



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

OSMAR JOSÉ CHAVES JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DAS CULTURAS DO BRÓCOLIS E
TOMATE COM BIOESTIMULANTES**

Londrina

2023

OSMAR JOSÉ CHAVES JÚNIOR

**DESENVOLVIMENTO DAS CULTURAS DO BRÓCOLIS E
TOMATE COM BIOESTIMULANTES**

Tese apresentada para defesa ao
Programa de Pós-Graduação em
Agronomia - Curso de Doutorado da
Universidade Estadual de Londrina.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Ursi Ventura

Londrina

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

C512d Chaves Junior, Osmar Jose.
Desenvolvimento das culturas do brócolis e tomate com bioestimulantes / Osmar Jose Chaves Junior. - Londrina, 2023.
59 f. : il.

Orientador: Mauricio Ursi Ventura.
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2023.
Inclui bibliografia.

1. Agricultura orgânica - Tese. 2. Solanum lycopersicum - Tese. 3. Brassicaceae oleracea - Tese. 4. Cultivo protegido - Tese. I. Ventura, Mauricio Ursi . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

OSMAR JOSÉ CHAVES JÚNIOR

DESENVOLVIMENTO DAS CULTURAS DO BRÓCOLIS E TOMATE COM BIOESTIMULANTES

Tese apresentada para defesa ao
Programa de Pós-Graduação em
Agronomia - Curso de Doutorado da
Universidade Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof.Dr. Mauricio Ursi Ventura
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Amarildo Passini
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Otávio Abi Saab
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Fernando Teruhiko Hata
Universidade Estadual de Maringa - UEM

Prof. Dr. Rodrigo Yudi Palhaci Marubayashi
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 30 de Agosto de 2023.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me permitido completar essa etapa tão importante em minha vida, me abençoando e guiando a todo instante.

À minha família, em especial meus pais Osmar e Dyane Chaves e minha namorada Juliane Gouvea por todo suporte e afeto, necessários durante esse processo.

Aos grandes amigos Pedro Amaducci, Matheus Aching, Murilo Pita, Luis Brunello e Fernando Lazzarinni por me acompanhar em todos os momentos dessa jornada.

Ao professor e grande exemplo, Maurício Ursi Ventura, que me orientou durante esse processo; cujo suporte foi indispensável e essencial para a execução e conclusão desse trabalho.

Ao amigo, mentor e professor Otávio Abi Saab, pela presença e palavra companheira em todos os momentos desde a graduação até o presente momento.

Ao Professor Juliano Tadeu Vilela de Resende pelas contribuições e pela cessão da estrutura do Laboratório de Olericultura.

Ao Professor Fernando Teruhiko Hata pelas muitas e importantes contribuições ao longo do desenvolvimento dos trabalhos.

Aos vários e várias colegas que me auxiliaram em diferentes momentos ao longo das atividades desenvolvidas, entre os quais destaco Antônio Radi, Leonel Constantino, Marco Brugnerotto, Gianne Caroline, Jean Baudraz, ao saudoso amigo Osvaldo Matsuo e a todos os demais que aqui não caberiam nomear.

À empresa Sakata, que saúdo em especial José Vido, Davi Nunes e Sergio Hanai, que sempre me apoiaram e incentivaram na realização do trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa durante os anos iniciais do doutorado.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, por todo suporte fornecido durante a realização dos trabalhos.

A todos que de alguma forma contribuíram para que esse trabalho fosse realizado e concluído.

CHAVES JUNIOR, Osmar José. **Desenvolvimento das culturas do brócolis e tomate com bioestimulantes**. 2023. 59 f. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR, 2023.

RESUMO

A sustentabilidade deve ser inerente ao manejo agrícola, visando, de maneira eficiente reduzir a severidade de ataques de pragas e patógenos e melhorar a produtividade. Compostos bioestimulantes, como silício, quitosana e ácido salicílico, metil salicilato, ácido ferúlico, fenantrolina, dentre outros, têm apresentado resultados promissores em estudos ligados à produção vegetal. Os trabalhos têm por objetivo avaliar os efeitos de compostos bioestimulantes e suas combinações no desenvolvimento do brócolis e do tomateiro. Os experimentos foram conduzidos na Universidade Estadual de Londrina, o artigo A buscou comparar a influencia do tipo de cultivo frente aos tratamentos administrados, o ensaio foi conduzido em diferentes condições de cultivo: cultivo protegido e em condições externas. Os tratamentos foram aplicados via embebição de semente, sendo de 1 a 5 doses crescentes de fenantrolina, 5 a 10 doses crescentes de ácido ferúlico, ácido salicílico, silício e testemunha (sem tratamento). Foram avaliados, em fase de muda, massa fresca e seca de parte aérea e raiz por meio de pesagem e perímetro, volume e área superficial por meio do software *GiaRoots*, na etapa reprodutiva, os frutos foram pesados determinando-se então a massa fresca de fruto por planta (MFFP). As avaliações bioquímicas foram: teor de proteínas totais e atividade enzimática (peroxidase, fenil amoníase e catalase). O estudo constatou que os tratamentos não afetaram o teor de proteínas e a atividade de enzimas específicas. Uma análise de componentes principais (ACP) também foi utilizada, demonstrando distinções entre os tipos de cultivo (protegido e externo). Os tratamentos de Silício, Fenantrolina (2 g L⁻¹) e ácido ferúlico (4, 8 e 10 g L⁻¹) possivelmente proporcionaram incremento de produtividade ao tomate, quando em condições de cultivo protegido. O artigo B visou avaliar o efeito do uso de bioestimulantes no cultivo de brócolis e tomate em manejo orgânico. Os tratamentos utilizados foram: Quitosana, *Ascophyllum nodosum*, Metil Salicilato, Silício, sendo aplicados de maneira isolada ou em combinações, a testemunha não recebeu pulverizações. Foram avaliados massa fresca e seca de parte aérea e raízes de mudas, atividade enzimática (peroxidase, fenil amoníase e catalase) e teor de proteínas totais, condutância estomática que apresentou maiores valores nos tratamentos de *Ascophyllum*, tanto para brócolis quanto para o tomate. Os dados da fase reprodutiva foram medidos pela pesagem de frutos por plantas (MFFP) em tomate e para o brócolis, não foi possível alcançar a etapa reprodutiva devido aos intemperies climáticos regionais. Novamente os tratamentos de *Ascophyllum nodosum* e sua combinação com quitosana demonstraram os maiores valores. Por meio de uma ACP verificou-se que os tratamentos bioestimulantes possuem influencia nas variáveis de atividade enzimática, ao passo que a testemunha se comporta de maneira oposta. Também foi realizada uma comparação entre os manejos utilizados nas diferentes safras, isolando o tratamento de Silício que foi comum em ambos os experimentos; nota-se uma possível influencia do manejo no comportamento das variáveis estudadas. Por fim, os resultados do trabalho demonstram que aplicação de bioestimulantes, com base no tipo e manejo do cultivo, pode ser uma ferramenta valiosa para aprimorar a

produção e a qualidade das plantas cultivadas. Portanto, esta é uma área promissora para pesquisas futuras em agricultura.

Palavras-chave: Agricultura orgânica. *Solanum lycopersicum*, *Brassicae oleracea*, cultivo protegido, atividade enzimática.

CHAVES JUNIOR, Osmar José. **Development of broccoli and tomato crops with bio-stimulants**. 2023. p. 59. Thesis presented to Post-graduate Program in Agronomy – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

ABSTRACT

Sustainability should be inherent in agricultural management, aiming to efficiently reduce the severity of pest and pathogen attacks and improve productivity. Bio-stimulant compounds such as silicon, chitosan, salicylic acid, methyl salicylate, ferulic acid, phenanthroline, among others, have shown promising results in studies related to plant production. The objective of the research was to evaluate the effects of bio-stimulant compounds and their combinations on the development of broccoli and tomato plants. The experiments were conducted at the State University of Londrina. The study aimed to compare the influence of the type of cultivation against the administered treatments, and the trial was conducted under different cultivation conditions: protected and external cultivation. The treatments were applied via seed soaking, with 1 to 5 increasing doses of phenanthroline, 5 to 10 increasing doses of ferulic acid, salicylic acid, silicon, and control (without treatment). In the seedling stage, fresh and dry weight of shoot and root were evaluated through weighing and perimeter, volume, and surface area were determined using the *GiaRoots* software. In the reproductive stage, the fruits were weighed, determining the fresh fruit weight per plant (FFWP). The biochemical evaluations included total protein content and enzymatic activity (peroxidase, phenylalanine ammonia-lyase, and catalase). The study found that the treatments did not affect the protein content or activity of specific enzymes. A principal component analysis (PCA) was also used, showing distinctions between the types of cultivation (protected and external). The treatments of silicon, phenanthroline (2 g L⁻¹), and ferulic acid (4, 8, and 10 g L⁻¹) possibly provided productivity improvement to the tomato plants when under protected cultivation conditions. Study B aimed to evaluate the effect of using bio-stimulants in organic cultivation of broccoli and tomato plants. The treatments used were chitosan, *Ascophyllum nodosum*, methyl salicylate, silicon, applied either alone or in combination, with the control group receiving no sprays. Fresh and dry weight of shoot and roots of seedlings, enzymatic activity (peroxidase, phenylalanine ammonia-lyase, and catalase), total protein content, and stomatal conductance were evaluated. The highest values of stomatal conductance were observed in the *Ascophyllum* treatments, both for broccoli and tomato plants. The data from the reproductive stage were measured by weighing the fruits per plant (FFWP) in tomato plants. For broccoli, it was not possible to reach the reproductive stage due to regional weather conditions. Again, the *Ascophyllum nodosum* treatments and their combination with chitosan showed the highest values. Through PCA, it was verified that bio-stimulant treatments have an influence on enzymatic activity variables, while the control group behaves oppositely. A comparison was also made between the management techniques used in different crops, isolating the silicon treatment, which was common in both experiments. A possible influence of management on the behavior of the studied variables was noted. Finally, the results of the studies demonstrate that the application of bio-stimulants, based on the type and management of cultivation, can be a valuable tool to improve the production and

quality of cultivated plants. Therefore, this is a promising area for future research in agriculture.

Key words: Organic agriculture. *Solanum lycopersicum*, *Brassicae oleracea*, protected cultivation, enzymatic activity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 2.3.1** Representação esquemática da resistência sistêmica adquirida e induzida desencadeada por infecção patogênica (RSA) e por associação com agente de biocontrole (RSI). 9
- Figura 2.5.1** Esquema de preparação de quitina/quitosana a partir do exoesqueleto de crustáceos. 12
- Figura 2.5.2** Esquema de preparação de quitina/quitosana a partir do exoesqueleto de crustáceos. 13
- Figura 2.6.1** Representação das rotas metabólicas para biossíntese de ácido salicílico e seu metabolismo. Rotas derivadas da via do ácido chiquímico ocorridas via fenilalanina amônia liase (FAL) e isocorismato (IC) 16
- Figura 2.7.1** O extrato de *Ascophyllum nodosum* melhora o crescimento de várias culturas por diferentes modos de ação. 18
- Figura 3.2.1** Transplântio das mudas de tomate do experimento em condições de cultivo externo e em estufa no Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, 2020. 23
- Figura 3.2.2** Fotografia da raiz de muda de tomate para utilização em software GiaRoots. Universidade Estadual de Londrina, 2020). 24
- Figura 3.3.1** Análise de componentes principais (ACP) das características de massa fresca de fruto por planta (MFFP) e da atividade enzimática do tomateiro em condições de cultivo em área externa (CE) e protegida (CP). 30
- Figura 4.2.1** Manejo de desfolha do tomate, realizado para colheita das duas primeiras pencas totalmente formadas, Universidade Estadual de Londrina, 2021 35
- Figura 4.2.2** Determinação da condutância estomática dos tomates Grazzianni, em vaso, realizada com auxílio de um 50 porômetro de difusão dinâmica modelo SC-1 (Decagon Devices). Universidade Estadual de Londrina, PR, 2021. 36
- Figura 4.3.1** Análise de componentes principais (ACP) do teor de proteínas totais, atividade enzimática, condutância estomática e massa fresca por planta (MFFP), em função dos tratamentos bioestimulantes. 42
- Figura 4.3.2** Análise de componentes principais (ACP) do teor de proteínas totais, atividade enzimática, massa fresca por planta (MFFP), teor de sólidos solúveis, de tomateiros submetidos ao uso de silício em manejo convencional (2020) e orgânico (2021). 43

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela 3.3.1 Massa seca em gramas de Parte Aérea e Raiz de mudas de tomate submetidas aos compostos bioestimulantes. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2020.</u>	26
<u>Tabela 3.3.2 Análise de raízes de mudas de tomateiro submetidas à tratamentos estimulantes ao desenvolvimento. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2020.</u>	27
<u>Tabela 3.3.3 Quantificação do teor de proteínas totais e atividade das enzimas catalase, peroxidase e fenilalanina amônia-liase em tomate sob cultivo protegido. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2020.</u>	28
<u>Tabela 3.3.4 Massa fresca de frutos por planta (MFFP) e número de frutos no tomate em diferentes condições de cultivo. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2020.</u>	29
<u>Tabela 4.3.1 Condutância estomática e níveis de clorofila em brócolis. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2021.</u>	37
<u>Tabela 4.3.2 Condutância estomática e níveis de clorofila em Tomate (Estufa). Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2021.</u>	38
<u>Tabela 4.3.3 Massa seca (g) da parte aérea (P.A.) e raiz mudas de Brócolis. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2021.</u>	38
<u>Tabela 4.3.4 Proteínas totais, Catalase, Peroxidase e FAL em tomate cultivado em campo. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2021.</u>	39
<u>Tabela 4.3.5 Massa fresca de frutos por planta do tomate sob tratamentos bioestimulantes. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2021.</u>	41

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

AF	Ácido Ferúlico
AJ	Ácido Jasmônico
AS	Ácido Salicílico
ACP	Análise de componentes Principais
CAT	Catalase
COV	Compostos orgânicos voláteis
DAS	Dias após semeadura
DAT	Dias após transplântio
EAN	Extrato de <i>Ascophyllum nodosum</i>
ET	Etileno
FAL	Fenilalanina amônia-liase
IC	Isocorismato
MFFP	Massa fresca de fruto por planta
MFFPCE	Massa fresca de fruto por planta em cultivo externo
MFFPCP	Massa fresca de fruto por planta em cultivo protegido
PA	Parte aérea
POD	Peroxidase
PPO	Polifenol oxidase
RSA	Resistência sistêmica adquirida
RSI	Resistência sistêmica induzida
SOD	Superóxido desmutase (SOD)

SUMÁRIO

1. <u>INTRODUÇÃO</u>	5
2. <u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	6
2.1. <u>Importância da indução de resistência na agricultura</u>	6
2.2. <u>Efeitos associados à indução de resistência</u>	7
2.3. <u>Tipos de Indução de Resistência</u>	8
2.4. <u>Silício</u>	9
2.5. <u>Quitosana</u>	11
2.6. <u>Ácido Salicílico</u>	14
2.7. <u><i>Ascophyllum nodosum</i></u>	16
2.8. <u>Ácido ferúlico</u>	18
2.9. <u>Fenantrolina</u>	19
3 <u>ARTIGO A: O EFEITO DE COMPOSTOS BIOESTIMULANTES NA ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE TOMATEIROS CULTIVADOS EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO</u>	20
3.1 <u>Introdução</u>	21
3.2 <u>Material E Métodos</u>	21
3.2.1 <u>Descrição da Área Experimental</u>	21
3.2.2 <u>Avaliações agronômicas</u>	23
3.2.3 <u>Atividade enzimática</u>	24
3.2.4 <u>Análise Estatística</u>	25
3.3 <u>Resultados e discussão</u>	25
3.3.1 <u>Conclusão</u>	30
4 <u>ARTIGO B: O USO DE BIOESTIMULANTES NA AGRICULTURA ORGÂNICA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA O CULTIVO DE HORTALIÇAS</u>	31
4.1 <u>Introdução</u>	32
4.2 <u>Material E Métodos</u>	33
4.3 <u>Resultados e Discussões</u>	37
4.4 <u>Conclusão</u>	44
5 <u>CONCLUSÕES GERAIS</u>	45
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	46

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que a população mundial deve aumentar de 7,5 bilhões para aproximadamente 9,7 bilhões de pessoas até 2050. Essa estimativa reforça o imenso desafio que a agricultura enfrenta: produzir alimentos em grande quantidade e de maneira sustentável. O consumo de hortaliças acompanha o desenvolvimento sendo imprescindível a uma alimentação balanceada, no Brasil, esse cultivo é praticado predominantemente pela agricultura familiar, que por sua vez encontra adversidades à produção.

A melhoria das técnicas e tecnologias disponíveis, caminha *pari passu* aos desafios encontrados no cenário atual e futuro, tornando a horticultura mais eficiente e sustentável. As culturas estão expostas diferentes tipos de estresses e ameaças que comprometem seu desenvolvimento e necessitam de intervenções para alcançar patamares de produtividade satisfatórios. Diversas ferramentas que outrora eram empregadas pontualmente, como controle químico, técnicas de cultivo, manejo do solo, entre outras, são constantemente revisadas para proporcionar uma melhor performance de maneira sustentável.

As plantas possuem mecanismos de defesa, que funcionam de maneira eficaz e sustentável contra patógenos e herbívoros, seu funcionamento é distinto ao controle químico que comumente é utilizado. São diversas rotas metabólicas responsáveis pela manutenção da progressão dos danos causados por algum estresse, vários compostos químicos estão envolvidos nesses processos e ainda não tem seu funcionamento completamente explicado.

