



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
DOUTORADO EM FITOTECNIA

FRANCISCO ROMÁRIO ANDRADE FIGUEIREDO

**ELICITORES DE RESISTÊNCIA NO MANEJO DA PODRIDÃO RADICULAR
EM MELOEIRO: ASPECTOS SANITÁRIOS, FISIOLÓGICOS E
BIOQUÍMICOS**

MOSSORÓ-RN

2023

FRANCISCO ROMÁRIO ANDRADE FIGUEIREDO

**ELICITORES DE RESISTÊNCIA NO MANEJO DA PODRIDÃO RADICULAR
EM MELOEIRO: ASPECTOS SANITÁRIOS, FISIOLÓGICOS E
BIOQUÍMICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Fitopatologia

Orientadora: Profa. D. Sc. Márcia Michelle de Queiroz Ambrósio

Coorientadora: Profa. D. Sc. Andreia Mitsa Paiva Negreiros

Coorientador: Prof. D. Sc. Rui Sales Júnior

MOSSORÓ-RN

2023

©Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F475e Figueiredo, Francisco Romário Andrade.
ELICITORES DE RESISTÊNCIA NO MANEJO DA
PODRIDÃO RADICULAR EM MELOEIRO: ASPECTOS
SANITÁRIOS, FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS / Francisco
Romário Andrade Figueiredo. - 2023.
57 f. : il.

Orientadora: Márcia Michelle de Queiroz
Ambrósio.

Coorientadora: Andreia Mitsa Paiva Negreiros.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural
do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia, 2023.

1. Cucumis melo L. . 2. Enzimas. 3. Patógenos
habitantes do solo. I. Ambrósio, Márcia Michelle
de Queiroz , orient. II. Negreiros, Andreia Mitsa
Paiva, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

FRANCISCO ROMÁRIO ANDRADE FIGUEIREDO

**ELICITORES DE RESISTÊNCIA NO MANEJO DA PODRIDÃO RADICULAR
EM MELOEIRO: ASPECTOS SANITÁRIOS, FISIOLÓGICOS E
BIOQUÍMICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Fitopatologia

Defendida em: 17 / 02 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

D. Sc. Márcia Michelle de Queiroz Ambrósio (UFERSA)
(Orientadora/Presidente)

D. Sc. Andreia Mitsa Paiva Negreiros (UFERSA)
(Coorientadora)

D. Sc. Jailma Suerda Silva de Lima (UFERSA)
(Membro Examinador)

D. Sc. João Everthon da Silva Ribeiro (UFERSA)
(Membro Examinador)

D. Sc. Naama Jéssica de Assis Melo (UFERSA)
(Membro Examinador)

D. Sc. Luciana Cordeiro do Nascimento (UFPB)
(Membro Examinador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas graças e bênçãos em minha vida, pela força e proteção nos momentos difíceis e por iluminar meu caminho até o presente momento.

A toda a minha família, em especial aos meus pais, Vilaci e Francisco, e meus irmãos, Aurílio e Vitória, pelo apoio, empenho e por torcer por mim em todos os momentos.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa (Código Financeiro 001).

À minha orientadora, professora Dra. Márcia Michelle, pela orientação, suporte, pelo exemplo de profissional e pessoa, pelos ensinamentos passados, a palavra amiga e as cobranças que sempre foram para o meu bem.

À minha coorientadora, professora Dra. Andreia Mitsa, e coorientador, professor Dr. Rui Sales, por todo o apoio.

A todos os amigos e amigas do Laboratório de Fitopatologia e Microbiologia.

Às técnicas Louise e Naama, pela ajuda na realização do trabalho, pelas conversas e risadas diárias.

À professora Dra. Jailma Suerda, pela orientação durante o estágio docência, pelo suporte, exemplo de profissional e pessoa, e por todos os ensinamentos passados.

Aos membros da “casa dos sonhos” nas pessoas de Natan, Ariel, Toni, Jean e Moisés, com quem foram compartilhados bons momentos, e mais recentemente aos colegas de apartamento Thiago e Jenilson.

À empresa Alltech Crop Science, em nome de Michelangelo Fernandes, pelo suporte nos experimentos, sendo fundamental o seu auxílio para que este trabalho fosse realizado.

À empresa produtora de melão Agrícola Bom Jesus, que disponibilizou uma área para a condução do experimento.

Muito Obrigado!

FIGUEIREDO, Francisco Romário Andrade. **Elicitores de resistência no manejo da podridão radicular em meloeiro: aspectos sanitários, fisiológicos e bioquímicos.** 2023. 58f. (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2023.

RESUMO

O desempenho do meloeiro (*Cucumis melo* L.) vem sendo limitado pelas doenças radiculares em áreas produtoras de todo o mundo. Portanto, aumentar os níveis de resistência das plantas é uma estratégia viável para o manejo de doenças radiculares. Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de elicitores de resistência bióticos e abióticos, aplicados isoladamente ou combinados, no manejo da podridão radicular em meloeiro. Foram conduzidos dois experimentos: o primeiro, preliminar, foi realizado em canteiros de alvenaria, e o segundo experimento foi conduzido e repetido sob condições de campo. Os tratamentos que proporcionaram menor severidade da doença, no ensaio preliminar, foram selecionados para ensaios em campo. No experimento preliminar, o delineamento experimental foi o de blocos casualizados (DBC), com oito tratamentos, quatro repetições e seis plantas por repetição. Os tratamentos foram: ácido salicílico; ácido salicílico + Compost Aid[®]; Bion[®]; Bion[®] + Compost Aid[®]; Agro Mos[®]; Agro Mos[®] + Compost Aid[®]; Compost Aid[®] e controle absoluto (sem aplicação de elicitores). Os elicitores foram aplicados nas doses recomendadas pelos fabricantes. As variáveis analisadas foram a incidência e severidade da doença. No experimento em campo, utilizou-se o DBC, com cinco tratamentos, quatro repetições e oito plantas por repetição. Os tratamentos foram: padrão (Manejo adotado pela fazenda), Bion[®], Compost Aid[®], Bion[®] + Compost Aid[®] e controle absoluto. Foram avaliadas variáveis epidemiológicas, bioquímicas, produtividade e pós-colheita. A combinação Bion[®] + Compost Aid[®] reduziu a incidência da podridão radicular de meloeiro em 30,4% e a severidade em 44,1% em relação ao controle nas condições de canteiros. Nas condições de campo, comparado ao controle, as reduções da severidade foram de 23,1 e 37,6%, respectivamente. Os indutores Bion[®] + Compost Aid[®], aplicados combinados, ativaram as defesas das plantas por meio do aumento da atividade das enzimas β -1,3-glucanase, quitinase, fenilalanina amônia-liase, catalase, peroxidase e polifenoloxidase, tendo influenciado positivamente na produtividade, sólidos solúveis, trocas gasosas e índices de clorofila.

Palavras-chave: *Cucumis melo* L. Enzimas. Patógenos habitantes do solo.

FIGUEIREDO, Francisco Romário Andrade. **Resistance elicitors in melon root rot management**: sanitary, physiological and biochemical aspects. 2023. 58p. (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2023.

ABSTRACT

Melon (*Cucumis melo* L.) performance has been limited by root diseases in producing areas around the world. Therefore, increasing plant resistance levels is a viable strategy for the management of root diseases. Therefore, the objective of this research was to evaluate the effect of biotic and abiotic resistance elicitors, applied alone or combined, in the management of root rot in melon. Two experiments were conducted, the first, preliminary, was carried out in masonry beds and the second experiment was conducted and repeated under field conditions. The treatments that provided lower disease severity, in the preliminary test, were selected for field trials. In the preliminary experiment, the experimental design was randomized blocks (DRB), with eight treatments, four replications and six plants per replication. The treatments were: salicylic acid; salicylic acid + Compost Aid[®]; Bion[®]; Bion[®] + Compost Aid[®]; Agro Mos[®]; Agro Mos[®] + Compost Aid[®]; Compost Aid[®] and absolute control (without application of elicitors). The elicitors were applied at the doses recommended by the manufacturers. The variables analyzed were the incidence and severity of the disease. In the field experiment, DRB was used, with five treatments, four replications, and eight plants per replication. The treatments were: standard (Management adopted by the farm), Bion[®], Compost Aid[®], Bion[®] + Compost Aid[®] and absolute control. Epidemiological, biochemical, productivity and post-harvest variables were evaluated. The combination Bion[®] + Compost Aid[®] reduced the incidence of melon root rot by 30.4% and the severity by 44.1% in relation to the control in masonry beds conditions. Under field conditions, compared to control, the reductions in severity were 23.1 and 37.6%, respectively. The Bion[®] + Compost Aid[®] inducers, applied in combination, activated the plant defenses by increasing the activity of the enzymes β -1,3-glucanase, chitinase, phenylalanine ammonia-lyase, catalase, peroxidase and polyphenoloxidase and positively influenced productivity, soluble solids, gas exchange and chlorophyll indices.

