alface (*Lactuca sativa* L.). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 16, n. 2, p. 76–85, 2021.
- CROPLIFE BRASIL. **Bioestimulantes: uma nova ferramenta para tratar as plantas**. 2023-2024. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/bioestimulante-uma-nova-ferramenta-para-tratar-as-plantas/>. Acesso em: 13 maio 2025.
- CROPLIFE BRASIL. **Bioinsumos** (página institucional). [2024]. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/bioinsumos/>. Acesso em: 9 jun. 2025.
- CROPLIFE BRASIL. **Mercado de bioinsumos cresceu 15% na safra 2023/2024**. 2024. Disponível em: <https://croplifebrasil.org/mercado-de-bioinsumos-cresceu-15-na-safra-2023-2024/>. Acesso em: 31 maio 2025.

DINIZ, S. P. S. S. *et al.* Bioatividade do óleo essencial de *Mentha arvensis* L. no controle de fungos fitopatogênicos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 10, n. 4, p. 9–11, 2008.

DROBEK, M. *et al.* Biostimulants in plant science: a global perspective. **Agronomy**, v. 9, n. 7, p. 335, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/9/6/335>. Acesso em: 23 jun. 2025.

EL HADRAMI, A.; EL HADRAMI, I.; DAAYF, F. Chitosan in plant protection: a review. **Marine Drugs**, v.8, n.4, p.968–987, 2010.

EMBRAPA. **Bioinsumos: tendência de crescimento no Brasil**. Portal Embrapa Notícias, 08 dez. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/85620702/bioinsumos-tendencia-de-crescimento-no-brasil>. Acesso em: 6 jun. 2025.

EUROPEAN UNION. Regulation (EU) 2019/1009 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019. **Official Journal of the European Union**, L 170/1, 2019. (Legislação da UE sobre fertilizantes, incluindo “estimulantes de plantas”).

FARIA MACHADO, R. A. *et al.* Doses de bioestimulante vegetal e desenvolvimento inicial da soja. In: **Tecnologia e Inovação na Agricultura**, v. 2, p. 49–61, 2023.

FAO. **Chitosan antimicrobial and eliciting properties for pest control in agriculture: a review**. 2022. Disponível em: <https://hal.science/hal-01284280v1/document>. Acesso em: 30 maio 2025.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Em um mundo em aquecimento, a agricultura deve estar no centro da ação climática e da qualidade do ar**. FAO Brasil/Estadão, 27 mar. 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/1735652/>. Acesso em: 6 jun. 2025.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

GARCIA, R. A. *et al.* Atividade antifúngica de óleos e extratos vegetais sobre *Sclerotinia sclerotiorum*. **Bioscience Journal** (Uberlândia), v.28, n.1, p.48-57, 2012.

GORNIK, K.; GRZESIK, M.; ROMANOWSKA-DUDA, B. The effect of chitosan on rooting of grapevine cuttings and on subsequent plant growth under drought and temperature stress. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, v.16, p.333–343, 2008.

GOTTEMS, L. **Mercado de bioestimulantes pode passar dos US\$ 5 bilhões**. Portal Agrolink, 12 fev. 2024. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/mercado-de-bioestimulantes-pode-passar-dos-us-5-bilhoes_488094.html. Acesso em: 07 jun. 2025.

HAYAT, S. *et al.* Aqueous garlic extract as a plant biostimulant. **Applied Sciences**, v. 8, p. 1505, 2018.

HUSSEIN, M. A. *et al.* Effect of two plant extracts on wheat under drought stress. **Egyptian Journal of Agronomy**, v. 43, 2021. Edição especial. Disponível em: https://agro.journals.ekb.eg/article_207263.html. Acesso em: 23 jun. 2025.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013. p. 63–70.

MA, Y.; FREITAS, H.; DIAS, M. C. Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, art. 1024243, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1024243>. Acesso em: 7 jun. 2025.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MELO, P. T. de; NAKAGAWA, J. Germinação de sementes de alface sob altas temperaturas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, p. 126–131, 2008.

MESA, J. *et al.* Chitosan improves seed germination and seedling growth in rice. **Journal of Seed Science**, v. 37, n. 3, p. 196–202, 2015.

MIRMOSTAFEE, S.; AZIZI, M.; FUJII, Y. Study of allelopathic interaction of essential oils on seed germination and seedling growth of lettuce. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 163, 2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Conceitos – Bioinsumos**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/conceitos>. Acesso em: 30 maio 2025.

MORDOR INTELLIGENCE. **Biostimulants Market Size & Share Analysis – Global Plant Biostimulants Market Forecast (2024–2030)**. Austin, TX: Mordor Intelligence, 2024. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/biostimulants-market>. Acesso em: 04 jun. 2025.

PAULINO, C. T.; MELO, C. A. D.; SILVA, A. F. Influência alelopática de hortelã (*Mentha x villosa* Huds.) sobre emergência de plântulas de alface (*Lactuca sativa* L.). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 3, p. 33–42, 2013.

PINTO, L. A. de A.; FIALHO, L. L.; SILVA, E. K. Microencapsulação de óleo de café verde por spray drying a partir de emulsões estabilizadas por lecitina e quitosana. **Revista Brasileira de Pesquisa em Alimentos**, v. 10, n. 2, p. 40–55, 2019.

REHMAN, H. U. *et al.* Moringa leaf extract improves wheat growth and productivity. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 19, p. 479–484, 2017.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G. Synergistic biostimulatory action: designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v.9, art.1655, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01655>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SANTOS, S. C. *et al.* Composição química e ecotoxicidade de óleos essenciais na agricultura. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 17, n. 4, p. 897-906, 2015.

SANTOS, V. M. *et al.* Uso de bioestimulantes no crescimento de plantas de *Zea mays* L. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 3, p. 307–318, 2013.

SILVA, G. L. da *et al.* Aplicação foliar de quitosana no pré-florescimento e seus efeitos na tolerância ao déficit hídrico em feijão-caupi. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 15, n. 4, p. 402–411, 2021a.

SILVA, P. A. da *et al.* Bioatividade do óleo essencial de *Mentha arvensis* L. no controle de fungos fitopatogênicos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 23, n. 2, p. 250–258, 2021b.

SILVA, T. A. da *et al.* Germinação de sementes de alface sob altas temperaturas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 1, p. 33–39, 2020.

SOARES, L. R.; VELINI, E. D. Influência alelopática de hortelã sobre emergência de plântulas de alface. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 2, p. 329–337, 2014.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. Disponível em: https://www.meulivro.biz/biologia/biologia-vegetal/1467/fisiologia-e-desenvolvimento-vegetal-taiz-6-ed-pdf/?utm_source=google.com. Acesso em 10 mai. 2025.

TURGUT, K.; COŞKUN, Y. Chemical composition of essential oils of peppermint and spearmint dry leaves and their allelopathic effects on wheat species. **Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology**, v. 9, n. 9, p. 1604–1610, 2021.

VALENT BIOSCIENCES. **Product guide 2024 – Biostimulants**. 2024. Disponível em: https://www.valentbiosciences.com/.../Product_Guide_2024_Valent_BioSciences_Biostimulants.pdf. Acesso em: 5 jun. 2025.

XU, L.; GEELEN, D. Developing biostimulants from agro-food and industrial by-products. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1–11, 2018.

YAKHIN, O. I. *et al.* Biostimulants in plant science: A global perspective. **Frontiers in Plant Science**, v.7, 2017.

RAHMAN, M. *et al.* The role of biostimulants in sustainable agriculture: a review. **Agronomy**, v. 11, n. 5, p. 823, 2021.