A redução da severidade do ataque de pragas e patógenos, melhoria nos atributos morfoagronômicos, aumento de atividade bioquímica, são alguns dos benefícios proporcionados pelos indutores de resistência nas plantas, podendo se estender até a fase pós-colheita da hortaliça. Substâncias como silício, quitosana e ácido salicílico têm apresentado resultados promissores em diversos estudos ligados à produção vegetal, evidenciando um grande potencial como ferramenta alternativa de manejo.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito de compostos bioestimulantes e suas combinações no desenvolvimento do brócolis e do tomateiro.

2.

REVISÃO DE LITERATURA

2.1. IMPORTÂNCIA DA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA NA AGRICULTURA

O modelo de agricultura atual baseia-se no cultivo intensivo das culturas, o que por diversas vezes culmina na seleção de patógenos e pragas, que por sua vez tornam-se resistentes e adaptadas aos controles habituais (manejo químico e genético). Por essa razão, o uso racional dessas substâncias e tecnologias são fundamentais; todavia carecem de alternativas que as proporcionem maior assertividade e eficiência de manejo (PEREIRA et al., 2021).

A agricultura, cada vez mais, tem se pautado em técnicas associadas para a obtenção de resultados satisfatórios de produção. O conjunto de ações integradas para assegurar um produto agropecuário em quantidade, qualidade e segurança para o consumidor, deve ser realizado com critério e emprego de técnicas, que combinadas assegurem essa proposta de maneira sustentável. Nesse sentido, práticas como manejo integrado de pragas e doenças, melhoramento genético, uso de controle biológico, cultivo consorciado, dentre outros; vem sendo amplamente difundidas, pois são técnicas que garantem ao produtor bons resultados pautados em tomadas de decisões assertivas (WEZEL et al., 2020).

A indução de resistência é uma temática abordada na atualidade, que se consiste em mais uma ferramenta a fim de contribuir na construção de um manejo mais sustentável e eficiente (CONRATH, 2006). Esse conceito é utilizado há muitos anos com seu primeiro relato por Ray & Beauverie (1901) no mundo, onde esporos de *Botrytis cinerea* foram pulverizados em begônias e os autores comprovaram a ativação de mecanismos de defesa ao patógeno. No Brasil, os primeiros relatos de estudos de indução de resistência são do ano de 1970, pela pesquisadora Walkyria Moraes do Instituto Biológico de São Paulo, a qual realizou trabalhos com ferrugem do café, induzindo a ativação dos mecanismos de defesa da planta por meio de pulverização de *Saccharomyces cerevisiae* e esporos atenuados de *Colletotrichum lagenarium* (BONALDO; PASCHOLATI; ROMERO, 2003).

Uma vez que são apresentados diversas interferências e obstáculos para o desenvolvimento vegetal, as plantas desenvolveram mecanismos de defesa. As plantas, em sua constituição, apresentam estruturas de impedimento de entrada de patógenos e formas de defesa contra o ataque de herbívoros. As formas de

resistência, em sua grande maioria, são classificadas como pré-formadas (fitoanticipinas), quando independem do contato com a praga ou patógeno (cutícula espessa, tricomas) e pós-formadas (fitoalexinas), em que necessariamente a planta a manifesta como forma de resposta a ameaça (enzimas hidrolíticas, fitoalexinas, espécies reativas de oxigênio, pectina, lignina) (ARIMURA; KOST; BOLAND, 2005).

2.2. EFEITOS ASSOCIADOS À INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA

Os efeitos da indução de resistência não estão estritamente ligados a mecanismos de defesa, uma vez que esses também atuam sobre o desenvolvimento da planta e podem, também, conferir melhoria em diversos atributos químicos e morfoagronômicos que não estão diretamente ligados aos mecanismos clássicos de indução de resistência (SANTOS et al., 2007).

O conhecimento total das rotas metabólicas e suas interações ainda não é completamente compreendido, tampouco a complexidade das sinalizações que ocorrem entre planta-patógeno/praga-ambiente. O processo de indução de resistência confere às plantas benefícios que vão além da própria construção de um mecanismo de defesa propriamente dito, por vezes, esses indutores acarretam modificações metabólicas que conferem às plantas melhorias em seu desempenho (KOLESNIKOV et al., 2019).

A horticultura é muito impactada pelo uso de substâncias que atuam nas rotas metabólicas primárias e secundárias das plantas, por essa razão estudos que verifiquem os efeitos causados por tais compostos e seus derivados são de muita valia. Resultados como os obtidos por Hernández-Santiago et al. (2020), observando os efeitos do uso de *Bacillus spp.* e suas combinações com indutores de resistência, demonstraram uma melhora no desenvolvimento radicular do tomateiro; já Adamuchio-Oliveira et al. (2020), verificaram aumento na produtividade do tomate submetido a tratamento com quitosana e cobre quelado.

Os estudos supracitados exemplificam que o manejo por meio de substâncias indutoras de resistência e/ou promotoras de crescimento contribuem no desempenho do cultivo de hortaliças e possuem menor impacto ambiental. A horticultura muitas vezes é conhecida pelo uso indiscriminado de insumos agrícolas, como fertilizantes e agrotóxicos, portanto, o conhecimento de substâncias

bioestimulantes é fundamental para um manejo sustentável. (DUMAS; PRIGENT-COMBARET, 2022).

2.3. TIPOS DE INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA

Para melhor categorizar as formas de defesa, consideram-se os compostos que servem de barreira física, como estruturais; já os que estimulam a produção de compostos químicos, tóxicos e/ou repelentes são denominados de mecanismo de defesa bioquímica (PASCHOLLATI; LEITE, 1994). As defesas bioquímicas podem afetar os herbívoros de maneira direta quando a intoxicação, repelência ou composição anti-nutricional é decorrente de compostos do metabolismo secundário e de maneira indireta quando esse é decorrente da emissão de compostos orgânicos voláteis (COV), sendo esses repelentes às pragas e/ou atrativos aos inimigos naturais (AL-JUTHERY et al., 2020).

A síntese de compostos químicos indutores da resistência do vegetal é ativada por eliciadores derivados da secreção oral de herbívoros e por padrões moleculares associados ao dano/perigo (Pathogen-associated molecular pattern, PMAP) (PINTO-ZEVALLOS et al.; 2013). Esses compostos, por sua vez, são modulados pela mudança nos níveis de fitohormônios: ácido salicílico (AS), ácido jasmônico (AJ) e etileno (ET) (Figura 2.3.1) (HATCHER et al., 2004).

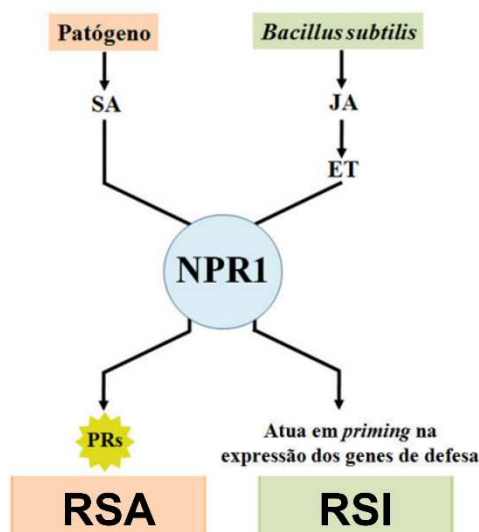
Existem dois tipos de indução dos mecanismos de defesa vegetal (Figura 2.3.1); a resistência sistêmica adquirida (RSA) e induzida (RSI), elas diferem em função do agente indutor, rotas envolvidas e ao espectro de proteção proporcionado. A resistência adquirida é decorrente da interação da planta com um elicitor biótico ou abiótico; seja um produto químico específico ou patógeno não virulento, o principal composto envolvido nesse mecanismo é o ácido salicílico para que então ocorra sua ativação. Já a resistência induzida é ativada por um elicitor biótico como ocorre, por exemplo, na associação de bactérias promotoras de crescimento e o sistema radicular das plantas, os principais compostos relacionados são o ácido jasmônico e etileno (VALLAD, GOODMAN; 2004).

A presença de proteínas relacionadas, de alguma maneira, à patogênese (quitinase, glucanase, PR1, catalase, preoxidase) são indicadores de ocorrência de processos indutores de resistência, por essa razão torna-se imprescindível estudar os efeitos da aplicação de elicitores e sua resposta filotécnica

em determinadas culturas, a fim de entender melhor suas relações e efeitos (LLORRENS, GARCIA-AGUSTIN, LAPEÑA; 2017).

Estudos como o realizado por Pye et al. (2013) demonstraram que a utilização de ácido salicílico pode garantir a proteção de plantas de tomate contra *Pseudomonas syringae pv. tomato* e *Phytophthora capsici*; os autores Rowen et al. (2017) verificaram controle de *Cladosporium* e *Alternaria* por meio de aplicações de metil salicilato também em tomate; resultados convergentes que evidenciam o benefício proporcionado pela indução dos mecanismos de defesa vegetal.

Figura 2.3.1 Representação esquemática da resistência sistêmica adquirida e induzida desencadeada por infecção patogênica (RSA) e por associação com agente de biocontrole (RSI).



Fonte: Adaptado de LANNA FILHO et al., 2010.

A proteção conferida pela indução de resistência das plantas pode ser explorada no fortalecimento dos mecanismos de defesa antes mesmo da praga ocorrer, uma vez o contato com essas substâncias pode desencadear as reações que outrora aconteceriam somente no momento do ataque (BEKTAS; EULGEM, 2015). Produtos que possuem em sua composição Silício, Quitosana, Acilbenzolar-S-metil e Metil salicilato têm mostrado resultados promissores que apontam uma possível construção de resistência e melhoria na produtividade (WARABIEDA, MARKIEWICZ, WOJCIK; 2020).

2.4. Silício

O silício é encontrado abundantemente na crosta terrestre, classificado como elemento benéfico às plantas, não sendo considerado como elemento essencial para o desenvolvimento completo, entretanto sua participação nos processos fisiológicos das plantas pode ser considerada fundamental (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

A maior parte do silício absorvido pelas plantas é incorporada na construção de parede celular, compondo as células da epiderme, estômatos, tricomas, dentre outros. Este depósito de silício nessas estruturas, conferem a planta maior resistência à danos mecânicos, estudos sugerem que o aporte desse elemento reduz os danos causados por insetos herbívoros, dificultando a alimentação da praga e ocasionando possível mortalidade (GOUSSAIN et al., 2002).

Além de funcionar como componente de resistência estrutural, tornando o tecido vegetal mais resistente ao dano, o silício tem se demonstrado importante funcionamento como indutor/ativador de enzimas de defesa da planta, ele é absorvido pelas plantas preferencialmente na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4). Trabalhos apontam a participação do elemento em resposta ao dano causado pelo herbívoro, o silício, possivelmente ativa rotas metabólicas que desencadeiam os processos de indução de resistência (LUYCKX et al., 2017; HASSAN; BYOUNG, 2018; LEROY et al., 2019).

O Silício vem sendo amplamente debatido e estudado. Parte considerável dessa literatura associa esse elemento a alguma função de defesa estrutural contra pragas e doenças; plantas que em algum momento de seu ciclo foram tratadas Silício, desenvolveram estruturas físicas de resistência, adicionalmente alguns desses pesquisadores mostraram que o Silício também intermedia processos de defesa bioquímicos promovendo e efeitos ainda não foram completamente explicados (BAKHAT et al., 2018).

Existem diversos estudos que contemplam a aplicação do silício em alguma medida, proporcionando assim benefícios para a cultura em questão, como Gomes et al. (2008) e Alyousuf (2022) que constataram a indução de resistência, ao ataque de *Myzus persicae*, na cultura da batata e do tomate, respectivamente, tal efeito é verificado, também, em um dos principais desafios da tomaticultura atual, controle da traça do tomateiro (*Tuta absoluta* (Lepidoptera:Gelechiidae)) (Santos et al., 2015; Alyousuf et al., 2022)

Uma das possíveis explicações para os resultados positivos obtidos pelo uso do Silício, foi constatada por YE et al. (2013) observando seus efeitos na cultura do arroz; os resultados demonstraram a facilitação na produção de enzimas defensivas como catalase (CAT), peroxidase (POD), superóxido dismutase (SOD), polifenol oxidase (PPO) e fenilalanina amônia-liase (FAL), enzimas que possuem função regulatória dentro do metabolismo secundário (YE et al., 2013; HAN et al., 2016). A produção enzimática, está relacionada à diversas características de defesa da planta como, a própria biossíntese de lignina, produção de fitoalexinas e compostos fenólicos que por sua vez, possuem efeitos nocivos para pragas e doenças. (Santos et al., 2015).

O Silício também é considerado um elemento benéfico e “semi essencial” por alguns autores (EPSTEIN; BLOOM, 2004), uma vez que, em caso de sua privação, verifica-se anomalias no crescimento e desenvolvimento das plantas. Seu efeito bioestimulante confere muito mais do que apenas uma resistência física (LUYCKX et al., 2017). Alterações como redução da taxa transpiratória, redução da toxicidade por metais e salinidade (Mn, Fe, Al e Na), além da melhora na absorção de outros elementos, como fósforo. (LANA et al., 2003).

Os efeitos da utilização do silício englobam processos importantes, tanto na fisiologia das plantas, quanto na parte química do solo. Portanto, são necessários estudos que direcionem seus esforços para identificação do momento, fonte e forma de aplicação adequadas para cada espécie cultivada, além do melhor entendimento de suas interações com os demais elementos que estão envolvidos nesse processo (Santos et al., 2021).

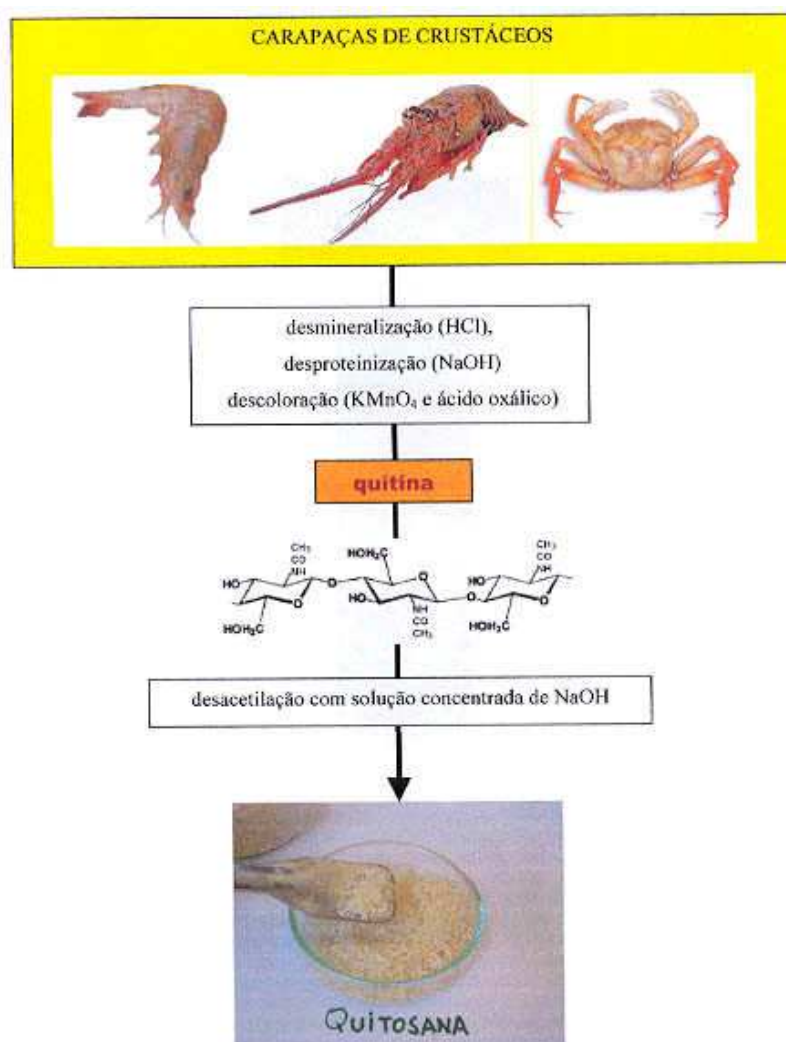
2.5. QUITOSANA

A quitosana pode ser considerada um polímero natural oriundo da desacetilação da quitina; é um amino polissacarídeo, insolúvel em água, mas sim em soluções com ácido acético, ácido fórmico e ácidos minerais, tornando-se polieletrólito catiônico (AZEVEDO et al., 2007).

Sua aplicação é encontrada em diversas atividades e pode ser utilizada em várias maneiras nas ciências da saúde, indústria farmacêutica e alimentícia; sendo um biopolímero funcional, possui potencial industrial biomédico,

tais como, regeneração tecidual, biossensoriamento e no desenvolvimento de fármacos de uma maneira geral (Figura 2.5.1) (LARANJEIRA; FÉVERE, 2009).

Figura 2.5.1 Esquema de preparação de quitina/quitosana a partir do exoesqueleto de crustáceos.