Keywords: *Cucumis melo* L. Enzymes. Soil-borne pathogen.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1: ELICITORES DE RESISTÊNCIA AUMENTAM AS DEFESAS DO MELOEIRO CONTRA A PODRIDÃO RADICULAR

Tabela 1. Caracterização química dos solos das áreas experimentais antes da instalação dos experimentos. Mossoró, RN. UFERSA, 2023.22

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1: ELICITORES DE RESISTÊNCIA AUMENTAM AS DEFESAS DO MELOEIRO CONTRA A PODRIDÃO RADICULAR

Figura 1. Incidência e Severidade da podridão no sistema radicular do meloeiro sob influência de elicitores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....28

Figura 2. Incidência (A) e severidade (B) da podridão no sistema radicular e ocorrência de patógenos (C) em meloeiro sob influência de elicitores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os valores médios dos tratamentos não diferem entre si e letras maiúsculas iguais significam que os valores médios dos fungos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....29

Figura 3. Atividade das enzimas β -1,3-glucanase (A), quitinase (B) e fenilalanina amônia-liase – FAL (C) em meloeiro sob a influência de elicitores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....30

Figura 4. Produtividade (A), peso médio dos frutos (B), sólidos solúveis (C) e firmeza da polpa (D) de frutos de meloeiro sob influência de indutores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....31

Figura 5. Correlação de Person para severidade (SEV) e incidência da doença (INC), atividade das enzimas β -1,3-glucanase (GLU), quitinase (QUI) e fenilalanina amônia-liase (FAL), produtividade (PRO), peso médio dos frutos (PMF) e sólidos solúveis (SS).....32

CAPÍTULO 2 - EFEITOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE ELICITORES DE RESISTÊNCIA EM MELOEIRO CULTIVADO EM ÁREA COM HISTÓRICO DE PODRIDÃO RADICULAR

Figura 1. Índice de severidade da doença (A), quantidade de peróxido de hidrogênio (B) e atividades das enzimas catalase (C), peroxidase (D) e polifenoloxidase (D) em meloeiro sob influência de elicitores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....47

Figura 2. Taxa fotossintética - *A* (A), condutância estomática - *gs* (B), concentração intercelular de $CO_2 - Ci$ (C) e a taxa de transpiração - *E* (D) em meloeiro sob influência de elicitores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....48

Figura 3. Eficiências instantâneas de carboxilação - *EiC* (A) e do uso da água - *EUA* (B) e a temperatura foliar - *TF* (C) em meloeiro sob influência de elicitores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....49

Figura 4. Índices de clorofila A (A), clorofila B (B) e a relação clorofila A/B (C) em meloeiro sob influência de elicitores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).....50

Figura 5. Correlação de Person para índice de severidade da doença (DSI), clorofila A (CLA), relação clorofila A/B (AB), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), atividade das enzimas catalase (CAT), polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POX), taxa fotossintética (A), condutância estomática (GS), taxa de transpiração (E), concentração interna de CO_2 (CI) e eficiência instantânea de carboxilação (EIC).....51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERÊNCIAS	14
CAPÍTULO 1 - ELICITORES DE RESISTÊNCIA AUMENTAM AS DEFESAS DO MELOEIRO CONTRA A PODRIDÃO RADICULAR	18
RESUMO	18
ABSTRACT	19
1 INTRODUÇÃO	20
2 MATERIAL E MÉTODOS	21
2.1 Localização e Caracterização da Área Experimental	21
2.2 Experimentos e Delineamento Experimental	22
2.2.1 Experimento em Canteiros	22
2.2.2 Experimentos em Campo.....	25
3 RESULTADOS	28
3.1 Experimento em Canteiros	28
3.2 Experimentos em Campo.....	29
4 DISCUSSÃO	33
5 CONCLUSÕES	34
6 REFERÊNCIAS	35
CAPÍTULO 2 - EFEITOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE ELICITORES DE RESISTÊNCIA EM MELOEIRO CULTIVADO EM ÁREA COM HISTÓRICO DE PODRIDÃO RADICULAR	39
RESUMO	40
ABSTRACT	41
1 INTRODUÇÃO	41
2 MATERIAL E MÉTODOS	42
2.1 Localização e Caracterização da Área Experimental	42
2.2 Condução e Delineamento Experimental	43
2.3 Preparo e Aplicação dos Tratamentos	43
2.4 Variáveis Analisadas	44
2.5 Análise Estatística.....	46
3 RESULTADOS	46
4 DISCUSSÃO	51
5 CONCLUSÕES	53
REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO GERAL

O meloeiro (*Cucumis melo* L.) é uma hortaliça pertencente à família botânica das Cucurbitáceas e é originário da África e Ásia (ARAÚJO; CAMPOS, 2011). As plantas são herbáceas, com ciclo anual, crescimento rasteiro, com várias ramificações e seu cultivo se encontra basicamente em regiões de clima quente (MALLEK-AYADI et al., 2018). Em virtude disso, o desenvolvimento desta cultura é potencializado em ambientes de clima tropical, com temperaturas acima de 30 °C, umidade relativa do ar variando entre 65 e 75 %, e alta incidência de raios solares (FERNANDES et al., 2010). Estas características fazem com que o meloeiro seja uma das principais olerícolas cultivadas no mundo.

O maior produtor mundial de melão é a China (14.013.294 t), seguido por Turquia (1.638.638 t) e Índia (1.478.000 t). O Brasil ocupa a 10ª posição neste *ranking*, com uma produção de 607.047 t, em uma área colhida de 23.858 ha e rendimento médio de 25.444 kg/ha (FAO, 2023). Praticamente em todo o território brasileiro é possível cultivar melão, no entanto a região Nordeste destaca-se como o principal polo produtivo, sendo responsável por 96,2% da produção nacional, tendo como maiores produtores os estados do Rio Grande do Norte (361.649 t), Bahia (86.866 t) e Ceará (70.665 t) (IBGE, 2023).

Além das características edafoclimáticas favoráveis, os avanços tecnológicos, como o uso de sementes híbridas, irrigação de alta frequência, *mulch* de polietileno e manta térmica de TNT, permitem o cultivo de três ciclos de melão por ano na região Nordeste, fatores que explicam a superioridade produtiva desta região (NASCIMENTO et al., 2018). Atrelados a isto, estão o monocultivo e o cultivo sucessivo, para atender a demanda. Entretanto, a associação destes fatores favorece populações de microrganismos patogênicos, principalmente fungos habitantes do solo, causando doenças radiculares (MEDEIROS et al., 2015; NASCIMENTO et al., 2018; SALES JÚNIOR et al., 2019). O aumento na incidência e severidade de doenças radiculares é uma das principais ameaças para o cultivo do meloeiro em várias regiões produtoras do mundo, ocasionando o abandono de áreas (ZHAO et al., 2014).

As podridões no sistema radicular do meloeiro podem ser ocasionadas por várias espécies de fungos ou suas associações, como *Fusarium solani* (Mart.), *Didymella bryoniae* (Auersw.) Rehm, *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., *Myrothecium roridum* Tode, *Monosporascus cannonballus* Pollack e Uecker e *Rhizoctonia solani*

Kühn (AMBRÓSIO et al., 2015; PORTO et al., 2016; NEGREIROS et al., 2019). A infecção por estes patógenos pode acontecer em todas as fases de desenvolvimento do meloeiro, e os principais sintomas são o apodrecimento das raízes, colapso e murchamento das plantas, tornando-se mais expressivos próximo à colheita, fase em que as plantas necessitam de maior quantidade de água (TERAO et al., 2008).

A podridão radicular provoca reduções na absorção de água e nutrientes, afetando indiretamente as atividades fisiológicas e bioquímicas das plantas, consequentemente a produtividade e qualidade dos frutos. Nesse sentido, uma das primeiras reações das plantas quando submetidas a ambientes com restrição hídrica é o fechamento estomático, com o objetivo de reduzir a perda de água pela transpiração (LI et al., 2016), levando a decréscimos na fotossíntese. Além disso, a redução na absorção de alguns nutrientes, como o nitrogênio e magnésio e a senescência foliar, tem como consequência menor síntese de pigmentos fotossintéticos, como as clorofilas A e B (ARGAEZ et al., 2020), o que compromete a produtividade.

Fungos habitantes do solo podem permanecer no solo por longos períodos mesmo na ausência do hospedeiro e em condições ambientais adversas, pois possuem estruturas de resistência, como clamidósporos, oósporos e escleródios, e capacidade saprofítica, nutrindo-se por meio da decomposição da matéria orgânica de restos culturais (NASCIMENTO et al., 2018; MELO et al., 2021). Somando-se a isso, grande parte desses patógenos possui ampla gama de hospedeiros, incluindo plantas daninhas (SALES JÚNIOR et al., 2012; NEGREIROS et al., 2019), o que dificulta mais ainda o manejo da doença. No Brasil, não existem dados sobre as perdas percentuais ocasionadas por estes microrganismos, porém os patógenos habitantes do solo (PHS) são conhecidos como um dos principais agentes causadores de doenças e perdas econômicas (PORTO et al., 2019).

Como estratégia de manejo de doenças, o uso de cultivares resistentes, quando disponíveis, é o método mais recomendado, sendo sustentável e de baixo custo. Porém, não existem cultivares de meloeiro resistentes à podridão radicular registradas no Brasil (LINHARES et al., 2020). Uma alternativa para controle desses patógenos é a rotação de culturas com plantas não hospedeiras, mas devido às condições climáticas das regiões produtoras favorecerem até três ciclos anuais, existe resistência por parte dos produtores para adoção desta técnica.

Outro método de manejo bastante utilizado para doenças em plantas é o controle químico, porém o brometo de metila, fumigante muito utilizado para o controle de PHS,

foi banido em todo o mundo porque é um produto não seletivo e altamente tóxico ao meio ambiente e ao ser humano, exigindo-se novas estratégias de manejo (LOPES et al., 2005; NASCIMENTO et al., 2018).

Diante disso, uma das formas de amenizar os danos causados por PHS é a utilização de indutores de resistência (ALEANDRI et al. 2010; OLIVEIRA et al. 2016). A indução de resistência é o processo pelo qual substâncias elicitoras, de origem biótica ou abiótica, ativam os mecanismos latentes de defesa das plantas contra o ataque de patógenos (LORENZETTI et al., 2018). Existe grande diversidade de microrganismos benéficos que podem desencadear as respostas de defesa das plantas, como, por exemplo, as rizobactérias pertencentes ao gênero *Bacillus*, e as espécies de fungos pertencentes ao gênero *Trichoderma* (ONS et al., 2020). Como substância elicitora de origem abiótica, tem o acibenzolar-S-metil, molécula análoga do ácido salicílico, composto fenólico que induz a ação de genes que codificam proteínas relacionadas à patogênese (MELO et al., 2020).