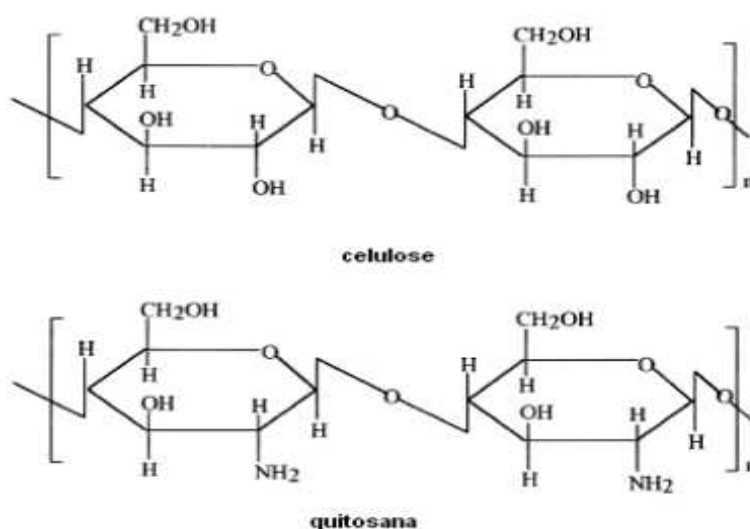
Fonte: Yamaura, 2006.

A quitosana possui estrutura molecular muito similar à celulose (Figura 2.5.2), no entanto, a primeira contém grupos aminos (NH_2) dispostos em sua estrutura geral, ao passo que os grupos hidroxila (OH) compõem a molécula de carboidrato para celulose. Tal conformação garante solubilidade para a quitosana em meio ácido diluído; com a adição de prótons (protonação) ao meio, conferimos propriedades diferenciadas em relação às fibras vegetais.

Ao longo dos anos foram de fungos, como a formação micelial, a hipótese mais provável sobre a ação da quitosana desenvolvidas diversas hipóteses

para explicar de que forma a quitosana conferia proteção, principalmente contra patógenos. Como elicitor natural e agente antifúngico a quitosana tem se mostrado muito eficiente; respostas como aumento na atividade enzimática, concentração de fitoalexinas e compostos antioxidantes são sinais de que tal biopolímero possui função indutora de mecanismos de defesa (MOHAMMED; ZEITAR; ESKOV, 2019; RODRÍGUEZ-GUZMÁN et al., 2019).

Figura 2.5.2 Esquema de preparação de quitina/quitosana a partir do exoesqueleto de crustáceos.



Fonte: Adaptado de AZEVEDO et al., 2007.

A aplicação da quitosana em atividades agrícolas tem se tornado cada vez mais comum, uma vez que sua obtenção possui um custo relativamente baixo e por se tratar de um insumo natural, que dificilmente apresentará risco aos envolvidos desta cadeia de produção. A utilização dessa molécula se justifica diante de diversos benefícios proporcionados como seu efeito antimicrobiano, formação de biofilme protetor, preservando então frutos e legumes e pelo seu potencial indutor de resistência (KATIYAR; HEMANTARANJAN; SINGH, 2015).

A pesquisa agrícola sobre os efeitos do uso da quitosana tem avançado em diversas culturas, existem relatos da aplicação de biofilmes enriquecidos com quitosana contribuindo para redução de severidade de doenças como antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) no feijão (PIERO; GARDA, 2008), controle de aflatoxinas de *Aspergillus parasiticus* em amendoim (SILVA et al., 2015), além de resultados apontarem uma atuação positiva da aplicação foliar de quitosana

em morangueiro, mantendo as características sensoriais, físico-químicas e microbiológicas pós-colheita, e ainda inviabilizando o desenvolvimento fúngico nos tratamentos avaliados (MELO et al., 2020).

A indução de resistência é um dos estímulos proporcionados pelo uso da quitosana, sua aplicação implica em benefícios que englobam todas as fases do desenvolvimento das plantas, atuando desde a etapa da semeadura e perdurando até a pós-colheita do fruto. Nesse sentido, são necessários estudos que aprofundem as respostas obtidas pela aplicação desse biopolímero no cultivo agrícola (PICHYANGKURA; CHADCHAWAN, 2015).

2.6. ÁCIDO SALICÍLICO

A produção agrícola possui interferência direta de eventos que podem limitar a obtenção de bons resultados; o estresse abiótico é preponderante nos processos fisiológicos vegetais. Exposição a temperaturas extremas, salinidade, excesso de radiação e restrição hídrica são algumas das intempéries que as culturas estão expostas e conseqüentemente limitam a produtividade, uma vez que esses fatores são limitantes ao cultivo. A atividade antrópica cada vez mais acelera a necessidade de ferramentas alternativas que viabilizem o cultivo de maneira sustentável. (KHAN et al., 2015; HASANUZZAMAN, et al., 2017).

O impacto adverso, causado pelo estresse abiótico em plantas, poderá afetar 70% do rendimento das culturas alimentares básicas e diminuir a produção agrícola em mais de 50%; por essa razão é vital que a performance e sustentabilidade sejam preservadas e aprimoradas em diversas frentes de manejo. O uso de indutores de resistência e aplicação exógena de moléculas fitoprotetoras, vai ao encontro das necessidades apresentadas pelo desafio da produção de alimentos (MANTRI et al., 2012).

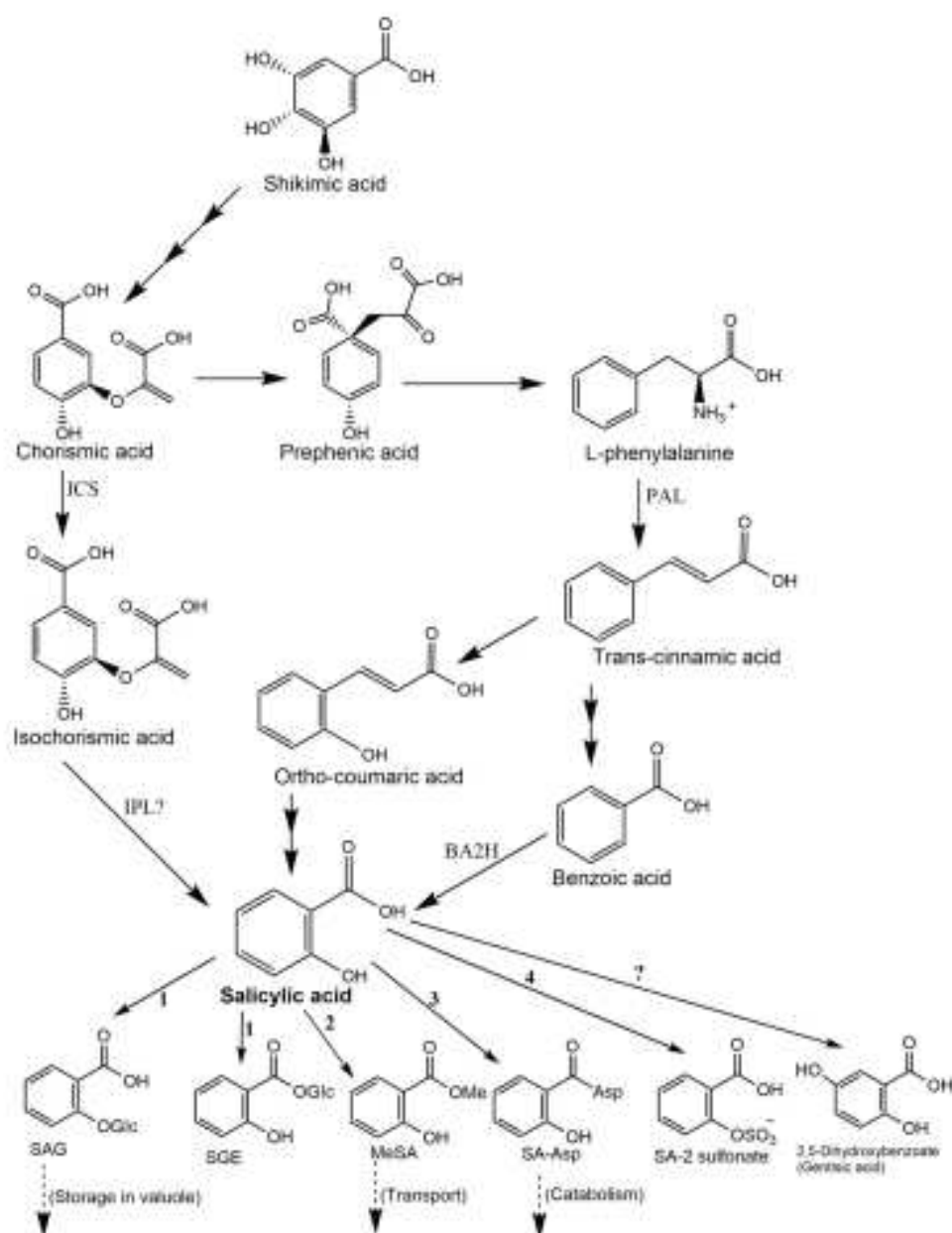
O ácido salicílico (AS) é um composto fenólico produzido pelo metabolismo secundário das plantas; sua biosíntese pode ocorrer por duas rotas distintas; a partir da fenilalanina amônia liase (FAL) ou pelo isocorismato (IC). Ambas as rotas começam a partir do ácido corísmico, produto derivado da via do ácido chiquímico nos plastídios. O AS por sua vez, possui diversos derivados que dependendo das condições e/ou da rota que foi originado possui uma tendência a ser sintetizado. (Figura 2.6.1)

Importante regulador de diversos processos fisiológicos, incluindo a fotossíntese, participa como sinalizador de indução de resistência de plantas, seu transporte é realizado via floema, especialmente na forma de metil salicilato. O composto também possui função de elicitor, estando envolvido nos processos de indução de resistência das plantas tanto para a sistêmica adquirida quanto para indução contra estresses abióticos, entretanto é necessário levar em consideração diversos fatores como espécie cultivada, fase de desenvolvimento, modo de aplicação, concentração, dentre outros (HORVÁTH et al., 2007; SÁNCHEZ et al., 2010).

Diversos estudos apontam o ácido salicílico como ferramenta para o manejo de doenças, demonstrando resultados satisfatórios por atenuar estresses do campo, como aumento de resistência a antracnose em feijoeiro (CAMPOS et al., 2004), murcha de fusarium em feijão caupi (RODRIGUES et al., 2006) e até em estudos em pós-colheita em frutíferas (BORSATTI et al., 2015). Hortaliças como tomate tem apresentado ótimas respostas ao uso do ácido salicílico, como Pulga et al., (2020) verificaram indução de resistência ocasionada pela aplicação de AS, em três cultivares de tomate diferentes, no estudo, constatou-se uma redução na atividade, postura e severidade dos danos causados tanto pela traça do tomateiro (*Tuta absoluta*) quanto para o ácaro rajado (*Tetranychus urticae*), pragas chave para tomaticultura.

Assim como Pulga et al., (2020); estudos apontam resultados promissores do uso de AS em hortaliças (PÉREZ et al., 2020) e frutíferas (FURTADO et al., 2020) promovendo a conservação das folhas, legumes e frutos, após aplicação, contudo os avanços no manejo integrado de cultivo é imprescindível e deve contemplar a grande diversidade de espécies cultivadas e distintas condições de cultivo em que elas são encontradas (MAZARRO et al., 2015).

Figura 2.6.1 Representação das rotas metabólicas para biossíntese de ácido salicílico e seu metabolismo. Rotas derivadas da via do ácido chiquímico ocorridas via fenilalanina amônia liase (FAL) e isocorismato (IC)



Fonte: HASANUZZAMAN, et al., 2017.

2.7. ASCOPHYLLUM NODOSUM

O uso de algas marinhas na agricultura tem atraído atenções também dentro da horticultura. Entre as diversas espécies de algas, a *Ascophyllum nodosum* se destaca por ser uma das mais abundantes e estudadas no mundo. Sua aplicação na horticultura tem sido objeto de diversos estudos, visando entender os efeitos na produtividade e qualidade das culturas.

Ascophyllum nodosum é uma alga marinha marrom que contém uma grande variedade de compostos bioativos, incluindo polissacarídeos, ácidos graxos,

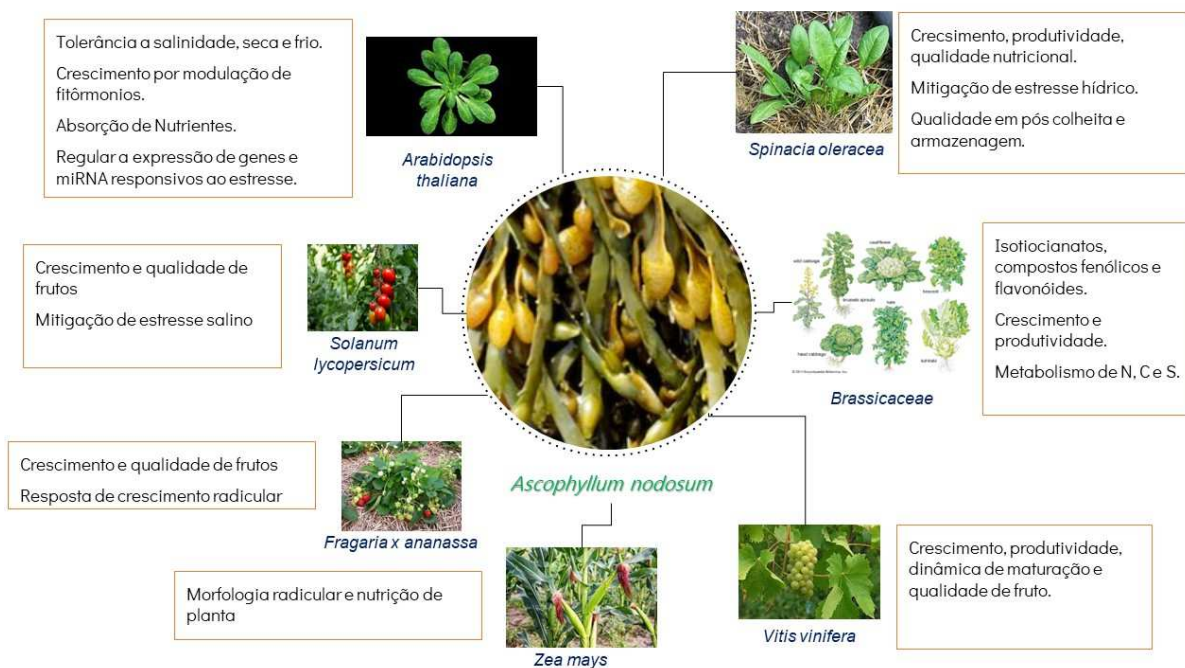
aminoácidos, vitaminas e antioxidantes. Dentre os polissacarídeos, destacam-se as laminarinas, fucoidanas e alginatos, que têm atividades imunomodulatórias, antitumorais e antivirais. Além disso, a alga também contém hormônios vegetais, como as citocininas e auxinas, que podem ter efeitos benéficos no crescimento e desenvolvimento das plantas.

Vários estudos têm demonstrado que a aplicação do extrato de *Ascophyllum nodosum* na horticultura pode melhorar a absorção de nutrientes pelas plantas, aumentar a atividade de enzimas antioxidantes e melhorar a eficiência fotossintética. Isso pode resultar em um aumento na produção de biomassa, tamanho dos frutos e qualidade nutricional. A *Ascophyllum nodosum* também tem sido estudada por sua capacidade de aumentar a resistência das plantas a estresses ambientais, como a seca, salinidade e temperaturas extremas. Além disso, a alga pode aumentar a resistência das plantas a doenças, estimulando o sistema imunológico das plantas.

Vários estudos têm investigado os efeitos do emprego do *Ascophyllum* em diferentes culturas, cujos resultados têm mostrado um aumento na produtividade e qualidade das culturas, bem como uma melhora na resistência a estresses ambientais e doenças. Colla et al. (2017) verificaram um aumento na tolerância de plantas de tomate ao estresse hídrico e salinidade, mitigando então os prejuízos causados e aumentando a produção de frutos. Os benefícios do uso da alga marinha também foram constatados, por Shukla et al. (2019), demonstrando melhora no desempenho e indução de mecanismos de resistência em diversas culturas (Figura 2.7.1) apontando o *Ascophyllum nodosum* como um bioestimulante contribuinte para um manejo agrícola sustentável.

A horticultura de uma maneira geral possui bons resultados com a administração do extrato *Ascophyllum* e suas interações com os demais compostos. É necessário aprofundar os estudos para viabilizar ao produtor mais entendimento sobre as ferramentas que já estão disponíveis no mercado, melhorando então os resultados obtidos em todos os aspectos da produção de hortaliças.

Figura 2.7.1 O extrato de *Ascophyllum nodosum* melhora o crescimento de várias culturas por diferentes modos de ação.



Fonte: Adaptado de SHUKLA et al, 2019.

2.8. ÁCIDO FERÚLICO

O ácido ferúlico (AF) é um composto fenólico natural encontrado em uma variedade de plantas, como arroz, aveia e trigo. Na agricultura, o ácido ferúlico tem sido mostrado ter múltiplos benefícios, incluindo aumento do rendimento das culturas e melhoria da resistência das plantas a estresses abióticos e bióticos. Um estudo realizado por Shu et al. (2021) demonstrou que a aplicação de ácido ferúlico em plantas de tomate melhorou sua resistência ao *Botrytis cinerea*, também foi utilizado para melhorar a absorção de nutrientes em plantas, como demonstrado por Marriott, Gómez e McQueen Mason (2016) em experimentos com milho.

Atua como um antioxidante natural, protegendo as plantas de estresses ambientais, como seca, calor e radiação UV, pode promover a saúde e a fertilidade do solo estimulando o crescimento de microorganismos benéficos. Esses estudos sugerem que o ácido ferúlico tem grande potencial como uma ferramenta para melhorar o rendimento das culturas e promover práticas agrícolas sustentáveis (ANTONOPOULOU et al., 2022).

Composto antioxidante encontrado naturalmente em várias plantas, incluindo hortaliças, investigações recentes sobre os efeitos do ácido ferúlico tem indicado seu efeito positivo na qualidade pós-colheita e nas respostas fisiológicas de

hortaliças durante o armazenamento. Os estudos mostraram que o ácido ferúlico pode retardar a perda de peso e deterioração de hortaliças, além de aumentar a atividade de enzimas antioxidantes e de defesa contra patógenos (WANG et al., 2022)

É importante ressaltar que cada estudo foi realizado em uma única espécie de hortaliça e que diferentes concentrações de ácido ferúlico foram utilizadas, o que pode afetar os resultados. Portanto, mais estudos são necessários para determinar a melhor concentração e forma de aplicação do ácido ferúlico para diferentes tipos de hortaliças. Em resumo, o ácido ferúlico tem o potencial de ser uma ferramenta útil para melhorar a qualidade e vida útil de hortaliças após a colheita.

2.9. FENANTROLINA

A fenatrolina é um composto químico sintético pertencente à classe das quinolinas. Esse composto tem sido estudado como um possível indutor de resistência em plantas, devido às suas propriedades antimicrobianas e antioxidantes. Estudos sugerem que a fenatrolina pode ativar os sistemas de defesa das plantas, aumentando a produção de compostos antioxidantes, enzimas de defesa e hormônios de crescimento, tornando as plantas mais resistentes a doenças, pragas, estresses ambientais e outros desafios (SKWARYLO-BEDNARZ, 2019).

Maruthi (2021) destacou que a fenatrolina pode aumentar a atividade de sistemas de defesa das plantas, como a produção de enzimas de defesa e hormônios de crescimento, tornando as plantas mais resistentes a diversos estresses ambientais. Pesquisas tem observado a indução de produção de enzimas antioxidantes, melhorando a tolerancia das plantas a estresses abióticos, como a seca, ou até mesmo salinidade em sementes de pepino (SHU et al., 2020) ou em tomateiros (ZHONG et al., 2020).

É importante ressaltar que o uso da fenatrolina em plantas ainda é controverso e seu potencial impacto não é totalmente conhecido. O uso da fenatrolina em plantas ainda é objeto de pesquisa e debate.

3 ARTIGO A: O EFEITO DE COMPOSTOS BIOESTIMULANTES NA ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE TOMATEIROS CULTIVADOS EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO

RESUMO

A horticultura é marcada pelo emprego de técnicas que contribuam para o desenvolvimento das culturas. Nesse sentido, o emprego de substâncias bioestimulantes como silício, quitosana, ácido salicílico, metil salicilato, ácido ferúlico e fenantrolina, têm mostrado bons resultados em estudos sobre produção vegetal. Este estudo foi conduzido na Universidade Estadual de Londrina e teve como objetivo avaliar o efeito desses compostos no desenvolvimento do tomateiro em diferentes condições de cultivo (protegido e externo). Os compostos foram aplicados por embebição de sementes, com doses crescentes. Foram avaliados a massa fresca e seca da parte aérea e raiz, bem como o volume e área superficial por meio do software *GiaRoots*. Na fase reprodutiva, foi avaliada a massa fresca de fruto por planta (MFFP). Também foram avaliados o teor de proteínas totais e a atividade enzimática (peroxidase, fenilalanina amônia-liase e catalase). Os resultados mostraram que os tratamentos não afetaram o teor de proteínas e a atividade das enzimas específicas. Uma análise de componentes principais (ACP) também foi realizada, buscando correlacionar as variáveis estudadas nos diferentes cultivos. A atividade enzimática e a massa de frutos por planta apresentaram semelhanças em suas características, principalmente quando analisadas em plantas cultivadas em ambiente protegido. Por isso, é possível que o cultivo protegido tenha favorecido a ação das enzimas estudadas no experimento em questão. Os tratamentos com silício, fenantrolina (2g L^{-1}) e ácido ferúlico ($4, 8$ e 10 g L^{-1}) produziram efeitos positivos na cultura do tomate em condições de cultivo protegido.

Palavras-chave: Cultivo protegido, *Solanum lycopersicum*, silício, fenantrolina, ácido ferúlico.

ABSTRACT

Horticulture is characterized by the use of techniques that contribute to the development of crops. In this sense, the use of bio-stimulant substances such as silicon, chitosan, salicylic acid, methyl salicylate, ferulic acid and phenanthroline have shown good results in studies on plant production. This study was conducted at the State University of Londrina and aimed to evaluate the effect of these compounds on the development of tomato plants in different growing conditions (protected and outdoor). The compounds were applied by seed imbibition, with increasing doses. Fresh and dry weight of the aerial part and roots, as well as volume and surface area were evaluated using the *GiaRoots* software. In the reproductive phase, the fresh fruit weight per plant (MFFP) was evaluated. Total protein content and enzymatic activity (peroxidase, phenylalanine ammonia-lyase and catalase) were also evaluated. The results showed that the treatments did not affect the protein content and the activity of specific enzymes. A principal component analysis (PCA) was also performed, revealing differences between the types of cultivation. Enzymatic activity and fruit weight per plant presented similarities in their characteristics, especially when analyzed in plants grown in a protected environment. Therefore, it is possible that protected cultivation favored the action of the enzymes studied in the experiment. Treatments with silicon, phenanthroline (2g L^{-1}) and ferulic acid ($4, 8$ and 10 g L^{-1}) increased tomato productivity in protected cultivation conditions.

Key words: Protected cultivation, *Solanum lycopersicum*, silicon, phenanthroline, ferulic acid

3.1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos de forma sustentável ainda é um desafio para a agricultura moderna, o uso intensivo de moléculas nocivas ainda é muito corriqueiro e faz parte da atividade agrícola, ao analisar o cultivo de hortaliças esse contexto é ainda mais preocupante.

Nesse sentido, a utilização de compostos bioestimulantes tem sido uma estratégia promissora para melhorar a produtividade e a qualidade das culturas, proporcionando então um manejo mais ecológico e sustentável (SANTOS et al., 2015). Esses compostos são substâncias naturais ou sintéticas que, em baixas doses, estimulam o crescimento, desenvolvimento e resistência das plantas, por meio de ativação de diversas rotas metabólicas e sinalizações bioquímicas.

O tomate (*Solanum lycopersicum*) é uma das principais hortaliças cultivadas ao redor do mundo, seu modo de cultivo é um fator preponderante para a otimização dos insumos, redução de perdas de maneira sustentável (LUYCKX et al., 2017). Dessa forma, entender como os compostos bioestimulantes afetam o tomateiro em diferentes condições de cultivo pode fornecer informações valiosas para a produção agrícola, norteando posteriores estudos rumo a uma maior sustentabilidade. (ADAMUCHIO-OLIVEIRA et al., 2020)

O presente estudo teve como objetivo investigar o efeito de compostos bioestimulantes na atividade enzimática de tomateiros cultivados em diferentes sistemas de cultivo.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da Área Experimental

Os experimentos foram conduzidos no município de Londrina, PR, Brasil, durante o período de inverno do ano de 2020 em casa de vegetação e, de forma simultânea, em condições de campo aberto (23°19'44" S, 51° 12'17" O, 585 m.). O clima da região é classificado como subtropical Cfa conforme Köppen, com precipitação anual de aproximadamente 1600 mm, temperatura média anual de 20,7°C e umidade relativa média de 73% (CAVIGLIONE, 2000).

O delineamento experimental, de ambos os ensaios, foi em blocos ao acaso com 4 repetições, cada parcela foi composta por uma planta. As sementes da cultivar de tomate Santa Clara foram embebidas em solução de diferentes tipos de tratamentos, cuja concentração de cada um dos compostos foi de 250mg.L⁻¹.

Os tratamentos de 1 a 5 foram constituídos por Fenantrolina na forma de complexo de magnésio e fenatrolina nas concentrações 2 g L⁻¹, 4 g L⁻¹, 6 g L⁻¹, 8 g L⁻¹, 10 g L⁻¹ respectivamente. Os tratamentos de 6 a 10 continham Ácido Ferúlico como complexo de magnésio e ácido ferúlico nas mesmas concentrações supracitadas nos tratamentos de 1 a 5. Os tratamentos 11 e 12 foram compostos por ácido salicílico (10 g L⁻¹) e silício na forma de dióxido de silício e carbonato de cálcio (1 kg L⁻¹⁰⁰) respectivamente, o 13º tratamento foi utilizado como testemunha, não sendo realizada administração de qualquer composto em específico.

A semeadura ocorreu no dia 23/05/2020 em ambas as localidades, as mudas foram transplantadas 28 dias após o semeio. As mudas destinadas para o ensaio dentro da casa de vegetação foram transplantadas em vaso de 8 litros, preenchidos com substrato preparado com mistura de 2 volumes de solo para 1 volume de composto de bovino. No transplântio, foram aplicados 2 g de calcário calcítico (45% de CaO) por cova, objetivando a restituição do equilíbrio na saturação de bases do solo e 100 g de vermicomposto por cova. Aos 15 e aos 45 dias após o transplântio (DAT), as plantas receberam aplicação de 100 g de vermicomposto por cova. A partir do florescimento as plantas receberam semanalmente aplicações de ácido bórico, via foliar, na concentração de 0,2%. As demais mudas destinadas ao campo aberto foram transplantadas em cova com as mesmas condições de adubação fornecidas às plantas em vaso.

Os tratamentos fitossanitários consistiram em pulverizações semanais de 150 g ^{-100 L} enxofre inorgânico, 150 g ^{-100 L} hidróxido de cobre (Kocide®), 0,25% óleo mineral, 0,25% óleo de neem e 150 mL ^{-100 L} *Bacillus thuringiensis* (Dipel®). As plantas foram conduzidas em haste única e tutoradas com estacas. As desbrotas foram efetuadas periodicamente e após a emissão das flores do quarto cacho, as plantas tiveram os seus meristemas apicais removidos (GUIMARÃES et al., 2007).

Avaliações agronômicas

Os dois experimentos foram submetidos às mesmas avaliações, visando obter as diferenças do tipo de manejo proporcionado pelo cultivo protegido frente às condições externas (Figura 3.2.1).

Figura 3.2.1 Transplântio das mudas de tomate do experimento em condições de cultivo externo e em estufa no Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, 2020.



As variáveis relacionadas ao desenvolvimento vegetativo do tomateiro avaliadas foram: massa fresca e seca de parte aérea e raiz, a fim de verificar o incremento proporcionado pelos tratamentos em fase de muda, por meio do software GiaRoots. Quatro (4) plantas por repetição foram fotografadas e avaliadas quanto aos parâmetros de comprimento, volume e área de distribuição.

As características direcionadas ao desenvolvimento reprodutivo e produtividade que foram avaliadas foram: massa fresca de frutos e número de frutos por planta. Os dados foram coletados por meio de contagem e pesagem dos frutos produzidos por cada planta.

Os frutos coletados também foram avaliados quanto ao teor de sólidos solúveis (expresso em °Brix), por intermédio de leitura direta em refratômetro de bancada HANNA – mod. HI 96801, foram efetuadas nos frutos maduros dos três primeiros cachos posteriormente ao estágio de maturação breaker (REID; 2002). Também foi realizada análise de firmeza de frutos (N), por meio do penetrômetro de frutas digital (FR-5120 Lutron) com probe cilíndrica de 6mm de diâmetro; onde foram coletados 3 pontos por fruto em sua região equatorial.

Figura 3.2.2 Fotografia digitalizada em software GiaRoots. Universidade



Atividade enzimática

Foram determinados os teores de proteínas totais e a atividade das enzimas catalase, peroxidase e fenilalanina amônia-liase (FAL). Foram coletados folíolos do terço médio das plantas, para então determinar-se a atividade enzimática foi determinada a partir do extrato proteico dos folíolos, obtido por maceração em almofariz com 2,0 mL de solução tampão fosfato de potássio 0,2 M e pH 7,5. A solução foi armazenada em microtubos, em congelador. A quantificação das proteínas totais foi realizada com base no método descrito por Bradford (1976). A atividade da enzima FAL foi obtida a partir da colorimetria do ácido trans-cinâmico, conforme metodologia descrita por Umesha (2006). A peroxidase teve sua atividade determinada pela conversão de guaiacol a tetraguaiacol (LUSSO, PASCHOALATI, 1999). A catalase foi determinada pelo acréscimo na absorbância a 240 nm através do coeficiente de extinção molar de $36 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (ANDERSON et al., 1995).

Análise Estatística

Os dados foram submetidos ao teste F ($p0,05$), uma vez atendido os pressupostos de normalidade e homocedasticidade, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey e Scott-Knott ($p0,05$).

Adicionalmente as médias foram submetidas à Análise de Componentes Principais (ACP), visando descrever a relação entre os tratamentos e os atributos do tomateiro.

Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software R, onde a ACP contou com o uso do pacote *FactorMineR*. (LE et al., 2008).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros avaliados até os primeiros dias do desenvolvimento das mudas de tomate não apresentaram diferença mínima significativa, tanto para o acúmulo de matéria seca na parte aérea quanto em seu sistema radicular (Tabela 3.3.1). Ao avaliar as dimensões do sistema radicular, nota-se diferença significativa entre os tratamentos em todos os parâmetros avaliados (Perímetro, Área Superficial, e Volume) (Tabela 3.3.1).

Os tratamentos compostos por Fenantrolina (1, 3 e 5) apresentaram valores inferiores aos demais com relação à Perímetro e Volume, não diferindo significativamente das mudas da testemunha. Os tratamentos de ácido ferúlico apresentaram valores interessantes para as variáveis Perímetro e Volume de raiz, já o tratamento de Ácido Salicílico, destacou-se em seu valor de Perímetro de radícula.

O crescimento de raiz é uma característica influenciada pela ação de bioestimulantes, o ácido ferúlico é um composto fenólico presente em plantas e tem sido associado à melhoria do crescimento vegetativo, aumento da tolerância ao estresse e resistência a doenças em plantas, o Ácido Salicílico, por sua vez, destacou-se em seu valor de Perímetro de radícula, sendo esse composto orgânico que desempenha um papel importante no desenvolvimento das plantas, atuando na regulação do crescimento, defesa contra estresses bióticos e abióticos e modulação do metabolismo (PULGA, P.S et al., 2020). Uma vez que as mudas passam por uma aclimação e conseqüentemente estresse; práticas que mitiguem os prejuízos causados nesse período estão sempre em debate, o AS demonstra-se interessante ferramenta para auxiliar a planta a superar esse período de adversidades mais facilmente. (FURTADO et al., 2020).

Conforme observado na Tabela 3.3.2, as características de volume e perímetro de raízes podem ter sido promovidas pelo emprego do AS e AF uma vez que esses corroboram para o crescimento vegetativo e auxilia no metabolismo de hortaliças como observado por NAZ et al. (2020) na cultura do pimentão, pepino, tomate e ervilha.

Tabela 3.3.1 Massa seca em gramas de Parte Aérea e Raiz de mudas de tomate submetidas aos compostos bioestimulantes. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2020.

Tratamentos		Parte Aérea	Raiz
	2 ^(a)	1,61 ^{ns}	0,27 ^{ns}
Fenantrolina	4	1,48	0,26
	6	1,71	0,29
	8	1,62	0,28
	10	1,55	0,28
	2	1,63	0,29
Ac. Ferúlico	4	1,68	0,28
	6	1,84	0,30
	8	1,84	0,33
	10	1,70	0,29
Ácido Salicílico		1,79	0,28
Silício		1,82	0,29
Testemunha		1,47	0,25
CV (%)		15,94	27,98

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ns: não significativo. ^(a) Expresso em g L⁻¹

Os tratamentos de Ácido Salicílico e a maior concentração de Ac. Ferúlico foram inferiores aos demais tratamentos em Área Superficial, também não diferindo da testemunha, o que implica em um melhor aproveitamento de superfície das mudas tratadas com os indutores de resistência, seja ele complexos de ácido ferulico, fenantrolina ou silício, todavia as doses dos compostos precisam ser ajustadas uma vez que não alcançam valores superiores à testemunha em todas as variáveis analisadas.

É fundamental ressaltar que os resultados obtidos nesse experimento são específicos para as mudas avaliadas e para as condições experimentais utilizadas. Portanto, são necessários mais estudos para avaliar a eficácia dos diferentes bioestimulantes em outras plantas e condições de cultivo.

Em síntese, os resultados indicam que o ácido ferúlico e o ácido salicílico apresentam potencial na promoção do crescimento vegetativo das mudas, enquanto a fenantrolina não apresentou efeito significativo nessa característica.

Tabela 3.3.2 Análise de raízes de mudas de tomateiro submetidas à tratamentos estimulantes ao desenvolvimento. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2020.

Tratamentos		Perímetro	Área Superficial	Volume
	2 ^(a)	18,61 b	1285,57 a	10,30 b
Fenantrolin a	4	57,46 a	1297,64 a	32,80 a
	6	29,52 b	1322,07 a	16,51 b
	8	41,98 a	1325,58 a	23,65 a
	10	29,55 b	1190,52 a	16,16 b
	2	57,20 a	1092,74 b	30,93 a
Ac. Ferúlico	4	45,46 a	1190,51 a	24,86 a
	6	37,50 a	1252,72 a	20,73 a
	8	42,66 a	1333,70 a	23,24 a
	10	37,28 a	998,17 b	19,73 a
Ac. Salicílico		64,16 a	1092,51 b	35,42 a
Silício		40,86 a	1255,80 a	22,99 a
Testemunha		47,14 a	1058,91 b	25,84 a
CV (%)		9,89	1,42	12,10

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). ns: não significativo. *: significativo a 5%. Os dados originais receberam transformação logarítmica (Box e Cox, 1964). ^(a) Expresso em g L⁻¹

A análise de atividade enzimática e proteínas totais não demonstrou diferença significativa entre os tratamentos analisados (Tabela 3.3.3). Para as variáveis ligadas à produtividade, houve distinção entre os tratamentos tanto para condições em ambiente protegido, quanto em ambiente externo.