Esses elicitores ativam as vias de transdução de sinal, levando à produção de espécies reativas de oxigênio (ERO's), biossíntese de fitoalexinas, reforço da parede celular, deposição de calose, síntese de enzimas de defesa e acúmulo de proteínas relacionadas à patogênese (THAKUR; SOHAL, 2013; BERGER et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2016). Aumento na produção de ERO's induz uma resposta de hipersensibilidade, causando morte rápida de células no local da infecção, com o objetivo de delimitar o crescimento do patógeno por falta de nutrição; depois disso, as partes não infectadas da planta desenvolvem resistência sistêmica ao patógeno (AGRIOS, 2005).

Apesar de participar do processo de sinalização contra estresse biótico, o acúmulo de ERO's é altamente tóxico às células vegetais, causando danos oxidativos (QUADROS et al., 2019). Para tanto, as plantas possuem eficiente sistema antioxidante, composto por várias enzimas, como catalase (CAT), peroxidase (POX) e polifenoloxidase (PPO) (CHEN et al., 2010; BERGER et al., 2016). Além da função antioxidante, essas enzimas estão envolvidas na lignificação da parede celular e na transformação de fenóis em quinonas tóxicas a microrganismos (THILAGAVATHI et al., 2007; LORENZETTI et al., 2018).

Outra forma das plantas expressarem suas defesas é a síntese de proteínas relacionadas à patogênese, como as enzimas quitinase (QUI), β -1,3 glucanase (GLU) e fenilalanina amônia-liase (FAL) (BERGER et al., 2016). O aumento na atividade da

QUI e GLU está associada à hidrólise de quitina e β -1,4-glucana, os principais componentes da parede celular fúngica (ALI et al. 2014; MOHAMMED, 2020). Por sua vez, a FAL sinaliza a síntese de ácido salicílico, compostos fenólicos, fitoalexinas e lignificação dos tecidos das plantas (CHANDRASEKARAN et al., 2017; DUBA et al., 2019; TRINDADE et al., 2019).

Resultados positivos com a utilização de indutores de resistência no controle de doenças fúngicas já foram relatados para várias culturas de interesse econômico, como o meloeiro (ALEANDRI et al., 2010; ANTONELLI et al., 2013), feijoeiro (BERGER et al., 2016), tomateiro (FERRAZ et al., 2014), arroz (SHASMITA et al., 2019) e soja (LORENZETTI et al., 2018), porém poucos são os relatos e meloeiro sobre os efeitos da aplicação combinada de indutores bióticos e abióticos.

Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de indutores de resistência bióticos e abióticos no manejo da podridão radicular em meloeiro.

REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G. N. **Plant Pathology**. 5th edition Academic Press, San Diego, Calif, USA, 2005.
- ALEANDRI, M. P.; REDA, R.; TAGLIAVENTO, V.; MAGRO, P.; CHILOSI, G. Effect of chemical resistance inducers on the control of *Monosporascus* root rot and vine decline of melon. **Phytopathologia Mediterranea**, Florence, v. 49, p. 18-26, 2010.
- ALI, A.; ZAHID, N.; MANICKAM, S.; SIDDIQUI, Y.; ALDERSON, P. G.; MAQBOOL, M. Induction of lignin and pathogenesis related proteins in dragon fruit plants in response to submicron chitosan dispersions. **Crop Protection**, Lincoln, v. 63, p. 83-88, 2014.
- AMBRÓSIO, M. M. Q.; DANTAS, A. C. A.; MARTINEZ-PEREZ, E.; MEDEIROS, A. C.; NUNES, G. H. S.; PICÓ, M. B. Screening a variable germplasm collection of *Cucumis melo* L. for seedling resistance to *Macrophomina phaseolina*. **Euphytica**, Wageningen, v. 206, n. 2, p. 287-300, 2015.
- ANTONELLI, M.; REDA, R.; ALEANDRI, M. P.; VARVARO, L.; CHILOSI, G. Plant growth promoting bacteria from solarized soil with the ability to protect melon against root rot and vine decline caused by *Monosporascus cannonballus*. **Journal of Phytopathology**, Gottingen, v. 161, n. 8, p. 485-496, 2013.
- ARAÚJO, V. F. S.; CAMPOS, D. F. A cadeia logística do melão produzido no Agropolo Fruticultor Mossoró/Açu. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 42, n. 3, p. 505-530, 2011.
- ARGAEZ, R. C.; SCHAFFER, B.; VAZQUEZ, A.; STERNBERG, L. D. S. L. Leaf gas exchanges and stable carbono isotope composition of redbay and avocado trees in response to laurel wilt or drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, Barcelona, v. 171, p. 1- 10, 2020.
- BERGER, L. R. R.; STAMFORD, N. P.; WILLADINO, L. G.; LARANJEIRA, D.; LIMA, M. A. B.; MALHEIROS, S. M. M.; OLIVEIRA, W. J.; STAMFORD, T. C. M. Cowpea resistance induced against *Fusarium oxysporum* f. sp. *tracheiphilum* by crustaceous chitosan and by biomass and chitosan obtained from *Cunninghamella elegans*. **Biological Control**, Texas, v. 92, p. 45-54, 2016.
- CHANDRASEKARAN, M.; BELACHEW, S. T.; YOON, E.; CHUN, S. C. Expression of β -1,3-glucanase (GLU) and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) genes and their enzymes in tomato plants induced after treatment with *Bacillus subtilis* CBR05 against *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. **Journal of General Plant Pathology**, Okayama, v. 83, p. 7-13, 2017.
- CHEN, F.; WANG, M.; ZHENG, Y.; LUO, J.; YANG, X.; WANG, X. Quantitative changes of plant defense enzymes and phytohormone in biocontrol of cucumber Fusarium wilt by *Bacillus subtilis* B579. **World Journal of Microbiology and Biotechnonology**, Hull, v. 26, p. 675-684, 2010.
- DUBA, A.; GORIEWA-DUBA, K.; WACHOWSKA, U.; GLOWACKA, K.; WIWART, M. The associations between leaf morphology, phenylalanine ammonia lyase activity, reactive oxygen species, and Fusarium resistance on selected species of wheat with different ploidy levels. **Plants**, Winnipeg, v. 8, n. 10, p. 1-19, 2019.

- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. 2023. The agricultural production domain covers. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 11 fev. 2023.
- FERRAZ, H. G. M.; RESENDE, R. S.; SILVEIRA, P. R.; ANDRADE, C. C. L.; MILAGRES, E. A.; OLIVEIRA, J. R.; RODRIGUES, F. A. Rhizobacteria induces resistance against Fusarium wilt of tomato by increasing the activity of defense enzymes. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 3, p. 274-283, 2014.
- FERNANDES, O. B.; PEREIRA, F. H. F.; ANDRADE JÚNIOR, W. P. D.; QUEIROGA, R. C. F.; QUEIROGA, F. M. D. Efeito do nitrato de cálcio na redução do estresse salino no meloeiro. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 3, p. 93-103, 2010.
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Produção Agrícola Municipal, 2021, Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 11 fev. 2023.
- KOHL, J.; KOLNAAR, R.; RAVENSBERG, W. J. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: Relevance beyond efficacy. **Frontiers in Plant Science**, San Diego, v. 10, p. 1-19, 2019.
- LI, M.; LÓPEZ, R.; VENTURAS, M.; MARTÍN, J. A.; DOMÍNGUEZ, J.; GORDALIZA, G. G.; GIL, L.; RODRÍGUEZ-CALCERRADA, J. Physiological and biochemical differences among *Ulmus minor* genotypes showing a gradient of resistance to Dutch elm disease. **Forest Pathology**, Aberdeen, v. 46, n. 3, p. 215-228, 2016.
- LINHARES, C. M. S.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; CASTRO, G.; TORRES, S. B.; ESTERAS, C.; NUNES, G. H. S.; PICÓ, B. Effect of temperature on disease severity of charcoal rot of melons caused by *Macrophomina phaseolina*: implications for selection of resistance sources. **European Journal of Plant Pathology**, Londres, v. 158, p. 431-441, 2020.
- LOPES, C. A.; REIS, A.; BOITEUX, L. S. **Doenças fúngicas**. Embrapa Hortaliças: Doenças do tomateiro. Brasília, 2005. p. 17-51.
- LORENZETTI, E.; STANGARLIN, J. R.; KUHN, O. J.; PORTZ, R. L. Indução de resistência à *Macrophomina phaseolina* em soja tratada com extrato de alecrim. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 44, n. 1, p. 45-50, 2018.
- MALLEK-AYADI, S.; BAHLOUL, N.; KECHAOU, N. Chemical composition and bio Soil-Plex® Active compounds of *Cucumis melo* L. seeds: Potential source for new trends of plant oils. **Process Safety and Environment Protection**, Hong Kong, v. 113, n. 1, p. 68-77, 2018.
- MEDEIROS, A. C.; MELO, D. R. M.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; NUNES, G. H. S.; COSTA, J. M. Métodos de inoculação de *Rhizoctonia solani* e *Macrophomina phaseolina* em meloeiro (*Cucumis melo*). **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 41, n. 4, p. 281-268, 2015.
- MELO, N. J. A.; LIMA, A. G.; NEGREIROS, A. M. P.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; NASCIMENTO, L. V.; SALES JUNIOR, R. Pathogenicity of *Macrophomina phaseolina* in cultivars and accessions of *Cucumis melo*. **Journal of Plant Pathology**, Berkeley, v. 103, p. 969-972, 2021.
- MELO, P. C.; COLLELA, C. F.; SOUSA, T.; PACHECO, D.; COTAS, J.; GONÇALVES, A. M. M.; BAHCEVANDZIEV, K.; PEREIRA, L. Seaweed-Based

products and mushroom β -Glucan as tomato plant immunological inducers. **Vaccines**, Rochester, v. 8, n. 3, p. 1-13, 2020.