Os tratamentos indutores de resistência demonstraram desempenho semelhante à testemunha em plantas sem qualquer controle de condições climáticas. Em cultivo protegido, observa-se uma diferença significativa nas variáveis observadas de massa fresca de frutos por planta (MFFP) e número de frutos por planta (Tabela 3.3.4). Plantas submetidas aos tratamentos 01 e 12 (Silício), alcançaram maiores valores em ambas as condições de cultivo, porém somente em cultivo protegido foram superiores à testemunha. Uma vez que as plantas têm seu estresse reduzido em comparação às condições externas, houve um possível incremento de massa de fruto, em função dos compostos administrados em questão, pois eles também contribuem como bioestimulantes, facilitando os processos fisiológicos de acúmulo de massa e construção celular (SANTOS et al., 2021).

Tabela 3.3.3 Quantificação do teor de proteínas totais e atividade das enzimas catalase, peroxidase e fenilalanina amônia-liase em tomate sob cultivo protegido. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2020.

Tratamentos	Prot. Totais ^(a)	Catalase ^(b)	Peroxidase ^(c)	FAL ^(d)
-------------	-----------------------------	-------------------------	---------------------------	--------------------

	2 ^(e)	43,94 ^{ns}	4,28 ^{ns}	0,031 ^{ns}	0,92 ^{ns}
Fenantrolin a	4	66,23	5,10	0,016	0,35
	6	60,02	7,26	0,014	0,51
	8	64,30	4,88	0,014	0,43
	10	69,74	4,22	0,010	0,32
Ac. Ferúlico	2	62,80	5,24	0,011	0,49
	4	50,49	8,13	0,017	1,49
	6	66,14	5,81	0,011	0,64
	8	64,03	4,98	0,012	0,71
Ac. Salicílico	10	58,79	7,18	0,014	0,83
		60,16	9,09	0,016	0,57
Silício		69,37	6,28	0,015	0,58
Testemunha		51,39	9,43	0,016	0,67
CV		23,86	27,82	12,37	24,84

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). ns: não significativo. *: significativo a 1%. FAL: fenilalanina amônia-liase ; ^(a) Expresso em (mg g de tecido⁻¹). ^(b) Expresso em (mmol H₂O₂ mg proteína⁻¹). ^(c) Expresso em (UAbs min mg proteína⁻¹) ^(d) UAbs.min.mg proteína) ^(e) Expresso em g L⁻¹. Os dados originais receberam transformação logarítmica (Box e Cox, 1964).

A plantas produziram entre 4 e 11 frutos comercializáveis por planta, os valores obtidos em cultivo protegido foram superiores aos do ambiente aberto de uma maneira geral, sendo superiores nos mesmos tratamentos observados para massa fresca de frutos por plantas.

As variáveis de atividade enzimática e produtividade se comportaram de maneira distinta, a Análise de Componentes Principais (Figura 3.3.3) demonstra a diferença distinta entre os modos de cultivo, possuindo uma relação antagônica (MFFPCE x MFFPCP). As variáveis de atividade enzimática, possuem tendência positiva para os tratamentos em cultivo protegido, principalmente a fenilamoniólise (FAL), já o teor de proteínas totais (Pt) não se correlaciona com o tipo de cultivo em questão.

Tabela 3.3.4 Massa fresca de frutos por planta (MFFP) e número de frutos no tomate em diferentes condições de cultivo. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2020.

Tratamentos		Cultivo Externo		Cultivo Protegido	
		Nº de Frutos	MFFP (g)	Nº de Frutos	MFFP (g)
Fenantrolina	2 ^(a)	7,00 a	443,5 a	10,00 a	511,57 a

	4	4,00 b	204,2 b	8,00 b	386,38 b
	6	4,00 b	238,7 b	6,00 b	298,55 b
	8	7,00 a	382,7 a	8,00 b	405,90 b
	10	6,00 a	431,5 a	5,00 b	309,56 b
	2	7,00 a	349,5 a	7,00 b	337,02 b
Ac. Ferúlico	4	4,00 b	200,0 b	9,00 a	463,58 a
	6	6,00 a	328,7 a	8,00 b	383,30 b
	8	4,00 b	198,5 b	11,00 a	545,05 a
	10	6,00 a	262,0 b	10,00 a	502,15 a
Ac. Salicílico		8,00 a	448,7 a	7,00 b	393,47 b
Silício		10,00 a	573,75 a	10,00 a	475,47 a
Testemunha		7,00 a	399,0 a	6,00 b	284,26 b
CV (%)		26,23	23,03	16,26	29,15

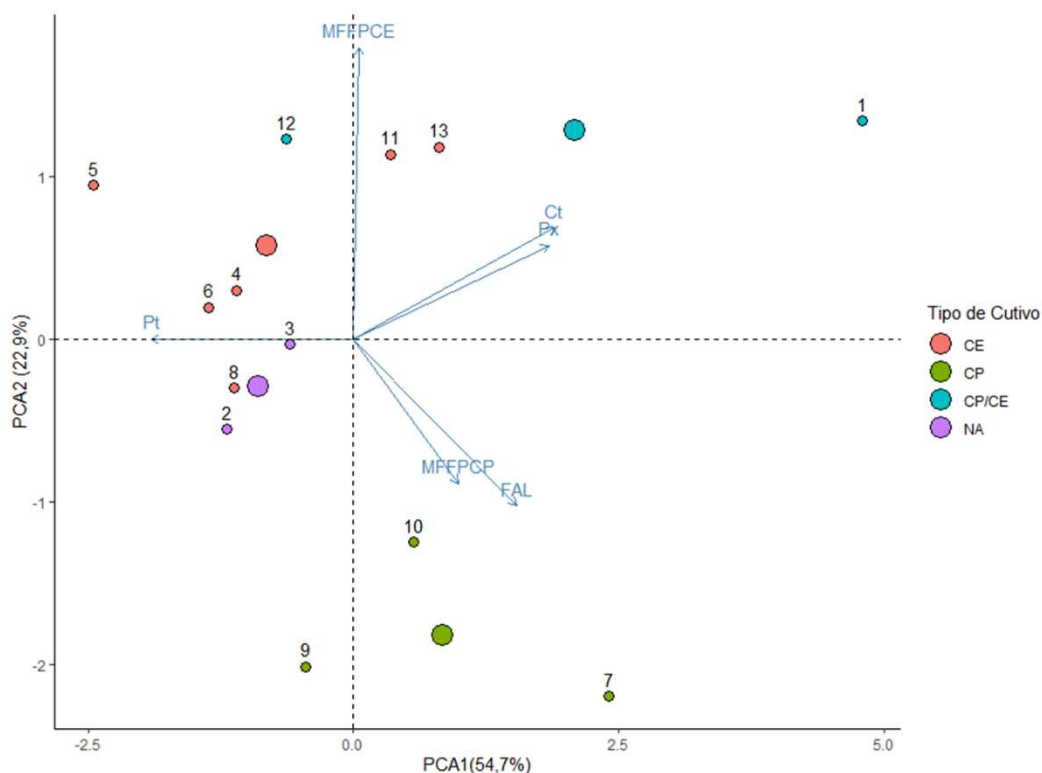
Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). ns: não significativo. *: significativo a 5%. Os dados originais receberam transformação logarítmica (Box e Cox, 1964).^(a) Expresso em $g L^{-1}$.

Os tratamentos foram agrupados, de acordo com o Teste de Scott-Knot ($p < 0,05$) para a variável massa fresca de fruto por planta (MFFP). Os tratamentos que obtiveram diferença mínima significativa dos demais em algum dos modos de produção foram classificados em função de seu modo de cultivo sendo eles: cultivo externo (CE), cultivo protegido (CP) ou cultivo protegido/externo (CP/CE), tal separação pode ser mais bem visualizada na Figura 3.3.1.

Os tratamentos de fenantrolina nas doses 4 e 6 $g L^{-1}$ apresentaram baixo desempenho de massa fresca de frutos por planta em ambas as condições de cultivo sendo categorizados como não aplicáveis (NA). Os tratamentos 4, 8 e 10 g de ácido ferúlico apresentaram maior similaridade e melhor desempenho em cultivo protegido. Os tratamentos 8, 10 $g L^{-1}$ de fenantrolina; 2 e 6 $g L^{-1}$ de ácido ferúlico, Ácido salicílico e testemunha possuem maior similaridade ao cultivo em ambiente externo.

Os tratamentos de silício e 2 $g L^{-1}$ de fenantrolina e 01 proporcionaram bom desempenho em ambas as condições de cultivo. As variáveis apresentaram comportamento influenciável ao manejo de cultivo protegido tendo suas coordenadas dispersas nos mesmos quadrantes onde os melhores resultados foram o de cultivo protegido. O cultivo protegido facilita os processos fisiológicos da planta promovendo resultados que vão ao encontro de uma maior atividade metabólica e/ou maiores patamares de produtividade quando comparado a um cultivo em condições não controladas (TRENTO et al., 2021).

Figura 3.3.1 Análise de componentes principais (ACP) das características de massa fresca de fruto por planta (MFFP) e da atividade enzimática do tomateiro em condições de cultivo em área externa (CE) e protegida (CP).



MFFPCE: massa de frutos por planta em cultivo externo; MFFPCP: massa de fruto por planta em cultivo protegido; Pt: proteínas totais; Ct: catalase; Px: peroxidase; FAL: fenilalanina amônia-liase.

3.3.1 CONCLUSÃO

Os tratamentos indutores de resistência não interferiram no teor de proteínas totais e atividade das enzimas catalase, peroxidase e fenilalanina amônia-liase.

A variável atividade de enzimas possui características semelhantes à variável massa de frutos por plantas, principalmente quando essa é observada em plantas de cultivo protegido, por essa razão, o cultivo protegido promove a maior ação das enzimas estudadas no presente experimento.

Os tratamentos de Sílicio, Fenantrolina (2 g L^{-1}) e ácido ferúlico ($4, 8$ e 10 g L^{-1}) proporcionam incremento de produtividade ao tomate, quando em condições de cultivo protegido.

4 ARTIGO B: O USO DE BIOESTIMULANTES NA AGRICULTURA ORGÂNICA: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA O CULTIVO DE HORTALIÇAS

RESUMO

As práticas agrícolas têm buscado cada vez mais práticas que proporcionem maior sustentabilidade ao sistema produtivo. Por essa razão, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do uso de bioestimulantes no cultivo orgânico de brócolis e tomate. Foram utilizados os tratamentos Quitosana, *Ascophyllum nodosum*, Metil Salicilato e Silício, aplicados isoladamente ou em combinação. A testemunha não recebeu pulverizações. Foram avaliadas a massa fresca e seca da parte aérea e raízes das mudas, a atividade enzimática (peroxidase, fenil amônia-liase e catalase) e o teor de proteínas totais. A condutância estomática apresentou maiores valores nos tratamentos de *Ascophyllum* em ambas as culturas. Na fase reprodutiva, foi avaliada a pesagem de frutos por plantas (MFFP) em tomate, enquanto para o brócolis, não foi possível alcançar a etapa reprodutiva devido às condições climáticas regionais. Novamente, os tratamentos com *Ascophyllum nodosum* isolados e sua combinação com quitosana apresentaram os maiores valores. Por meio de uma análise de componentes principais (ACP), verificou-se que os tratamentos bioestimulantes influenciam as variáveis de atividade enzimática, enquanto a testemunha apresenta comportamento oposto. Também foi realizada uma comparação entre os manejos utilizados em diferentes safras, isolando o tratamento de Silício que foi comum em ambos os experimentos. Nota-se uma possível influência do manejo no comportamento das variáveis estudadas.

Palavras-chave: Quitosana, *Ascophyllum nodosum*, Metil Salicilato, Silício, tomate

ABSTRACT

Agricultural practices have increasingly sought practices that provide greater sustainability to the production system. For this reason, the objective of this study was to evaluate the effect of using biostimulants in organic cultivation of broccoli and tomato. The treatments used were Chitosan, *Ascophyllum nodosum*, Methyl Salicylate and Silicon, applied alone or in combination. The control group did not receive any sprayings. The fresh and dry weight of the shoots and roots of the seedlings, the enzymatic activity (peroxidase, phenyl ammonia-lyase and catalase) and the total protein content were evaluated. Stomatal conductance showed higher values in the *Ascophyllum* treatments in both crops. In the reproductive phase, the fruit weight per plant (FWPP) was evaluated in tomato, while for broccoli, it was not possible to reach the reproductive stage due to regional weather conditions. Again, treatments with isolated *Ascophyllum nodosum* and its combination with chitosan showed the highest values. Through a principal component analysis (PCA), it was found that biostimulant treatments influence the enzymatic activity variables, while the control group shows opposite behavior. A comparison was also made between the management used in different harvests, isolating the Silicon treatment that was common in both experiments. A possible influence of management on the behavior of the studied variables can be observed.

Keywords: Chitosan, *Ascophyllum nodosum*, Methyl Salicylate, Silicon, tomato

4.1 INTRODUÇÃO

O cultivo orgânico tem se mostrado uma prática cada vez mais popular na agricultura moderna, visto que promove a produção de alimentos mais saudáveis e sustentáveis. Nesse contexto, o uso de bioestimulantes tem ganhado destaque como uma alternativa para melhorar o desempenho das culturas em manejo orgânico, sem a utilização de insumos químicos.

Os bioestimulantes são substâncias naturais ou sintéticas que, quando aplicadas nas plantas, promovem ações fisiológicas e metabólicas que resultam em um melhor desenvolvimento e aumento da produtividade das culturas. Dentre as substâncias utilizadas como bioestimulantes, destacam-se os extratos de algas, os ácidos húmicos e fúlvicos e as substâncias com ação hormonal, como o ácido salicílico e o ácido indolbutírico. O emprego de bioestimulantes tem sido aceito como alternativa aos tratamentos, se enquadrando à agricultura orgânica.

Aplicação de bioestimulantes pode ser uma alternativa interessante para melhorar o desempenho dessas culturas em cultivo orgânico, sem a utilização de insumos químicos que possam prejudicar a saúde do solo e dos seres vivos que dele dependem. Sendo assim, o estudo pretende contribuir para o desenvolvimento de práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes na produção de hortaliças orgânicas.

Dentre os bioestimulantes utilizados, destacam-se a quitosana, o *Ascophyllum nodosum*, derivados do ácido salicílico e Silício, esses compostos promovem o crescimento e desenvolvimento das plantas, além de aumentar a resistência a estresses bióticos e abióticos (PINTO-ZEVALLOS et al., 2013). Eles são utilizados como alternativa aos fertilizantes químicos e visam melhorar a qualidade e produtividade das culturas em diferentes sistemas de cultivo, incluindo o manejo orgânico. Têm sido amplamente estudados e utilizados na agricultura moderna como ferramentas importantes para aumentar a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (PEREIRA et al, 2021).

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do uso de bioestimulantes no cultivo de brócolis e tomate em manejo orgânico.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Londrina, PR, Brasil, não Universidade Estadual de Londrina, durante o período de primavera-verão do

ano de 2021. O clima da região é classificado como subtropical Cfa conforme Köppen, com precipitação anual de aproximadamente 1600 mm, temperatura do ar média anual de 20,7°C e umidade relativa do ar média de 73% (CAVIGLIONE, 2000). O trabalho foi conduzido em casa de vegetação de forma simultânea em condições de campo aberto (23°19'44" S, 51° 12'17" O, 585 m.). As culturas estudadas foram brócolis de cabeça única, cultivar Marathon e tomate do tipo santa-cruz, cultivar Santa Clara, cuja semeadura ocorreu no dia 09/08/2021. O delineamento experimental de ambos os ensaios foi em blocos ao acaso, possuindo 6 tratamentos em 4 repetições.

A análise química do solo da área apresentou os resultados pH (CaCl₂) = 6,06; Ca = 8,29 cmolc dm⁻³; Mg = 4,26 cmolc dm⁻³; Al = 0,0 cmolc dm⁻³; H + Al = 2,70 cmolc dm⁻³; K = 0,92 cmolc dm⁻³; C = 20,68 g kg⁻¹ e P = 54,86 mg dm⁻³. Nas análises químicas, o Ca e o Mg foram determinados por titulação com EDTA e o Al por titulação com NaOH. A acidez potencial foi estimada pelo método pH SMP e o P e K foram extraídos utilizando-se solução extratora Melich⁻¹. O P foi determinado por espectrofotometria e o K por fotometria de chama. O carbono orgânico foi quantificado pelo método Walkley-Black.

As mudas de brócolis foram transplantadas em vasos de 8 L preenchidos por mistura de solo, substrato, composto bovino e areia em uma relação de 2:1:1:1(v/v) respectivamente, a cultura foi conduzida em cultivo protegido no local descrito previamente. As mudas de tomate, foram transplantadas em vasos (solo, substrato, composto bovino e areia; 2:1:1:1 v/v) e em área de cultivo externo. No transplante foram aplicadas 2 g/cova de calcário calcítico (45% de CaO), objetivando a restituição do equilíbrio na saturação de bases do solo e 100 g/cova de vermicomposto.

Os compostos bioestimulantes utilizados foram: Quitosana (300 ml L⁻¹⁰⁰), *Ascophyllum nodosum* (200 ml L⁻¹⁰⁰), Metil Salicilato (200 ml L⁻¹⁰⁰), Silício na forma de dióxido de silício e carbonato de cálcio (1kg L⁻¹⁰⁰), sendo aplicados de maneira isolada ou em combinações, sua identificação foi : 1) Quitosana 2) Quitosana + *Ascophyllum*, 3) Metil Salicilato 4) Metil Salicilato + *Ascophyllum* 5) *Ascophyllum* 6) Silício 7) Testemunha (sem tratamento). Os compostos foram pulverizados nas mudas 10 dias após a semeadura (DAS) e posteriormente aos 15 dias após o transplante (DAT).

O tomate foi conduzido em haste única, tutorado em estacas sustentado por fitilho plástico. As desbrotas foram efetuadas periodicamente e após o desenvolvimento completo das flores do quarto cacho (80 DAT), as plantas tiveram os seus meristemas apicais removidos (GUIMARÃES et al., 2007). Os brócolis foram conduzidos até a formação dos floretes (cabeça) (60 DAT).

As avaliações foram realizadas conforme o desenvolvimento das plantas, podendo ser divididas em avaliações em fase de muda e em fase reprodutiva.

Avaliações morfoagronômicas

Foram avaliados, massa fresca e seca de parte aérea e raiz, a fim de verificar o incremento proporcionado pelos tratamentos. Visando explorar melhor as características de raiz, o software Safira foi empregado em que 4 plantas por repetição foram fotografadas e avaliadas quanto aos parâmetros de comprimento, volume e área de distribuição. As plantas foram avaliadas com 40 dias após sua semeadura.

As culturas foram conduzidas até a fase reprodutiva. Os frutos do tomateiro foram avaliados quanto ao comprimento, largura, massa fresca; tais medidas foram obtidas por auxílio de paquímetro digital e balança de precisão. As cabeças de brócolis formadas tiveram suas dimensões de comprimento, largura e peso mensuradas por meio de régua, paquímetro digital e balança de precisão.

Figura 4.2.1 Manejo de desfolha do tomate, realizado para colheita das duas primeiras pencas totalmente formadas, Universidade Estadual de Londrina, 2021



Atividade enzimática

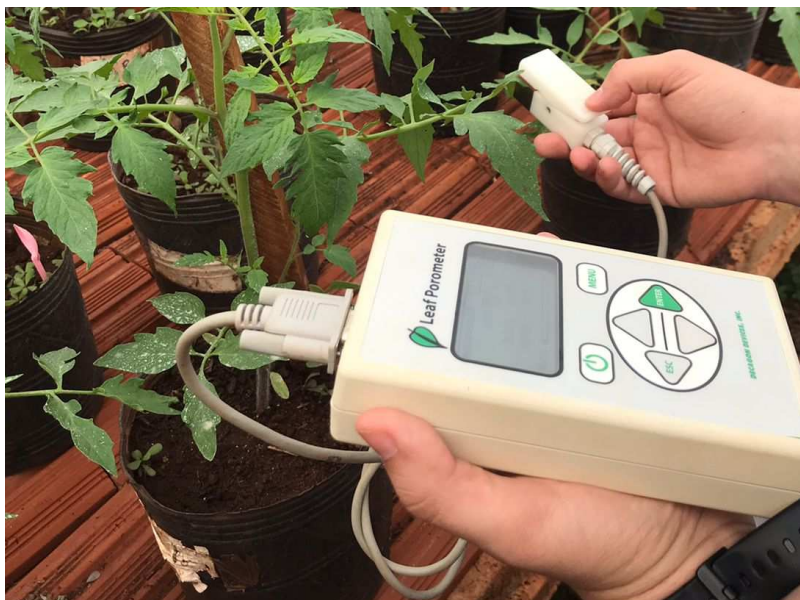
Foram determinados os teores de proteínas totais e a atividade das enzimas catalase, peroxidase e fenilalanina amônia-liase (FAL). Foram coletados folíolos do terço médio das plantas, para então determinar-se a atividade enzimática foi determinada a partir do extrato proteico dos folíolos, obtido por maceração em almofariz com 2,0 ml de solução tampão fosfato de potássio 0,2 M e pH 7,5. A solução foi armazenada em microtubos, em congelador. A quantificação das proteínas totais foi realizada com base no método descrito por Bradford (1976). A atividade da enzima FAL foi obtida a partir da colorimetria do ácido trans-cinâmico, conforme metodologia descrita por Umesha (2006). A peroxidase teve sua atividade determinada pela conversão de guaiacol a tetraguaiacol (LUSSO, PASCHOALATI, 1999). A catalase foi determinada pelo acréscimo na absorvância a 240 nm através do coeficiente de extinção molar de $36 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (ANDERSON et al., 1995).

Condutância Estomática

As plantas foram submetidas à medição de condutância estomática (Figura 4.2.1), por meio de um porômetro de difusão dinâmica modelo SC-1 (Decagon Devices, inc) e seu resultado expresso em $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. As folhas foram

submetidas a leitura pelo aparelho 15 dias após as plantas terem recebido seus tratamentos.

Figura 4.2.2 Determinação da condutância estomática dos tomates, em vaso, realizada com auxílio de um 50 porômetro de difusão dinâmica modelo SC-1 (Decagon Devices). Universidade Estadual de Londrina, PR, 2021.



Panorama do manejo da cultura

O experimento foi conduzido no mesmo local e com a mesma cultivar que o artigo anterior (Artigo A), apenas diferindo em sua data de execução e em práticas de manejo, de modo que o presente trabalho contou com manejo assemelhando-se à agricultura orgânica. Desse modo, os dados de ambos artigos foram estudados por meio de ACP, buscando entender a influência do manejo em um dos tratamentos em que as plantas receberam em ambas as safras.

As variáveis massa fresca de fruto por planta (MFFP), proteínas totais, atividade enzimática e teor de sólidos solúveis (Brix°) submetidas ao tratamento de Silício foram analisadas por meio do software *R* pelo pacote FactoMineR (LE et al., 2008).

Análise Estatística

Os dados foram submetidos ao teste F ($p < 0,05$), uma vez atendido os pressupostos de normalidade e homocedasticidade, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey e Scott-Knott ($p < 0,05$).

Adicionalmente as médias foram submetidas à Análise de Componentes Principais (ACP), visando descrever a relação entre os tratamentos e as variáveis do tomateiro.

Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software R, onde a ACP contou com o uso do pacote FactorMineR (LE et al., 2008).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Desempenho das vegetativo: brócolis e tomate

Os tratamentos em brócolis não proporcionaram diferença significativa em seus níveis de clorofila, no entanto, existe diferença na condutância estomática das plantas. Os tratamentos com quitosana, *Ascophyllum* e silício isolados diferiram significativamente de suas combinações com outros possíveis indutores de resistência. A testemunha não diferiu significativamente de nenhum dos tratamentos (Tabela 4.3.1).

Tabela 4.3.1 Condutância estomática e níveis de clorofila em brócolis. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2021.

Tratamentos	Condutância Estomática ^(a)	Clorofila (L1)	Clorofila (L1)
1) Quitosana	679,41 a	45,76 ^{ns}	42,74 ^{ns}
2) Quitosana + <i>Ascophyllum</i>	660,92 ab	41,26	41,12
3) Metil Salicilato	626,02 ab	42,68	41,00
4) Metil Salicilato + <i>Ascophyllum</i>	377,66 b	36,78	38,20
5) <i>Ascophyllum</i>	677,20 a	45,20	41,10
6) Silício	687,58 a	46,18	43,60
7) Testemunha	676,88 ab	41,16	46,82
CV (%)	23,83	14,62	14,64

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < p < 0,05$). ns: não significativo. ^(a) Expresso em ($\text{mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

A combinação entre metil salicilato e *Ascophyllum* proporcionaram os piores patamares de condutância estomática, é possível que a interação entre as duas substâncias uma maior atividade de defesa das plantas e consequentemente uma menor condutância estomática.

Quando observados em tomate, os resultados de condutância estomática demonstraram diferença entre tratamentos (Tabela 4.3.3). O resultado aponta para uma resposta distinta entre brássicas e solanáceas aos diferentes bioestimulantes aplicados, sendo *Ascophyllum* mais responsivo no caso do tomate.

Tabela 4.3.2 Condutância estomática e níveis de clorofila em Tomate (Estufa). Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2021.

Tratamentos	Condutância Estomática ^(a)
1) Quitosana	306,72 ab
2) Quitosana + <i>Ascophyllum</i>	287,58 ab
3) Metil Salicilato	286,10 ab
4) Metil Salicilato + <i>Ascophyllum</i>	285,78 ab
5) <i>Ascophyllum</i>	331,56 a
6) Silício	273,86 ab
7) Testemunha	241,30 b
CV (%)	14,67

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < p < 0,05$). ns: não significativo. ^(a) Expresso em ($\text{mmol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$).

Os efeitos dos bioestimulantes podem variar de acordo com a espécie de hortaliça e as condições em que são cultivadas. Cada espécie tem suas características específicas, como necessidades nutricionais, resistência a pragas e doenças, e sistema radicular, que podem afetar a resposta aos bioestimulantes. Além disso, fatores ambientais, como temperatura, umidade e luminosidade, também podem influenciar sua eficácia. Por isso, é importante considerar esses fatores ao utilizá-los como forma de manejo (MANTRI et al., 2012).

As variáveis relacionadas à massa seca de parte aérea e raiz, para o brócolis, não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos e tampouco com a testemunha (Tabela 4.3.4). Contudo, as mudas de tomateiro apresentaram desempenho superior nos tratamentos de quitosana em combinação ao *Ascophyllum*, também nas mudas submetidas ao Silício.

Tabela 4.3.3 Massa seca (g) da parte aérea (P.A.) e raiz mudas de Brócolis. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2021.

Tratamentos	Brocolis		Tomate	
	P.A.	Raiz	P.A.	Raiz
1) Quitosana	0,41 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,96 abc	0,18 ab
2) Quitosana + <i>Ascophyllum</i>	0,42	0,44	1,41 a	0,25 a
3) Metil Salicilato	0,41	0,52	0,79 c	0,11 b
4) Metil Salicilato + <i>Ascophyllum</i>	0,36	0,50	0,87 bc	0,14 ab
5) <i>Ascophyllum</i>	0,38	0,41	0,99 abc	0,15 ab
6) Silício	0,33	0,44	1,36 ab	0,21 ab
7) Testemunha	0,45	0,46	0,96 abc	0,19 ab
CV (%)	17,17	34,00	20,87	27,43

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < p < 0,05$). ns: não significativo.

O menor valor de massa seca foi encontrado nos tratamentos que receberam apenas Metil Salicilato, já os maiores valores foram obtidos na combinação de Quitosana e *Ascophyllum*. O resultado de massa seca também

indica diferença entre a resposta das espécies para com os compostos bioestimulantes.

Estudos recentes têm demonstrado que o uso de bioestimulantes em plantas de hortaliças, como alface, tomate e pimentão, pode aumentar significativamente a produção de massa seca, resultando em plantas mais saudáveis e vigorosas. Por exemplo, Martin et al. (2018) realizaram um estudo sobre a aplicação de quitosana em mudas de alface e constataram um aumento significativo no acúmulo de massa seca tanto nas raízes quanto nas partes aéreas das plantas. Além disso, Souza et al. (2017) avaliaram o efeito do EAN em plantas de tomate e observaram um aumento na produção de massa seca e no teor de clorofila nas folhas. Contudo, mais pesquisas são necessárias para avaliar a eficácia dos bioestimulantes em diferentes espécies de hortaliças e condições de cultivo. É importante destacar que os bioestimulantes não devem substituir as práticas adequadas de manejo e nutrição na agricultura orgânica.

Atividade enzimática e teor de proteínas totais do tomateiro

As avaliações de teor de proteínas totais e atividade das enzimas catalase, peroxidase e fenilalanina amônia-liase não apresentaram diferenças significativa para quaisquer modos de cultivos estudados; o que implica em uma atividade enzimática estável, uma vez que as condições climáticas foram severas durante boa parte do cultivo tanto para temperaturas excessivas quanto para demasiadas baixas, afetando ambos os modelos de cultivo.

Tabela 4.3.4 Proteínas totais, catalase, peroxidase e fenilalanina amônia-liase em tomate cultivado em campo. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2021.

Tratamentos	Prot. Totais (a)	Catalase ^(b)	Peroxidase (c)	FAL ^(d)
1) Quitosana	34,64 ^{ns}	17,00 ^{ns}	0,027 ^{ns}	0,30 ^{ns}
2) Quitosana + <i>Ascophyllum</i>	45,40	11,57	0,021	0,19
3) Metil Salicilato	38,86	14,53	0,024	0,44
4) Metil Salicilato + <i>Ascophyllum</i>	31,17	18,41	0,020	1,75
5) <i>Ascophyllum</i>	35,35	16,51	0,024	0,90
6) Silício	36,41	18,17	0,038	0,31
7) Testemunha	45,33	9,81	0,017	0,19
CV(%)	28,34	17,18	46,33	77,19

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < p < 0,05$). ns: não significativo. *: significativo a 1%. ^(a) Expresso em (mg g de tecido⁻¹). ^(b) Expresso em (mmol H₂O₂ mg proteína⁻¹). ^(c) Expresso em (UAbs min mg proteína⁻¹) ^(d) UAbs.min.mg proteína). Os dados originais receberam transformação logarítmica (Box e Cox, 1964).

Percebe-se que a atividade enzimática e os teores de proteínas totais foram maiores, nas plantas submetidas ao cultivo protegido, uma vez que em tais condições ocorreu uma possível melhoria na assimilação de compostos, devido à mitigação dos efeitos climáticos da safra em questão. Diversos fatores, como temperatura, umidade e luminosidade, podem influenciar o teor de proteínas totais em plantas cultivadas em ambiente protegido. De acordo com estudos recentes, o cultivo protegido pode levar a um aumento significativo no teor de proteínas em algumas espécies vegetais. (COLLA et al., 2018)

Um estudo realizado por BRZEZINSKI et al. (2017) avaliou o teor de proteínas totais em folhas de alface cultivadas em diferentes sistemas de cultivo, incluindo cultivo protegido e a campo aberto. Os resultados mostraram que as plantas cultivadas em ambiente protegido apresentaram um teor significativamente maior de proteínas totais em comparação com as plantas cultivadas a campo aberto (ROUPHAEL et al., 2018).

Tabela 4.5. Proteínas totais, catalase, peroxidase e fenilalanina amônia-liase em tomate cultivado em estufa. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2021.

Tratamentos	Prot. Totais ^(a)	Catalase ^(b)	Peroxidase ^(c)	FAL ^(d)
1) Quitosana	53,38 ^{ns}	11,65 ^{ns}	0,029 ^{ns}	3,37 ^{ns}
2) Quitosana + <i>Ascophyllum</i>	48,81	13,24	0,027	2,96
3) Metil Salicilato	40,95	21,41	0,035	6,26
4) Metil Salicilato + <i>Ascophyllum</i>	48,51	12,20	0,018	3,88
5) <i>Ascophyllum</i>	41,77	17,11	0,033	4,97
6) Silício	46,40	15,25	0,026	3,36
7) Testemunha	41,47	17,13	0,040	4,74
CV(%)	25,83	19,68	12,87	38,28

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p < p < 0,05$). ns: não significativo. *: significativo a 1%. ^(a) Expresso em (mg g de tecido⁻¹). ^(b) Expresso em (mmol H₂O₂ mg proteína⁻¹). ^(c) Expresso em (UAbs min mg proteína⁻¹) ^(d) UAbs.min.mg proteína). Os dados originais receberam transformação logarítmica (Box e Cox, 1964).

Desempenho reprodutivo: tomateiro

Os resultados de produtividade referente a cultura do brócolis não foram computados, uma vez que o experimento não foi conduzido até a fase reprodutiva da cultura, devido à incidência de uma forte geada em que as plantas de brócolis não se recuperaram após o incidente.

As plantas do tomateiro foram conduzidas até o desenvolvimento pleno de sua quarta penca. As plantas que receberam o tratamento com *Ascophyllum* de maneira isolada ou associada à quitosana, apresentaram maior

massa fresca de frutos por planta. A variável MFFP apresentou comportamento similar à condutância estomática, pois em ambas análises o tratamento com *Ascophyllum* de forma isolada demonstrou-se superior aos demais e no caso da variável relativa à produtividade, observamos também diferença significativa em sua associação com quitosana.

Tabela 4.3.5 Massa fresca de frutos por planta do tomate sob tratamentos bioestimulantes. Londrina-PR, Universidade Estadual de Londrina, 2021.

Tratamentos	MFFP (kg)
1) Quitosana	1,89 b
2) Quitosana + <i>Ascophyllum</i>	2,37 a
3) Metil Salicilato	1,49 b
4) Metil Salicilato + <i>Ascophyllum</i>	1,67 b
5) <i>Ascophyllum</i>	2,06 a
6) Silício	1,95 a
7) Testemunha	1,29 b
CV (%)	35,56

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < p < 0,05$). ns: não significativo.

As variáveis foram submetidas a uma análise de componentes principais (ACP). As coordenadas das variáveis explicaram 78,9% da variância nos tratamentos, sendo que 48% da variância foi explicada pelo eixo da dimensão 1 e 30,9% pelo eixo da dimensão 2 no PCA 1 e 2.