MOHAMMED, A. F. Optimization of cellulase and chitinase enzymes production by plant growth promoting rhizobacteria. **Novel Research in Microbiology Journal**, Obour City, v. 4, n. 1, p. 641-652, 2020.

NASCIMENTO, P. G. M. L.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; FREITAS, F. C. L.; CRUZ, B. L. S.; DANTAS, A. M. M.; SALES JÚNIOR, R.; SILVA, W. L. Incidence of root of muskmelon in different soil management practices. **European Journal of Plant Pathology**, Londres, v. 152, p. 433-446, 2018.

NEGREIROS, A. M. P.; SALES JÚNIOR, R.; LEÓN, M.; MELO, N. J. A.; MICHEREFF, S. J.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; MEDEIROS, H. L. S.; ARMENGOL, J. Identification and pathogenicity of *Macrophomina* species collected from weeds in melon fields in Northeastern Brazil. **Journal of Phytopathology**, Göttingen, v. 167, n. 6, p. 326-337, 2019.

OLIVEIRA, M. D. M.; VARANDA, C. M. R.; FÉLIZ, M. R. F. Induced resistance during the interaction pathogen x plant and the use of resistance inducers. **Phytochemistry Letters**, Rochester, v. 15, p. 152-158, 2016.

ONS, L.; BYLEMANS, D.; THEVISSSEN, K.; CAMMUE, B. P. A. Combining biocontrol agents with chemical fungicides for integrated plant fungal disease control. **Microorganisms**, Leipzig, v. 8, n. 12, p. 1-19.

PORTO, M. A. F.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; FREITAS, F. C. L.; NASCIMENTO, S. R. C.; CRUZ, B. L. S.; GUIMARÃES, L. M. S. Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) no controle da podridão radicular do meloeiro causada por associação de patógenos. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 42, n. 4, p. 327-332, 2016.

PORTO, M. A. F.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; NASCIMENTO, S. R. C.; CRUZ, B. L. S.; TORRES, R. M. Interaction of *Fusarium solani*, *Macrophomina phaseolina* and *Rhizoctonia solani* as root rot pathogens of *Cucumis melo*. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 45, n. 4, p. 355-360, 2019.

QUADROS, F.M.; GARCÉS-FIALLOS, F.R.; BORBA, M.C.; FREITAS, M.B.; STADNIK, M.J. *Fusarium oxysporum* affects differently the hydrogen peroxide levels and oxidative metabolism in susceptible and resistant bean roots. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, East Lansing, v. 106, p. 1-6, 2019.

SALES JÚNIOR, R.; OLIVEIRA, O. F.; MEDEIROS, E. V.; GUIMARÃES, I. M.; CORREIA, K. C. Ervas daninhas como hospedeiras alternativas de patógenos causadores do colapso do meloeiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 195-198, 2012.

SALES JÚNIOR, R.; SENHOR, R. F.; MICHEREFF, S. J.; NEGREIROS, A. M. P. Reaction of melon genotypes to the root's rot caused by *Monosporascus*. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 1, p. 288 – 294, 2019.

SHASMITA.; MOHAPATRA, D.; MOHAPATRA, P. K.; NAIK, S. K.; MUKHERJEE, A. K. Priming with salicylic acid induces defense against bacterial blight disease by modulating rice plant photosystem II and antioxidant enzymes activity. **Physiological and Molecular Pathology**, East Lansing, v. 108, p. 1-10, 2019.

TERAO, D.; VIANA, F. M. P. ; AZEVEDO, F. R. Manejo integrado de doenças do meloeiro. In: SOBRINHO, R. B.; GUIMARÃES, J. A.; FREITAS, J. A. D. (org.).

Produção integrada de melão. 1ed. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, Banco do Nordeste do Brasil, 2008. p. 207-225.

THAKUR, M.; SOHAL, B. S. Role of elicitors in inducing resistance in plants against pathogen infection: a review. **ISRN Biochemistry**, v. 2013, p. 1–11, 2013.

THILAGAVATHI, R.; SARAVANAKUMAR, D.; RAGUPATHI, N.; SAMIYAPPAN, R. A combination of biocontrol agents improves the management of dry root rot (*Macrophomina phaseolina*) in greengram. **Phytopathologia Mediterranea**, Florence, v. 46, p. 157–167, 2007.

TRINDADE, R.; ALMEIDA, L.; XAVIER, L.; LINS, A. L.; ANDRADE, E. H.; MAIA, J. G.; MELLO, A.; SETZER, W. N.; RAMOS, A.; SILVA, J. K. Arbuscular mycorrhizal fungi colonization promotes changes in the volatile compounds and enzymatic activity of lipoxygenase and phenylalanine ammonia lyase in *Piper nigrum* L. 'Bragantina'. **Plants**, Winnipeg, v. 8, n. 11, p. 1-15, 2019.

ZHAO, B.; YAN, J.; ZHANG, S.; LIU, X.; GAO, Z. Phylogeny and pathogenicity of *Fusarium* spp. isolated from greenhouse melon soil in Liaoning Province. **Saudi Journal of Biological Sciences**, Riyadh, v. 21, n. 4, p. 374–379, 2014.

CAPÍTULO 1 - ELICITORES DE RESISTÊNCIA AUMENTAM AS DEFESAS DO MELOEIRO CONTRA A PODRIDÃO RADICULAR

RESUMO

O meloeiro (*Cucumis melo* L.) é uma das hortaliças mais apreciadas e consumidas no mundo. Entretanto, doenças radiculares vêm limitando a produção desta cultura, tornando necessário buscar alternativas que minimizem esse problema. Uma opção viável seria a indução de resistência usando elicitores bióticos e abióticos. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de elicitores bióticos e abióticos aplicados isoladamente ou combinados, no controle da podridão radicular e declínio de ramos em meloeiro. Durante a pesquisa, foram conduzidos dois experimentos: o primeiro foi realizado em canteiros de alvenaria, onde foram selecionados os tratamentos que proporcionaram menor severidade da doença para a realização do segundo experimento. O segundo experimento foi conduzido e repetido sob condições de campo. No experimento em canteiros, o delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com oito tratamentos, quatro repetições e seis plantas por repetição. Os tratamentos foram ácido salicílico; ácido salicílico + Compost Aid[®]; Bion[®]; Bion[®] + Compost Aid[®]; Agro Mos[®]; Agro Mos[®] + Compost Aid[®]; Compost Aid[®] e controle absoluto. As variáveis analisadas foram a incidência e severidade da doença. No experimento em campo, utilizou-se o mesmo delineamento experimental, com cinco tratamentos, quatro repetições e oito plantas por repetição. Os tratamentos foram: padrão (Manejo adotado pela fazenda), Bion[®], Compost Aid[®], Bion[®] + Compost Aid[®] e controle absoluto. Foram avaliadas variáveis epidemiológicas, bioquímicas, produtividade e pós-colheita. A combinação Bion[®] + Compost Aid[®] reduziu a incidência da podridão radicular de meloeiro em 30,4% e a severidade em 44,1% nas condições de canteiros; nas condições de campo, as reduções foram de 23,1 e 37,6%, respectivamente. Os elicitores Bion[®] + Compost Aid[®], aplicados combinados, induzem a defesa do meloeiro por meio da ativação das enzimas β -1,3-glucanase, quitinase e fenilalanina amônia-liase, além de influenciarem positivamente na produtividade e sólidos solúveis.

Palavras-chave: *Cucumis melo* L., enzimas de defesa, patógenos radiculares.

CHAPTER 1 - RESISTANCE ELICITORS INCREASE MELON DEFENSES AGAINST ROOT ROT

ABSTRACT

Melon (*Cucumis melo* L.) is one of the most appreciated and consumed vegetables in the world. However, root diseases have been limiting the production of this crop, making it necessary to search for alternatives that minimize this problem. A viable option would be the induction of resistance using biotic and abiotic elicitors. Thus, the objective of this research was to evaluate the effect of biotic and abiotic elicitors applied alone or in combination, in the control of root rot and shoot decline in melon. During the research, two experiments were carried out: The first was carried out in masonry beds, where the treatments that provided less severity of the disease were selected for the second experiment. The second experiment was conducted and repeated under field conditions. In the experiment in masonry beds, the experimental design was randomized blocks, with eight treatments, four replications and six plants per replication. Treatments were salicylic acid; salicylic acid + Compost Aid[®]; Bion[®]; Bion[®] + Compost Aid[®]; Agro Mos[®]; Agro Mos[®] + Compost Aid[®]; Compost Aid[®] and absolute control. The variables analyzed were the incidence and severity of the disease. In the field experiment, the same experimental design was used, with five treatments, four replications and eight plants per replication. The treatments were: standard (Management adopted by the farm), Bion[®], Compost Aid[®], Bion[®] + Compost Aid[®] and absolute control. Epidemiological, biochemical, productivity and post-harvest variables were evaluated. The combination Bion[®] + Compost Aid[®] reduced the incidence of melon root rot by 30.4% and the severity by 44.1% in the conditions of beds; under field conditions, the reductions were 23.1 and 37.6%, respectively. Bion[®] + Compost Aid[®] elicitors applied in combination, induce melon plant defense through the activation of β -1,3-glucanase, chitinase and phenylalanine ammonia-lyase enzymes, and positively influence productivity and soluble solids.

Keywords: *Cucumis melo* L., defense enzymes, root pathogens.

1 INTRODUÇÃO

O meloeiro (*Cucumis melo* L.), espécie da família Cucurbitaceae, é de grande importância socioeconômica em todo o mundo. A China é o maior produtor mundial de melão, com uma produção de 14,013.294 t (FAO, 2023). O Brasil ocupa a 10ª posição no *ranking* mundial, e sua produção se concentra quase em sua totalidade na região Nordeste, respondendo por 96,2% da produção nacional, com destaque para os estados do Rio Grande do Norte, Bahia e Ceará (FAO, 2023; IBGE, 2023). A superioridade desta região deve-se à adaptação da cultura às condições edafoclimáticas, como altas temperaturas, baixa precipitação e alta luminosidade na maior parte do ano. Além disso, destaca-se ainda o emprego de insumos de alta tecnologia, tais como: sementes híbridas, irrigação de alta frequência, “*mulching*”, manta de TNT etc., favorecendo a obtenção de até três ciclos de cultivo por ano na mesma área (NASCIMENTO et al., 2018).