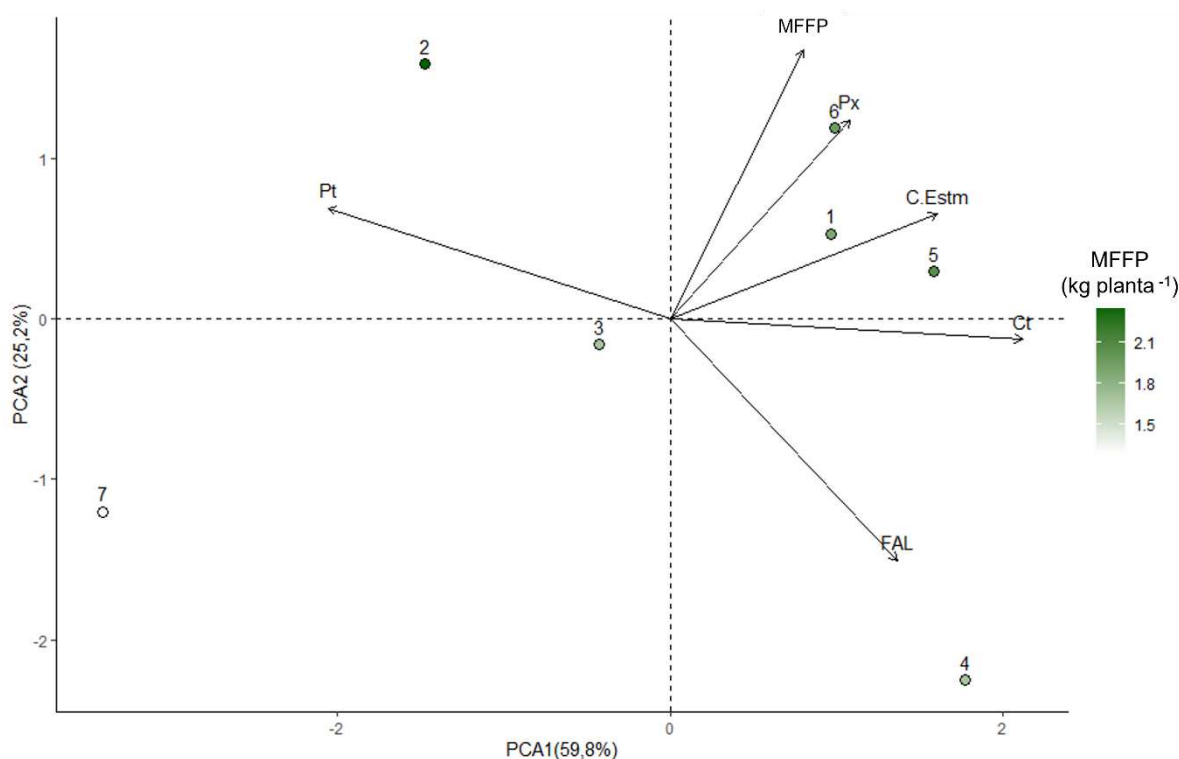
A atividade enzimática foi estimulada pela aplicação dos compostos bioestimulantes, ainda que não apresentando diferença mínima significativa, por meio da análise de componentes principais, é possível observar a contribuição dos tratamentos para essa variável, ao passo que as plantas que não receberam tratamento (Testemunha), encontram-se no quadrante oposto às variáveis em questão (Figura 4.3.1).

As plantas que receberam o tratamento de quitosana (1) e *Ascophyllum* (5) tenderam à maior atividade da enzima catalase e condutância estomática. Os tratamentos de Silício (6) e metil salicilato combinado à *Ascophyllum* (4) possivelmente influenciaram a atividade das enzimas peroxidase e fenilalanina amônia-liase. Os tratamentos que apresentaram maior influência na massa de frutos por planta foram: Quitosana em combinação com *Ascophyllum* e *Ascophyllum* de maneira isolada. (Figura 4.3.1)

Os tratamentos apresentaram distribuição distinta entre si, contudo é perceptível sua contribuição para com as variáveis analisadas, uma vez que todos

os tratamentos apresentam coordenadas próximas às variáveis observadas. As plantas não submetidas a quaisquer tratamentos, apresentam-se de maneira diferente às plantas tratadas, o que infere uma possível melhoria em todos os aspectos observados, uma vez que esses são influenciados pelos compostos bioestimulantes estudados.

Figura 4.31 Análise de componentes principais (ACP) do teor de proteínas totais, atividade enzimática, condutância estomática e massa fresca por planta (MFFP), em função dos tratamentos bioestimulantes.



MFFP: massa de frutos por planta; Pt: proteínas totais; Ct: catalase; Px: peroxidase; FAL: fenilalanina amônia-liase. C. Estm: condutância estomática. 1. Quitosana; 2. Quitosana + *Ascophyllum*; 3. Metil Salicilato; 4. Metil Salicilato + *Ascophyllum*; 5. *Ascophyllum*; 6. Silício; 7. Testemunha

Manejo do tomateiro orgânico e convencional

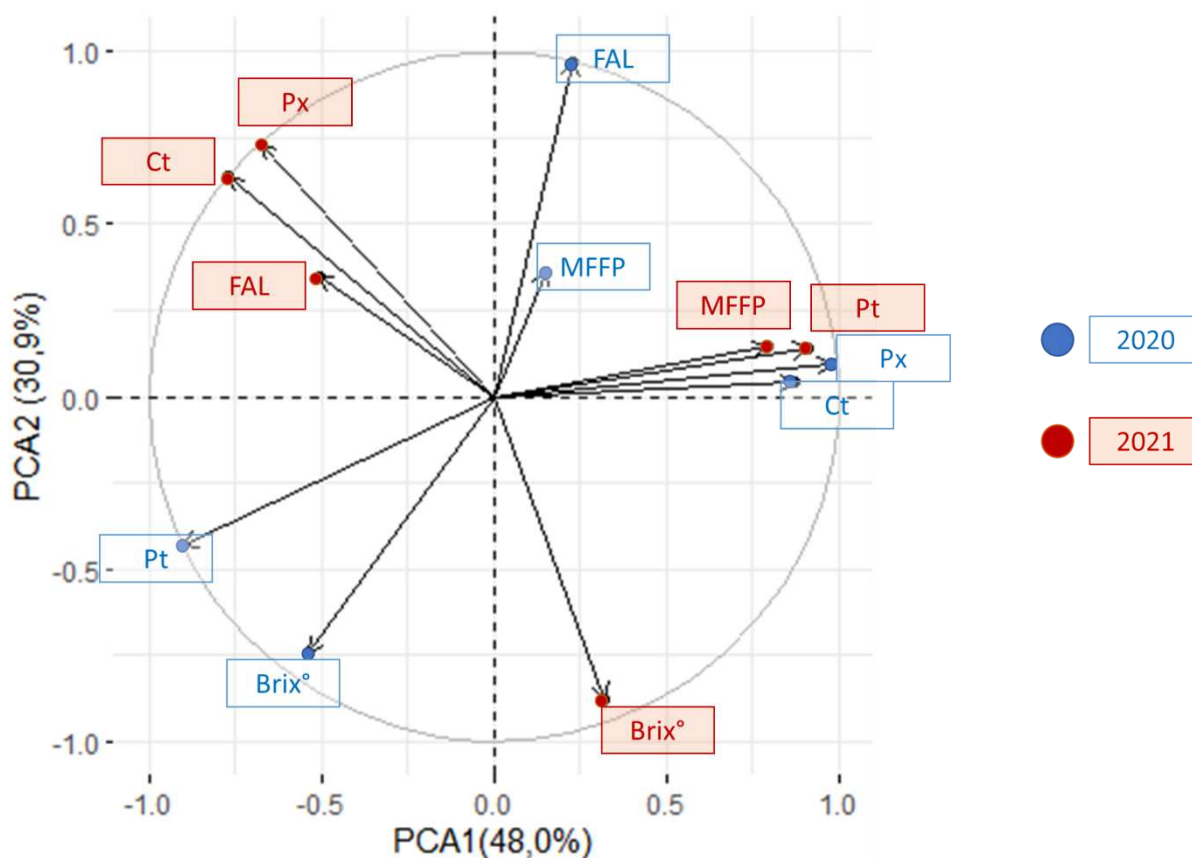
O manejo datado pelo ano de 2020 não conteve práticas estritamente adequadas para serem classificados como orgânico, uma vez que esse contou com o uso de fertilizantes químicos em aplicações foliares, em contrapartida a condução do tomateiro no ano de 2021 contou com práticas integralmente adotadas no cultivo orgânico de hortaliças, tanto na parte de nutrição quanto no manejo fitossanitário, uma vez que durante o período do experimento a pressão de pragas e doenças mais amena, quando comparado ao ano anterior.

A forma de manejo é determinante para os processos metabólicos das culturas, pois os estímulos às plantas variam em função da prática de manejo

adotada. Nesse sentido, o emprego de práticas exclusivamente orgânicas foi contrastado ao convencional realizado no ano anterior, por meio do uso da análise de componentes principais (Figura 4.3.2)

As variáveis tiveram suas coordenadas atribuindo em 78,9% da variância dos tratamentos, 48 % e 30,9 % nos eixos das dimensões 1 e 2, respectivamente (PCA 1 e 2). Verificou-se uma similaridade no comportamento das variáveis MFFP em ambos os anos, ambas alocadas no quadrante superior direito, ao passo que as variáveis relacionadas à atividade enzimática se comportaram de maneira antagônica, o que indica uma alteração no metabolismo das plantas em função do manejo adotado.

Figura 4.3.2 Análise de componentes principais (ACP) do teor de proteínas totais, atividade enzimática, massa fresca por planta (MFFP), teor de sólidos solúveis, de tomateiros submetidos ao uso de silício em manejo convencional (2020) e orgânico (2021).



O manejo orgânico em tomates pode proporcionar para o equilíbrio sanitário das plantas, uma vez que as práticas utilizadas neste sistema favorecem o desenvolvimento de um ambiente mais favorável ao controle natural de pragas e doenças. (HERNÁNDEZ-SANTIAGO et al., 2020). O conjunto de práticas mais

sustentáveis contribui para a manutenção do ambiente em que a cultura está inserida, além disso, o uso de defensivos naturais e biológicos, como extratos vegetais e micro-organismos benéficos, é uma estratégia eficaz no manejo orgânico de tomates. Esses defensivos atuam de forma seletiva, combatendo os agentes causadores de doenças e pragas, sem afetar a saúde das plantas e do meio ambiente (COLLA et al., 2017) (AHMED et al, 2017).

Estudos de longa data já apontavam que o uso contínuo de práticas convencionais, sem a busca da adoção de práticas sustentáveis, limita a produtividade no cultivo de hortaliças (CLARK et al., 1999), buscar o equilíbrio ambiental contribui para a preservação dos meios de cultivo, redução do custo de produção e resulta na obtenção de um alimento de alta qualidade ao consumidor final (LETOURNEAU; GOLDSTEIN, 2001).

As interações entre os processos fitoquímicos, fisiológicos e do uso de compostos bioestimulantes, sejam eles indutores de resistência, promotores de crescimento, condicionadores de solo ou agentes de biocontrole, possui vasta abrangência devendo ser mais bem explorada uma vez que esses compostos em sua maioria possuem múltipla função (LENGAI et al., 2020).

4.4 CONCLUSÃO

Conclui-se que os compostos bioestimulantes, como a quitosana e o *Ascophyllum*, tem um efeito positivo no crescimento e na produtividade das plantas de tomateiro.

A análise de componentes principais permitiu identificar a contribuição dos diferentes tratamentos para as variáveis analisadas, demonstrando que o tratamento com *Ascophyllum* é distinto das variáveis estudadas. A combinação de quitosana com *Ascophyllum* também apresentou resultados promissores, especialmente no aumento da massa fresca de frutos por planta.

Os compostos bioestimulantes também influenciaram positivamente a atividade enzimática, com destaque para a catalase, peroxidase e fenilalanina amônia-liase.

5 CONCLUSÕES GERAIS

O metabolismo vegetal possui imensa complexidade e sofre influência de diversas maneiras, pois está cercado de estímulos que desencadeiam diferentes reações bioquímicas, ativação genética entre outras nuances mecanismo de funcionamento vegetal. Nesse sentido, explorar possíveis tratamentos para melhor entender suas interações e efeitos sobre as hortaliças se faz necessário, uma vez que essas recebem tratamentos culturais de forma intensa.

Os compostos de Silício, Quitosana e *Ascophyllum nodosum* demonstraram se capazes de promover e estimular positivamente a cultura do tomate, possibilitando um melhor desempenho tanto para as fases iniciais (mudas) quanto para a produção de frutos. A dinâmica do Ácido Ferúlico e Fenantrolina ainda carece de maiores estudos, uma vez que a sua dosagem ainda precisa ser ajustada, todavia os resultados demonstram efeitos positivos em sua administração.

É importante destacar que o sistema de cultivo e o manejo adotado pelo produtor implica em diferentes efeitos e resultados para a planta do tomate. Os desafios da produção agrícola vão muito além de uma reação de causa e efeito, sendo fundamental que se observe a sustentabilidade do sistema como um todo. Custo de produção, reestruturação do ecossistema, bem-estar social do produtor, equilíbrio do sistema de cultivo, são fatores determinantes para o sucesso da atividade agrícola, também devem ser considerados para adoção de determinado tipo de cultivo ou proposta de manejo. A tomaticultura orgânica tem se demonstrado uma alternativa viável e sustentável; o uso dos compostos supracitados podem ser ferramentas valiosas para otimização dos resultados nesse ramo de atividade.

Os resultados obtidos no presente trabalho, sugerem que a utilização de compostos bioestimulantes, levando em consideração o tipo e manejo de cultivo, pode ser um instrumento importante para melhorar a produtividade e a qualidade das plantas cultivadas, sendo assim uma área de interesse para futuras pesquisas na área agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMUCHIO-OLIVEIRA, L. G; MAZARO, S. M; MÓGOR, G; SANT'ANNA-SANTOS, B. F; & MÓGOR, Á. F. Chitosan associated with chelated copper applied on tomatoes: Enzymatic and anatomical changes related to plant defense responses. **Scientia Horticulturae**, v. 271, p. 109431, 2020

AHMED, B. et al. Perspectives of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Growth Enhancement and Sustainable Production of Tomato. In: ZAIDI, A.; KHAN, M. S. (Eds.). **Microbial Strategies for Vegetable Production**. Springer International Publishing, p. 125–149, 2017.

AL-JUTHERY, H.W.; DREBEE, H. A.; AL-KHAFAJI, B. M.; HADI, R. F. Plant biostimulants, seaweeds extract as a model (Article review). **Earth and Environmental Science**. v. 553, p. 1-10, 2020.

ALYOUSUF, A; HAMID, D; DESHER, M.A; Effect of Silicic Acid Formulation (Silicon 0.8%) on Two Major Insect Pests of Tomato under Greenhouse Conditions. **Silicon**. v. 14, p. 3019–3025, 2022.

ANTONOPOULOU I.; SAPOUNTZAKI E.; ROVA U.; CHRISTAKOPOULOS P. Ferulic acid from plant biomass: a phytochemical with promising antiviral properties. **Frontiers in Nutrition**. v. 8, n. 1, p. 1-21, 2022.

ARIMURA, G.-i.; KOST, C.; BOLAND, W. Herbivore-induced indirect plant defenses. **Biochim. Biophys. Acta**. v. 1734. p. 91-111, 2005.

AZEVEDO, V. V. Cordeiro de et al. Quitina e Quitosana: aplicações como biomateriais. **REMAP**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 27-34, 2007.

BABU, B., PARET, M. L., MARTINI, X., KNOX, G. W., RIDDLE, B., RITCHIE, L.; DA SILVA, S.; Impact of Foliar Application of Acibenzolar-S-Methyl on Rose Rosette Disease and Rose Plant Quality. **Plant Disease**, v.106, n.3, p.818-827, 2022.

BECKTAS, Y.; EULGEM, T.; Syntetic plant defense elicitors. **Frontier in Plant Science**. v. 5, n. 804, p. 1-17, 2015.

BONALDO, S.M; PASCHOLATI, S.F.; ROMEIRO, R.S. **Indução de Resistência: Noções Básicas e Perspectivas**. In: CAVALCANTI, L.S. et al. (Ed.). **Indução de Resistência em Plantas a Patógenos e Insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 14-15.

BRZEZINSKI, C.R.; ABATI, J.; GELLER, A.; WERNER, F.; ZUCARELI, C.; Produção de cultivares de alface americana sob dois sistemas de cultivo. **Revista Ceres**, v. 64, n. 1, p. 1 -20, 2017

CLARK, M. S.; HORWATH, W. R.; SHENNAN, C.; SCOW, K. M.; LANTNI, W. T.; FERRIS, H. Nitrogen, weeds and water as yield-limiting factors in conventional, low-input, and organic tomato systems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 73, n. 3, p. 257-270, 1999.

COLLA, G.; CARDARELLI, M.; BONINI, P.; ROUPHAEL, Y. Foliar Applications of Protein Hydrolysate, Plant and Seaweed Extracts Increase Yield but Differentially Modulate Fruit Quality of Greenhouse Tomato, **HortScience horts**, v. 52, n. 9, p.1214-1220, 2017.

CONRATH, U., Systemic Acquired Resistance. **Plant Signaling & Behavior**. v. 1, n. 4, p. 179-184, 2006.

DA SILVA D.B.; BOBATO T.R.; BETTONI M.M.; FABBRIN E.G.; MÓGOR A.F. Uso de quitosana na produção de morangueiro orgânico. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. S2811-S2815, 2012.

DUMAS B; PRIGENT-COMBARET, C; **Biocontrol of Plant Disease: Recent Advances and Prospects in Plant Protection**. Great Britain: Wiley-ISTE, 2022, 288p, v.1, ISBN: 978-1-789-45098-9.sil

EPSTEIN, E; BLOOM, A. J; **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Associates, 418 p. 2004.