Apesar das condições favoráveis de solo e clima da região, bem como o uso de tecnologias que maximizam a produção e favorecem o cultivo durante todo o ano, problemas fitossanitários prejudicam a cultura do meloeiro. A associação entre monocultivo e cultivos sucessivos proporciona condições favoráveis ao aumento da população de microrganismos patogênicos, especialmente os fungos habitantes do solo, causando doenças radiculares (NASCIMENTO et al., 2018; SALES JÚNIOR et al., 2019).

A podridão radicular e o declínio de ramas (PRDR) é uma das principais doenças do meloeiro, com murcha e amarelecimento das folhas como sintomas principais, podendo ser causada por um ou vários patógenos habitantes do solo (PHS) agindo de forma isolada ou em conjunto. Dentre esses patógenos destacam-se os fungos *Fusarium solani* (Mart) Sacc., *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., *Monosporascus cannonballus* Pollack & Uecker e *Rhizoctonia solani* Kühn (PORTO et al., 2016; NEGREIROS et al., 2019).

Alguns gêneros de fungos fitopatogênicos (*Fusarium*, *Macrophomina* e *Rhizoctonia*) possuem a capacidade de produzir estruturas de resistência, como clamidósporos, microescleródios e escleródios, o que permite a sobrevivência por longos períodos no solo, mesmo em condições adversas (ANDRADE et al., 2014). Estas características dificultam o manejo desses patógenos e, até o momento, não existem produtos registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para o controle químico desses patógenos em meloeiro (AGROFIT, 2022).

Cabe destacar também as exigências dos mercados importadores por frutos sem resíduos químicos, tornando necessária a adoção de medidas que possam reduzir a ação desses patógenos, associado à redução no uso de agrotóxicos.

Diante disso, a utilização de indutores de resistência pode ser uma opção viável, buscando aumentar a capacidade de defesa desenvolvida pela planta para excluir ou superar os efeitos deletérios dos microrganismos patogênicos (JAIN et al., 2016). O nível de resistência pode ser aumentado por meio de agentes bióticos como a bactéria *Bacillus subtilis* e abióticos, como acibenzolar-S-metil, agindo nas vias de ácido jasmônico e salicílico sem que ocorra alteração no genoma da planta (PASCHOLATI; DALIO, 2018).

Estes indutores possuem a capacidade de ativar as vias de transdução de sinal, estimulando a produção de espécies reativas de oxigênio, biossíntese de fitoalexinas, reforço da parede celular e síntese de enzimas de defesa das plantas (OLIVEIRA et al., 2016). Dentre as enzimas ativadas por essas substâncias estão a β -1,3 glucanase, quitinase e fenilalanina amônia-liase (ALI et al., 2014; BERGER et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2016; CHANDRASEKARAN et al., 2017).

O surgimento de novos produtos comerciais com maior eficiência, estabilidade e menor impacto no meio ambiente vem contribuindo para avanços nas pesquisas envolvendo indução de resistência (OLIVEIRA et al., 2016; KOHL et al., 2019). Portanto, o uso de microrganismos benéficos, como a bactéria *Bacillus subtilis* e substâncias sintéticas, como acibenzolar-S-metil de forma associada pode apresentar um sinergismo, favorecendo o manejo de doenças radiculares no melão. Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de elicitores bióticos e abióticos no manejo da podridão radicular em meloeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e Caracterização da Área Experimental

Dois experimentos foram realizados neste estudo. O primeiro foi realizado em 16 canteiros de alvenaria a céu aberto, localizados na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), município de Mossoró-RN, durante o período de dezembro de 2020 a fevereiro de 2021. Os tratamentos que proporcionaram os melhores resultados para a severidade da doença foram selecionados. Outro experimento foi conduzido e

repetido sob as condições de campo, em uma fazenda produtora de melão (5°0'26.54" S, 37°23'53.16" O), entre os meses de maio e julho de 2021.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima local é do tipo BSh (ALVARES et al., 2013), caracterizado como seco e muito quente, com duas estações climáticas: uma chuvosa que compreende os meses de fevereiro a maio, e outra seca, que vai de junho a janeiro. A temperatura média anual é de 27,4 °C, precipitação pluviométrica muito irregular, com média de 673,9 mm e umidade relativa do ar de 68,9% (ALVARES et al., 2013).

Antes da implantação dos experimentos foram coletadas 20 amostras simples dos solos na profundidade de 0-20 cm, para obtenção de uma amostra composta (Tabela 1). Os componentes químicos (potencial hidrogeniônico, macro e micronutrientes) do solo foram analisados com base na metodologia proposta pela Embrapa (2017).

Tabela 1. Caracterização química dos solos das áreas experimentais com meloeiro com indutores de resistência - Mossoró, RN. UFERSA, 2023.

Condições	pH	MO	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺	H+Al	P ¹	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	H ₂ O	g/Kg	-----cmol _c /dm ⁻³ -----						-----mg/dm ⁻³ -----					
Canteiros	7,4	9,3	2,4	0,6	0,4	0,3	0,0	0,0	90,9	1,1	17,7	69,6	2,3	1,1
Campo	7,0	15,9	2,6	0,9	0,13	0,3	0,0	0,0	122,6	1,5	11,6	53,6	2,8	1,1

¹Extrator Melich; pH: potencial hidrogeniônico; MO: matéria orgânica; H+Al: acidez potencial.

2.2 Experimentos e Delineamento Experimental

2.2.1 Experimento em Canteiros

Preparo do Inóculo

Dois patógenos causadores de podridão radicular foram inoculados no solo para o experimento em canteiros. Foram utilizados os isolados de *Macrophomina phaseolina* (CMM 1531; GenBank MN 136199) e *Fusarium falciforme* (CML 3946; GenBank MH 709261) provenientes da Micoteca do Laboratório de Microbiologia e Fitopatologia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, obtidos originalmente de raízes de meloeiro com sintomas de podridão radicular. Estes isolados foram cultivados em meio de cultura BDA (batata-dextrose-água) + tetraciclina (0,05 g.L⁻¹) e incubados em estufa

tipo BOD (Demanda Bioquímica de Oxigênio) a 28 ± 2 °C, no escuro por sete dias. Em seguida, discos de 8 mm de diâmetro foram retirados das bordas das colônias, e transferidos para sacos de polietileno contendo 1 Kg substrato areno-orgânico (LEFÈVRE; SOUZA, 1993), que consistiu em três partes de esterco curtido, uma parte de areia lavada, 2% de aveia, e 20 mL de água destilada para cada 100 mL de substrato, previamente autoclavado a 120 °C durante uma hora, por duas vezes, com intervalo de 24 horas. Os frascos foram mantidos em estufa tipo BOD a 28 ± 2 °C no escuro, por aproximadamente 15 dias, com homogeneizações diárias. Antes da infestação do solo, foi realizado o plaqueamento dos inóculos em meio de cultura BDA para avaliar a sua viabilidade e pureza.

Condução do Experimento

Foram utilizados canteiros com 4,50 m de comprimento e 1,0 m de largura, construídos em alvenaria, preenchidos com solo coletado na região de Mossoró, em área com histórico de doenças radiculares e declínio dos ramos do meloeiro. O solo dos canteiros foi infestado na camada de até 15 cm de profundidade com 18 g L^{-1} de solo do inóculo de cada espécie de fungo, o qual foi misturado com o auxílio de uma enxada antes de adicionar o *mulch* de polietileno preto e branco (1,20 m de largura e 20 μ de espessura) e manta de TNT com gramatura de $10,0 \text{ g/m}^2$.

No total, 192 mudas do híbrido ‘Goldmine’, com dez dias de semeadura foram transplantadas com sete dias após a infestação do solo, com o espaçamento de 30 cm entre plantas e irrigadas por meio de uma linha de fertirrigação utilizando o sistema por gotejamento. As fontes de minerais utilizadas foram ureia, MAP, CaNO_3 , KNO_3 , MgSO_4 e ácido bórico, a partir do transplante, e as quantidades variaram de acordo com o desenvolvimento das plantas. Um canteiro representava duas parcelas experimentais. O manejo da adubação foi com base na análise de solo e exigência da cultura, conforme recomendação de Cavalcante (2008). As capinas foram realizadas de forma manual, quando necessárias.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com oito tratamentos, quatro repetições e seis plantas por repetição. Os tratamentos foram: ácido salicílico (AS); ácido salicílico + Compost Aid[®] (AS+CA); Bion[®] (BION); Bion[®] + Compost Aid[®] (BION+CA); Agro Mos[®] (AGRO); Agro Mos[®] + Compost Aid[®] (AGRO+CA); Compost Aid[®] (CA) e controle.

Preparo e Aplicação dos Tratamentos

No experimento preliminar, foram utilizados três elicitores abióticos (ácido salicílico (AS), Agro Mos[®] e Bion[®]), aplicados isoladamente, e combinados a um elicitor biótico, o Compost Aid[®], produto à base de *Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecium* e *Lactobacillus plantarum*. A concentração de AS foi de 2 mM (0,3 g/L de água), determinada com base em um teste preliminar e foi preparada utilizando água destilada e 0,05% de Tween 80, para melhor efeito de absorção. O Bion[®] e o Agro Mos[®] foram aplicados nas concentrações de 1,0 g/20L e 1,5 mL/L de água, respectivamente, como recomendado pelo fabricante.

A primeira aplicação foi realizada sete dias após o transplântio das mudas; posteriormente, foram realizadas mais três aplicações com um intervalo de sete dias. As duas primeiras aplicações foram feitas via solo, devido ao uso da manta de TNT, que dificulta a aplicação foliar no início do ciclo. Para as duas aplicações, via foliar foi utilizado um borrifador manual, e as folhas foram pulverizadas até ficarem completamente molhadas, sendo esse processo realizado a partir das 16h00.

O Compost Aid[®] foi aplicado três vezes durante o experimento, sendo a primeira aplicação aos sete dias após o transplântio (3 Kg/ha), e as demais aplicações em intervalos de sete dias, numa dose de 2 kg/ha (recomendação do fabricante). Todas as aplicações foram feitas via solo, com auxílio de uma proveta, sendo colocados 50 mL da calda por planta.

Variáveis Analisadas

Aos 65 dias após o transplântio (DAT), as raízes das seis plantas de cada parcela foram coletadas e levadas ao Laboratório de Fitopatologia e Microbiologia da UFRSA para as análises epidemiológicas. A incidência da doença (INC) foi determinada por meio da porcentagem de plantas sintomáticas dentro de cada tratamento, e a severidade da doença (SEV) foi estimada com o auxílio da escala de notas descrita por Ambrósio et al. (2015), onde 0 = tecido assintomático, 1 = menos de 3% dos tecidos infectados, 2 = 3-10% dos tecidos infectados, 3 = 11-25% dos tecidos infectados, 4 = 26-50% dos tecidos infectados, 5 = mais de 50% dos tecidos infectados.

Análise Estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) e de homogeneidade das variâncias de Bartlett ($p < 0,05$). O efeito dos tratamentos foi observado a partir da significância do teste F, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). O *software* utilizado foi o R[®] (R CORE TEAM, 2023).

2.2.2 Experimentos em Campo

Condução do Experimento

Nas condições de campo, outro experimento foi conduzido e repetido em uma área com histórico da doença localizada em uma fazenda produtora de melão no município de Mossoró – RN. O híbrido utilizado foi o ‘Goldmine’. O transplântio das mudas e as demais práticas de manejo ocorreram conforme realizado na fazenda. A irrigação ocorreu por meio de uma linha de fertirrigação utilizando o sistema por gotejamento.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e quatro repetições. Cada parcela foi composta por uma fileira com oito plantas, no espaçamento de 40 cm. Os tratamentos foram: padrão, Bion[®], Compost Aid[®], Bion[®] + Compost Aid[®] (combinados) e controle (sem aplicação de produtos). A escolha dos tratamentos ocorreu com base no experimento realizado em canteiros, onde o Bion[®] + Compost Aid[®] e o Compost Aid[®] isoladamente proporcionaram os menores valores de severidade da doença. O tratamento padrão refere-se às práticas adotadas pela fazenda, além da fertirrigação visando a manter os aspectos nutricionais adequados, tomando como base a análise do solo. Destaca-se o uso consolidado do fungo *Trichoderma* spp. ao longo dos anos de cultivo, objetivando o controle de patógenos radiculares.

As aplicações dos elicitores Bion[®] e Compost Aid[®] nos experimentos em campo foram realizadas conforme descrito para o experimento em canteiros.

Variáveis Analisadas

A INC e SEV da doença foram avaliadas aos 65 DAT, conforme descrito para o experimento em canteiros. Para a identificação dos patógenos, fragmentos de raízes da área limítrofe (entre tecido sadio e doente) foram retirados de todas as plantas que apresentaram sintomas e passaram por um processo de desinfestação superficial, passando 30 segundos em álcool a 70%, em seguida, um minuto em solução de hipoclorito a 2,5% e lavado em água destilada (BUENO et al., 2004). Foram colocados quatro fragmentos de raiz de cada planta em placas de Petri contendo meio de cultura BDA + antibiótico (tetraciclina 0,05g L⁻¹). As placas foram incubadas em estufa BOD a 28 ± 2°C, por sete dias. Os patógenos foram identificados em nível de gênero de acordo com as características morfológicas, utilizando chaves de identificação (BARNETT; HUNTER 1998; LESLIE; SUMMEREL, 2008).

Para as análises enzimáticas, amostras de folhas de meloeiro (terço médio) foram coletadas 12 horas após a última aplicação dos tratamentos. Estas amostras foram acondicionadas em caixa térmica, contendo gelo, e transportadas para o Laboratório de Biotecnologia Vegetal da UFERSA para pesagem e processamento, visando ao armazenamento em freezer (-80 °C) para posterior análise.

As amostras de folhas (0,5 g) foram colocadas em almofariz e acrescentados 25 mg de polivinilpirrolidone (PVP) e nitrogênio líquido. Em seguida, foram maceradas com pistilo, acrescentado-se imediatamente 2,5 mL de tampão acetato de sódio 100 mM (pH 5,0) e 0,5 mL de EDTA (1 mM). Em seguida, o homogenato foi centrifugado por 10 minutos, 4 °C a 10.000 g, e o sobrenadante obtido foi considerado como extrato enzimático (BEZERRA NETO; BARRETO, 2011). As enzimas analisadas foram a quitinase (QUI), β-1,3 glucanase (GLU) e a fenilalanina amônia-liase (FAL).

A atividade da QUI foi avaliada pela liberação de fragmentos solúveis de “CM-chitin-RBV”, a partir de quitina carboximetilada marcada com remazol brilhante violeta (CM-Quitin-RBV 4 mg mL⁻¹, Loewe Biochemica GmbH). Para tanto, 100μL do extrato proteico foram misturados com 300 μL do mesmo tampão de extração e 100 μL de “CM-chitin-RBV” (2,0 mg mL⁻¹). Após incubação por 20 minutos a 40 °C, a reação foi paralisada com a adição de 100 μL de solução de HCl 1 M, seguida de resfriamento em gelo e centrifugação a 10.000 g / 5 min. A absorbância do sobrenadante foi determinada a 550 nm, tendo-se o tampão de extração na cubeta como referência. Os resultados foram expressos em unidade enzimática mg⁻¹ de proteína, descontando-se os valores de absorbância do controle (400 μL de tampão de extração + 100 μL de “CM-chitin-RBV”) (STANGARLIN et al., 2000).

Para a determinação espectrofotométrica da atividade de GLU, foram transferidos 12,5 μL do extrato enzimático para cada tubo de ensaio. Em seguida, foram acrescentados 100 μL da solução tampão acetato (0,1 M, pH 5,0) e 100 μL de laminarina (15 mg. mL^{-1}). A mistura foi incubada por 30 minutos a 37 °C, após o que foi determinado o teor de glicose produzido com a hidrólise da laminarina (BEZERRA NETO; BARRETO, 2011). Após o período de incubação, os açúcares redutores formados foram quantificados. A leitura das absorbâncias foi realizada a 410 nm em espectrofotômetro. A concentração de proteínas foi analisada pelo método de Bradford (BRADFORD, 1976). Os resultados foram expressos em unidades enzimáticas $\text{min}^{-1} \text{mL}^{-1}$.

A atividade da FAL foi determinada pela quantificação colorimétrica do ácido trans-cinâmico liberado do substrato fenilalanina (UMESHA, 2006). A reação foi composta de 100 μL do extrato proteico misturado com 400 μL do tampão Tris HCl 25 mM (pH 8,8) e com 500 μL de L-fenilalanina (50 mM em tampão Tris HCl 25 mM, pH 8,8), a qual foi incubada por 2 h a 40 °C. A absorbância das amostras foi determinada a 290 nm, contra tampão de extração, sendo subtraído de cada amostra o valor do controle (controle = 100 μL do extrato proteico + 900 μL de tampão Tris HCl 25 mM, pH 8,8). A atividade enzimática foi expressa em μg de ácido trans-cinâmico /min /mg de proteína, utilizando uma curva padrão para o ácido. As análises foram realizadas em duplicata.

Aos 65 DAT, a produtividade foi estimada em t/ha por meio da pesagem de todos os frutos da área útil da parcela de cada tratamento. O peso médio dos frutos foi determinado com o auxílio de uma balança digital, com os resultados expressos em gramas (g). Para os sólidos solúveis, as leituras foram realizadas no suco da polpa, utilizando um refratômetro digital (modelo RTD-95, precisão de 1%), e os valores expressos em °Brix. A firmeza dos frutos foi avaliada com um penetrômetro de frutos com ponta de 5 mm (modelo GY-2). Os frutos foram fatiados ao meio e as medidas de firmeza foram tomadas em pontos distintos da região central dos frutos. Os dados medidos foram convertidos de libra-força para Newton (N), usando o fator de conversão de 4,45 (GOMES JUNIOR et al. 2001).

Análise Estatística

Uma análise de variância (ANOVA) preliminar foi realizada para determinar se havia diferenças significativas entre os dois experimentos, e se os dados poderiam ser combinados. Ao constatar que não houve diferença entre os experimentos, outra ANOVA foi realizada e os dados foram analisados em conjunto, com as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O *software* utilizado foi o R[®] (R CORE TEAM, 2023). O gráfico de correlação linear de Pearson foi criado no RStudio usando o pacote ‘Corplot’ (WEI; SIMKO, 2017).

3 RESULTADOS

3.1 Experimento em canteiros

A menor INC da doença foi observada com a aplicação do Agro Mos[®], diferindo apenas do controle e Ácido salicílico + Compost Aid[®] (Figura 1A). O Compost Aid[®], isoladamente, também diferiu apenas do controle e do ácido salicílico + Compost Aid[®] (Figura 1A). A aplicação combinada do Bion[®] + Compost Aid[®] e o Compost Aid[®] isoladamente proporcionaram as menores SEV da doença comparada com o controle, com reduções de 44,1 e 42,8%, respectivamente, não diferindo entre si (Figura 1B). Estes tratamentos foram os selecionados para os experimentos em campo.