FURTADO, B.N.; BORGES, L.; AMORIM, V.A.; MATOS, F.S.; a importância do ácido salicílico na mitigação do déficit hídrico em plantas de cafeeiro. **Agri-environmental sciences**, v. 6, p. 1-12, 2020.

GOMES, F.B; MORAES, J.C; SANTOS, C.D; ANTUNES, C.S; Uso de Silício como Indutor de Resistência em Batata a *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). **Neotropical Entomology**. v. 37, n.2, p. 185-190, 2008.

GUO, Y.; LI, X.; LI, C.; JINYUE R.; XU, H.; GE, Y.; Acibenzolar-S-methyl activates phenylpropanoid pathway to enhance resistance against *Alternaria alternata* in pear fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v.103, n.2, p.829-836, 2022.

GOUSSAIN, M.M.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J.G.; NOGUERIA, N.L.; Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**. v. 31, n. 2, p. 305-310. 2002.

HAN, Y.; LI, P.; GONG, S.; YANG, L.; WEN, L.; HOU, M.; Defense Responses in Rice Induced by Silicon Amendment against Infestation by the Leaf Folder *Cnaphalocrocis medinalis*. **Plos one**. São Francisco, v. 11, n. 4, p. 1-14 (e0153918), 2016.

HASANUZZAMAN, M.; NAHAR, K.; BHUIYAN, T. F.; ANEE, T. I.; INAFUKU, M.; OKU, H.; FUJITA, M.; Salicylic Acid: An All-Rounder in Regulating Abiotic Stress Responses in Plants. *In*: EL-ESAWI, M.; **Phytohormones** - Signaling Mechanisms and Crosstalk in Plant Development and Stress Responses. IntechOpen. 2017, p. 31-75. Disponível em : doi: 10.5772/intechopen.68213

HASSAN E.; BYOUNG R J., Silicon (Si): Review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants, **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 147, p.881-896, 2018.

HATCHER, P.E.; MOORE, J.; TAYLOR, J.E.; TINNEY, G.W.; PAUL, N.D.; Phytohormones and plant–herbivore–pathogen interactions: integrating the molecular with the ecological. **Ecology**. v. 85, p. 56-59. 2004.

HERNÁNDEZ-SANTIAGO, R; VARGAS-HERNÁNDEZ, M; ZAMORA-MACORRA, E. J; Evaluation of TMV resistance inducers in tomato. **Revista mexicana de ciencias agrícolas**, v. 11, n. 2, p.377-390, 2020.

HORVÁTH, E; PÁL, M; SZALAI, G; PÁLDI; JANDA, T. Exogenous 4- hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short-term drought and freezing stress on wheat plants. **Biologia Plantarum**, v.51, n.3, p. 480-487, 2007.

ISHII, H.; FUJIWARA, M.; NISHIMURA, K.; Systemic resistance inducer acibenzolar-S-methyl (ASM) and its microencapsulated formulations: their long-lasting control efficacy against cucumber diseases and mitigation of phytotoxicity. **Pest management science**, v. 75, n. 3, p. 801-808, 2019.

KOLESNIKOV, L. E; POPOVA, E. V; NOVIKOVA, I. I; PRIYATKIN, N. S; ARKHIPOV, M. V; KOLESNIKOVA, Y. R; POTRAKHOV, N.N; DUIJN, B; GUSARENKO, A. S; Multifunctional biologics which combine microbial anti-fungal strains with chitosan improve soft wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and grain quality. **Agricultural Biology**, v. 54, n. 5, p.1024-1040, 2019.

KATIYAR, D.; HEMANTARANJAN, A.; SINGH, B. Chitosan as a promising natural compound to enhance potential physiological responses in plant: a review. **Indian Journal Of Plant Physiology**, [s.l.], v. 20, n. 1, p.1-9, 5 fev. 2015

KHAN M.; IQBAL R.; FATMA MEHA; PER TASIR S; ANJUM NASER A.; KHAN NAFEES A.; Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. **Frontiers in Plant Science**. v. 6, n.462, 2015.

KHUN, O.J.; PASCHOLATI, S.F.; Custo adaptativo da indução de resistência em feijoeiro mediada pela rizobactéria *Bacillus cereus* ou acibenzolar-S-metil: atividade de enzimas, síntese de fenóis e lignina e biomassa. **Summa Phytopathol**. Botucatu, v. 36, n. 2, p. 107-114, 2010.

LANA, R. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H; ZANÃO JÚNIOR, L. A; SILVA, A. F; LANA, A. M. Q; Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. **Biosci. J.** v. 19, p.15-20, 2003.

LANNA FILHO, R.; FERRO, H.; SILVA, R.; PINHO, C.; Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**. v. 4, n. 2, p. 1-12, 2010.

LARANJEIRA, M.C.M; FÉVERE, V.T; Quitosana: biopolímero funcional com potencial industrial biomédico. **Quím. Nova**. v. 32, n. 3, p.672-678, 2009.

LÊ S.; JOSSE J.; HUSSON F. “FactoMineR: A Package for Multivariate Analysis.” **Journal of Statistical Software**, v. 25, n. 1, p.1–18, 2008.

LENGAI, G. M. W.; MUTHOMI, J. W.; MBEGA, E. R. Phytochemical activity and role of botanical pesticides in pest management for sustainable agricultural crop production. **Scientific African**. v. 7, p. e00318, 2020.

LEROY N.; DE TOMBEUR F.; WALGRAFFE Y.; CORNÉLIS J.T.; VERHEGGEN F.J.; Silicon and Plant Natural Defenses against Insect Pests: Impact on Plant Volatile Organic Compounds and Cascade Effects on Multitrophic Interactions. **Plants**. v. 8, n.11 p. 444, 2019.

LLORENS, E.; GARCIA-AGUSTIN, P.; LAPEÑA, L.; Advances in induced resistance by natural compounds: towards new options for woody crop protection. **Sci. Agric**. v.74, n.1, p.90-100, 2017.

LETOURNEAU, D.K.; GOLDSTEIN, B. Pest damage and arthropod community structure in organic vs. conventional tomato production in California. **Journal of Applied Ecology**, v. 38: p. 557-570, 2001.

LUYCKX, M.; HAUSMAN, J.; LUTTS, S.; GUERRIERO, G.; Silicon and Plants: Current Knowledge and Technological Perspectives. **Frontiers in Plant Science**. v. 8, p. 1-8, 2017.

MANTRI N.; PATADE V.; PENNA S.; FORD R.; Abiotic stress responses in plants: present and future. *In*: AHMAD P, Prasad MNV (eds) **Abiotic Stress Responses in Plants**. New York: Springer; 2012, p. 1–19.

MARRIOTT, P.E.; GÓMEZ, L.D.; AND MCQUEEN-MASON, S.J.; Unlocking the potential of lignocellulosic biomass through plant science. **New Phytol**, v.209: p.1366-1381, 2016

MARTIN S. S.; CHEVALIER, M. I.; MARÍA & COLMAN, S.; CASALONGUÉ, C. A.; VERA & CHEVALIER, A. Salicylic acid loaded chitosan microparticles applied to lettuce seedlings: Recycling shrimp fishing industry waste. **Carbohydrate Polymers**. v. 200, p. 321-331, 2018.

MAZARRO, S.M; BORSATTI, F.C; DALACOSTA, N.L; LEWANDOWSKI, A; DANNER, M.A; BUSSO, C; JUNIOR, A.W. Qualidade pós-colheita de acerolas tratadas com ácido salicílico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.10, n.4, p.512-517, 2015.

MOHAMMED, S.R, ZEITA, E.M; ESKOV, I.D; Inhibition of Mycelial Growth of *Rhizoctonia Solani* by Chitosan in vitro and in vivo. **The Open Agriculture Journal**. v. 13, p. 156-161, 2019.

NAZ, S.; BILAL, A.; SADDIQ, B.; EJAZ, S.; ALI, S.; AIN HAIDER, S.T.; SARDAR, H.; NASIR, B.; AHMAD, I.; TIWARI, R.K.; Foliar Application of Salicylic Acid Improved Growth, Yield, Quality and Photosynthesis of Pea (*Pisum sativum* L.) by Improving Antioxidant Defense Mechanism under Saline Conditions. **Sustainability**, v. 14, p. 2-15, 2022.

NCBI, National Center for Biotechnology Information. **PubChem Compound Summary for CID 86412, Acibenzolar-S-Methyl**. 2023.

PASCHOLATI, S. F.; LEITE, B. Mecanismos bioquímicos de resistência às doenças. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 2, p. 1-51, 1994.

PEREIRA, R.V.; FILGUEIRAS, C.C.; DORIA, J.; PENAFLORES, M.F.G.V.; WILLET, D.; The effects of biostimulants on induced plant defense. **Frontiers in Agronomy**. v. 3, n. 1, p. 1-9, 2021.

PÉREZ, L. S.; FUENTES, J. A. G.; DE LA CRUZ LAZARO, E.; CHÁVEZ, E. S.; RANGEL, P. P.; DÍAZ, D. A. V; Commercial and nutraceutical quality of jalapeño pepper affected by salicylic acid levels. **Interciencia**, v. 45, n. 9, p.423-427, 2020.

PICHYANGKURA R; CHADCHAWAN S.; Biostimulant activity of chitosan in horticulture. **Scientia Horticulturae**. v. 196, p. 49-65, 2015.

PIERO, R. M.; GARDA, M. V. Quitosana reduz a severidade da antracnose e aumenta a atividade de glucanase em feijoeiro comum. **Pesq. Agropec. Bras**, Brasília, v. 43, n. 9, p.1121-1128, set. 2008.

PINTO-ZEVALLOS, D.M.; MARTINS C.B.C.; PELLEGRINO A.C.; ZARBIN, P.H.G. Compostos orgânicos voláteis na defesa induzida das plantas contra insetos herbívoros. **Quim. Nova**. v. 36, n. 9, p. 1395-1405, 2013.

PULGA, P.S.; HENSCHER, J.M.; RESENDE, J.T.V.; ZEIST, A.R.; MOREIRA, A.F.P.; GABRIEL, A.; SILVA, M.B.; GONÇALVES, L.S.A. Salicylic acid treatments induce resistance to *Tuta absoluta* and *Tetranychus urticae* on tomato plants. **Horticultura Brasileira** v. 38, p.288-294. 2020.

PYE, M.F.; HAKUNO, F.; MACDONALD, J.D.; BOSTOCK, R.M.; Induced resistance in tomato by SAR activators during predisposing salinity stress. **Front. Plant Sci**. v.4, 2013.

REID, M. S.; **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. Third Edition. University of California – Agriculture and Natural Resources, Publication 3311, p. 149-162, 2002.

RODRÍGUEZ-GUZMÁN, C.A; GONZÁLEZ-ESTRADA R.R; BAUTISTA-BAÑOS S; GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ, P.Efecto del quitosano en el control de *Alternaria sp.* en plantas de jitomate en invernadero. **TIP Rev.Esp.Cienc.Quím.Biol**. v. 22, 2019.

ROTIFA, I.J.; EVANS, K.A.; Use of acibenzolar-S-methyl and other novel products for the management of *Aphelenchoides fragariae* on ornamental plants in glasshouse and commercial conditions. **Crop Protection**, v. 141, p. 105467, 2021.

ROUPHAEL, Y.; COLLA, G.; Synergistic Synergistic Biostimulatory Action: Designing the Next Generation of Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture. **Frontiers in Plant Science**. v.9, n.1, p. 1-7, 2018.

ROWEN, E.; GUTENSOHN, M.; DUDAREVA, N.; KAPLAN, I.; Carnivore Attractant or Plant Elicitor? Multifunctional Roles of Methyl Salicylate Lures in Tomato Defense. **Journal of Chemical Ecology**. v. 43, p. 573-585, 2017.

SÁNCHEZ, G. R; MERCADO, E.C; PEÑA, E. B; CRUZ, H.R; PINEDA, E.G. El ácido salicílico y su participación en la resistencia a patógenos en plantas. **Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias**, v. 12, n.2, p. 90-95, 2010.

SANTOS, F.S; SOUZA, P.E; RESENDE, M.L.V; POZZA, E.A; MIRANDA, J.C; RIBEIRO JUNIOR, P.M; MANERBA, F.C; Efeito de Extratos Vegetais no Progresso de Doenças Foliares do Cafeeiro Orgânico. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, n. 2 p. 59-63,2007.

SANTOS, F. J. Q.; DE CÁSSIA ALVES, R.; CAVALCANTE, A. L. A.; OLIVEIRA, F. F.M.; JUNIOR, R. S.; NEGREIROS, A. M. P; HOLANDA, I. S. A.; Analyzing the role of acibenzolar-s-methyl as a possible inducer of resistance against root rot disease and the decline in melon branches. **Tropical Plant Pathology**, p.1-10, 2022.

SANTOS, M.C; JUNQUEIRA, A.M.R; MENDES DE SÁ, V.G; ZANUNCIO, J.C; SERRÃO, J.E; Effect of silicon on the morphology of the midgut and mandible of tomato leaf miner *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae) larvae. **Invertebrate Survival Journal**. v. 12, n. 1, p. 158 – 165, 2015.

SANTOS, L. C.; SILVA, G. A. M; ABRANCHES, M.O; ROCHA, J. L. A; SILVA, S. T.A; RIBEIRO, M. D. S; GOMES, V. R; SEVERO, P. J.S; BRILHANTE, C. L; SOUSA, F. Q; The role of silicon in plants. **Research, Society and Development**. [S. I.], v. 10, n. 7, p. e3810716247, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i7.16247.

SHU, P.; LI, Y.; WANG, X.; YAO, L.; SHENG, J.; SHEN, L.; Exogenous ferulic acid treatment increases resistance against *Botrytis cinerea* in tomato fruit by regulating nitric oxide signaling pathway. **Postharvest Biology and Technology**, v.182, p.111678, 2021.

SHU, S.; TANG, Y.; ZHOU, X.; JAHAN, M.S.; SUN, J.; WANG, Y.; GUO, S. Physiological mechanism of transglutaminase-mediated improvement in salt tolerance of cucumber seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 156, p. 333-344, 2020.

SHUKLA, P. S.; MANTIN, E. G.; ADIL, M.; BAJPAI, S.; CRITCHLEY, A. T.; PRITHIVIRAJ, B. *Ascophyllum nodosum*-Based Biostimulants: Sustainable Applications in Agriculture for the Stimulation of Plant Growth, Stress Tolerance, and Disease Management. **Frontiers in Plant Science**, v.10, p. 1-22, 2019.

SILVA, J. F. M; PRADO, G, MADEIRA, J. E. G. C, OLIVEIRA, M. S, FARACO, A. A. G, MALTA, C. M, NICOLI, J. R; PIMENTA, R. S; Utilização de filme de quitosana para o controle de aflatoxinas em amendoim. **Bragantia**. v. 74, n.4, 2015.

SKWARYŁO-BEDNARZ, B. Total antioxidant capacity as an important element in the assessment of soil properties for the production of high-quality agricultural and horticultural raw materials with health-promoting properties. **Acta Agroph** v. 26, n. 2, p. 61 – 76, 2019

SOUZA, B.G.A.; PEREIRA, L.A.F.; SOUZA, J.V.G.A.; DE ALBUQUERQUE, J.R.T.; SOUSA, L.V.; BARROS JÚNIOR, A.P. Crescimento e desenvolvimento de mudas de tomate sob efeito de extrato *Ascophyllum nodosum*. v. 12, n. 4, p. 712-716, 2017.

TRENTO, D. A.; TIAGO ANTUNES, D.; FERNANDES JÚNIOR, F.; ROGGIA ZANUZO, M.; DALLACORT, R.; SEABRA JÚNIOR, S. Desempenho de cultivares de tomate italiano de crescimento determinado em cultivo protegido sob altas temperaturas. *Nativa*, v. 9, n. 4, p. 359-356. 2021.

VALLAD, G.E.; GOODMAN, R.M.; Systemic Acquired Resistance and Induced Systemic Resistance in Conventional Agriculture. **Crop Science**. v. 44, n. 6, p. 1920-1934, 2004.

WANG, Y.; WANG, W.; WU, Q.; YANG, H. The release and catabolism of ferulic acid in plant cell wall by rumen microbes: A review. **Animal Nutrition**, v. 9, p. 335 – 344, 2022.

WARABIEDA, W.; MARKIEWICZ, M; WÓJCIK, D; Mutual relations between jasmonic acid and acibenzolar-S-methyl in the induction of resistance to the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) in apple trees. **Exp Appl Acarol**. v.82, p.59–79, 2020.

YAMAURA, M; **A química das quitosanas**. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares: IPEN, 4p, 2009.

WEZEL, A.; HERREN, B. G.; KERR, R.B.; BARRIOS, E.; GONÇALVES A.L.R; SINCLAIR, F.; Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. **Agron. Sustain. Dev**. v. 40, p. 1-13, 2020.

YE, M.; SONG, Y.; LONG, J.; WANG, R.; BEARSON, S.R.; PAN, Z.; ZHU-SALZMAN, K.; XIE, J.; CAI, K.; LOU, S.; ZEN, R. Priming of jasmonate-mediated antiherbivore defense responses in rice by silicon. **PNAS**. v. 110, n. 38, p. E3631-E3639, 2013.

ZHONG, M.; SONG, R.; WANG, Y.; SHU, S.; SUN, J.; GUO, S.; TGase regulates salt stress tolerance through enhancing bound polyamines-mediated antioxidant enzymes activity in tomato. **Environmental and Experimental Botany**, v. 179, p. 104191, 2020.