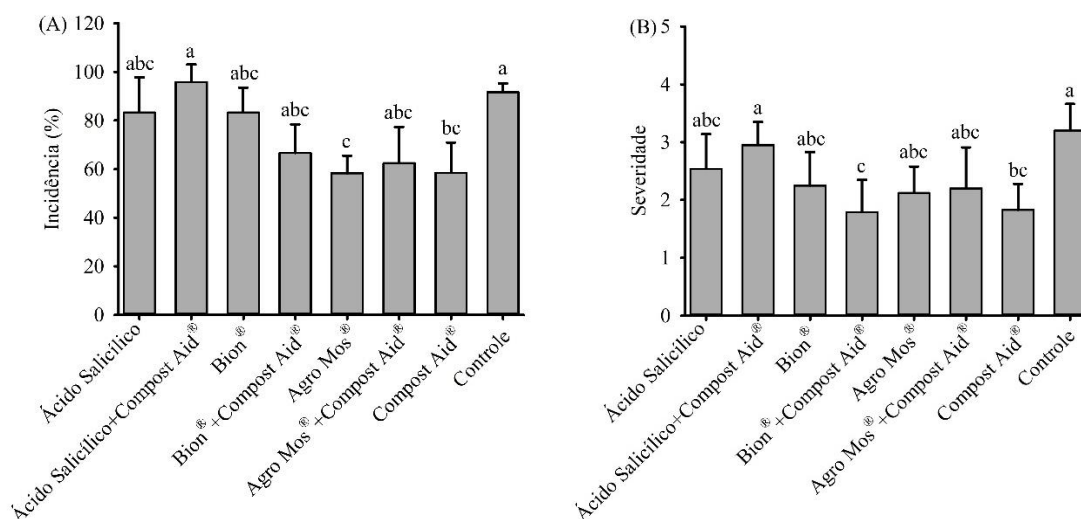


Figura 1. Incidência e Severidade da podridão no sistema radicular do melão sob influência de elicitores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.2 Experimentos em Campo

Nos experimentos em campo, a INC da doença foi menor com a aplicação do Bion[®] + Compost Aid[®] e o Compost Aid[®] isoladamente, diferindo apenas do controle, proporcionando reduções da doença de 23,1 e 22,4%, respectivamente (Figura 2A). A utilização do Bion[®] associado ao Compost Aid[®] e do Compost Aid[®] isoladamente proporcionou a menor SEV da doença, diferindo dos demais tratamentos (Figura 2B). Comparado com os tratamentos controle e padrão, a aplicação do Bion[®] combinado ao Compost Aid[®] reduziu a SEV da doença em 37,6 e 24,2%, respectivamente (Figura 2B). A aplicação do Compost Aid[®] isoladamente diferiu do controle, mas foi igual ao tratamento padrão da fazenda (Figura 2B). Para a ocorrência, não houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados, nem entre os fungos dentro de cada tratamento (Figura 2C).

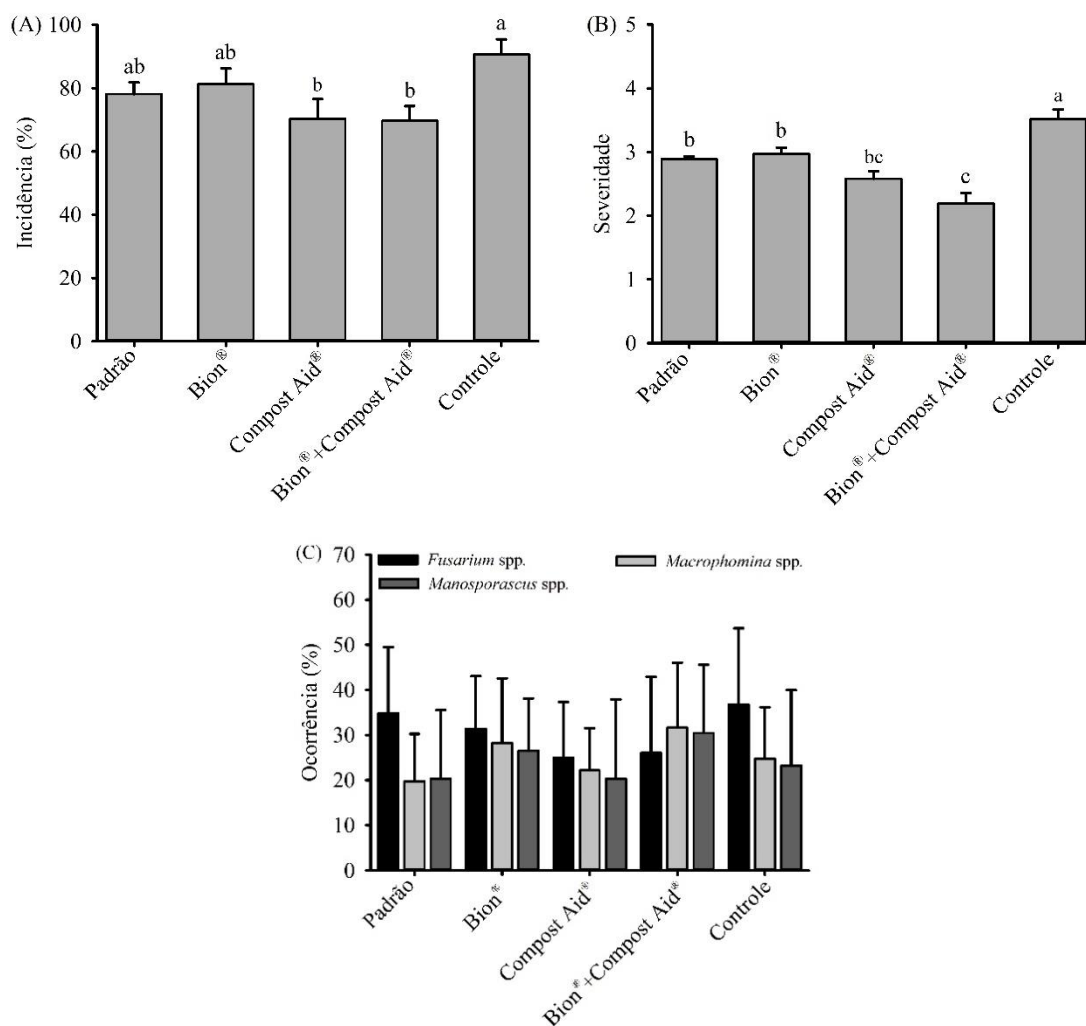


Figura 2. Incidência (A), severidade (B) da podridão no sistema radicular e ocorrência de patógenos (C) em meloeiro sob influência de elicitores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os valores médios dos tratamentos não diferem entre si e letras maiúsculas iguais significam que os valores médios dos fungos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os elicitores aplicados isoladamente e associados proporcionaram aumento na atividade das enzimas β -1,3-glucanase (GLU), quitinase (QUI) e fenilalanina amônia-liase (FAL) (Figura 3). A atividade da GLU foi maior com a aplicação do Bion[®] combinado ao Compost Aid[®] ($0,0677 \text{ U.E}^{-1} \text{ min}^{-1} \text{ mL}$), não diferindo do Compost Aid[®] aplicado isoladamente ($0,0619 \text{ U.E}^{-1} \text{ min}^{-1} \text{ mL}$), porém diferiu dos demais tratamentos (Figura 3A). A aplicação do Bion[®] combinado ao Compost Aid[®] favoreceu a maior atividade da QUI ($24,98 \text{ U.E}^{-1} \text{ mg de proteína}$), diferindo do tratamento controle e padrão (Figura 3B). O Bion[®] e o Compost Aid[®] aplicados isoladamente ou combinados favorecem o aumento da FAL, não diferindo entre si, no entanto diferem do controle e do tratamento padrão (Figura 3C).

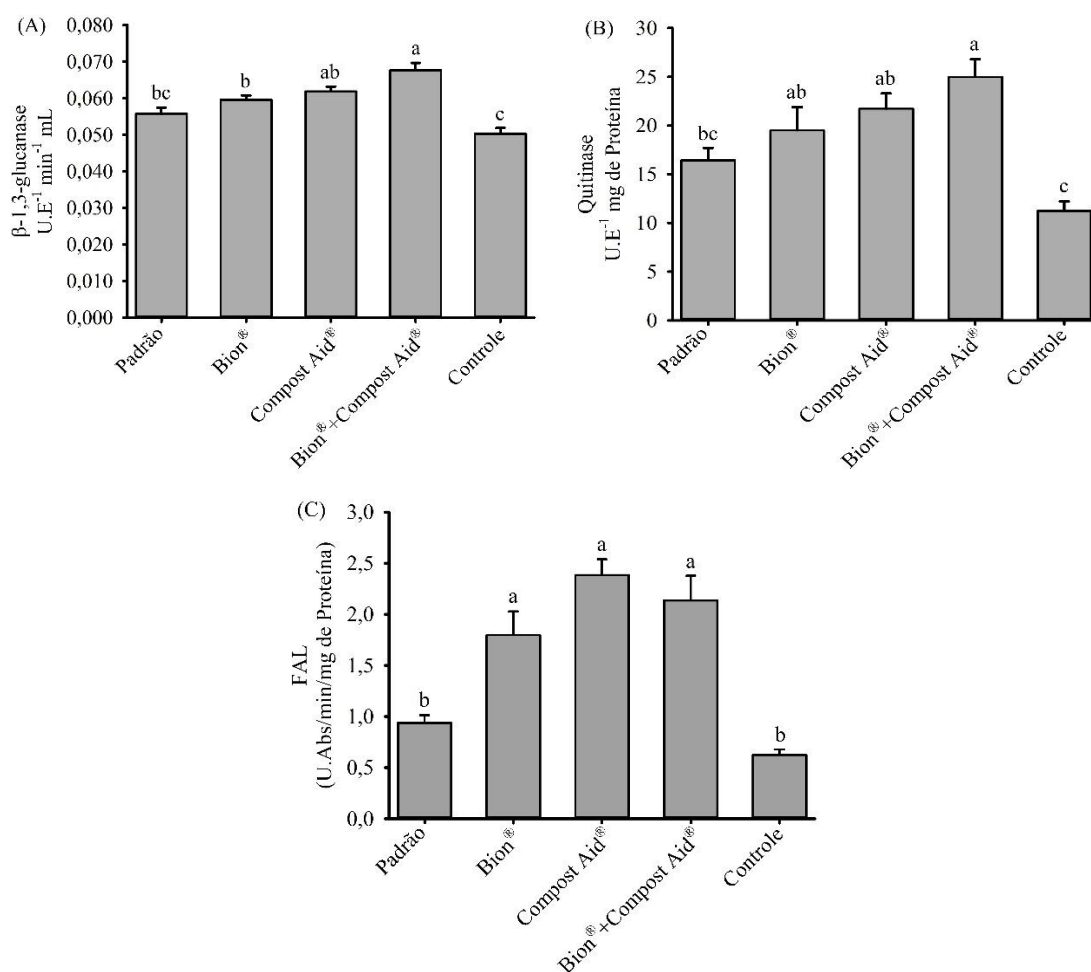


Figura 3. Atividade das enzimas β -1,3-glucanase (A), quitinase (B) e fenilalanina amônia-liase – FAL (C) em meloeiro sob a influência de elicitores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A produtividade do meloeiro foi maior com a aplicação do Compost Aid[®] isoladamente (26.055 Kg/ha) e Bion[®] + Compost Aid[®] (Figura 4A). Comparado com o tratamento controle e o padrão da fazenda, o Compost Aid[®] promoveu aumento da produtividade em 25,7 e 23,6%, respectivamente (Figura 4A). A aplicação do Bion[®] combinado ao Compost Aid[®] favoreceu o peso médio dos frutos (1,5 Kg), diferindo do controle e padrão (Figura 4B).

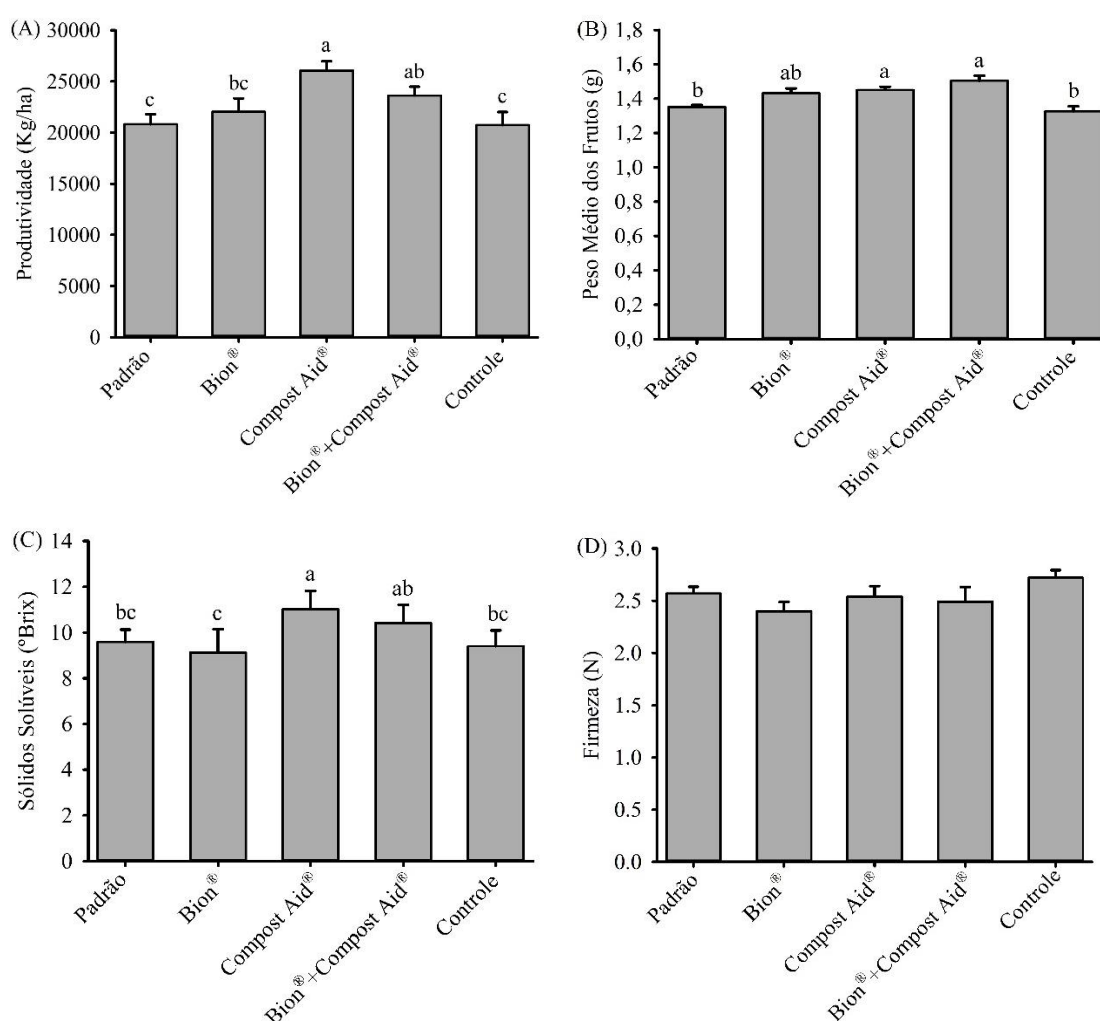


Figura 4. Produtividade (A), peso médio dos frutos (B), sólidos solúveis (C) e firmeza da polpa (D) de frutos de meloeiro sob influência de elicitores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A quantidade de sólidos solúveis foi maior nos frutos em que as plantas foram submetidas à aplicação do Compost Aid® isoladamente (11,0 °Brix), diferindo dos demais tratamentos, exceto do Bion® + Compost Aid® (10,4 °Brix) (Figura 4C). Comparado com o controle e o padrão, este produto proporcionou aumento na quantidade de sólidos solúveis em 17,2 e 14,9%, respectivamente (Figura 4C). Para a firmeza da polpa, não houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados (Figura 4D).

Houve correlação positiva entre as enzimas de defesa QUI e FAL (0,67), GLU e FAL (0,54) e GLU e QUI (0,53) (Figura 5). As enzimas GLU (0,57), FAL (0,51) e QUI (0,48) correlacionaram-se positivamente com o peso médio dos frutos (Figura 5). Para os SS, a correlação foi positiva com a FAL (0,50) e GLU (0,48) (Figura 5). A SEV correlacionou-se negativamente com as enzimas QUI (-0,66), FAL (-0,66), peso médio dos frutos (-0,63) e GLU (-0,62) (Figura 5).

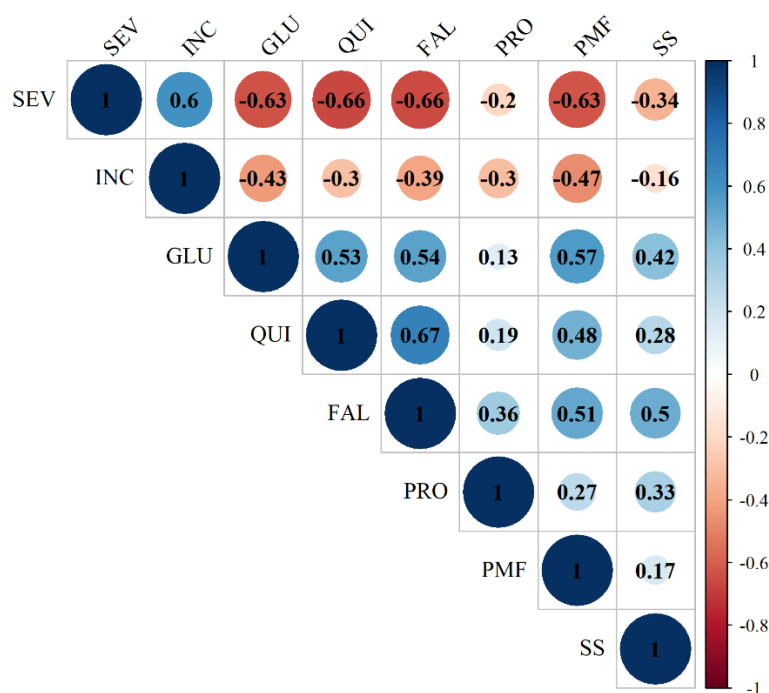


Figura 5. Correlação de Pearson para severidade (SEV) e incidência da podridão no sistema radicular (INC), atividade das enzimas β -1,3-glucanase (GLU), quitinase (QUI) e fenilalanina amônia-liase (FAL), produtividade (PRO), peso médio dos frutos (PMF) e sólidos solúveis (SS).

4 DISCUSSÃO

Os resultados desta pesquisa indicam que o produto à base de rizobactérias (Compost Aid[®]) aplicado isoladamente, ou combinado com o Bion[®], o qual tem como princípio ativo o acibenzolar-S-metil, foi capaz de induzir a resistência em meloeiro contra a podridão no sistema radicular. Isto ocorre devido aos elicitores testados ativarem as vias de transdução de sinal, as quais provocam a produção de espécies reativas de oxigênio, biossíntese de fitoalexinas, reforço da parede celular, síntese de enzimas e proteínas relacionadas à defesa, algumas com propriedades microbianas (OLIVEIRA et al., 2016).

Essa resposta das plantas ficou mais evidente com o aumento da síntese das enzimas de defesa β -1,3-glucanase, quitinase e fenilalanina amônia-liase. A β -1,3-glucanase é uma enzima de proteção que auxilia na redução das doenças em plantas, impedindo tanto a invasão quanto a liberação de substâncias tóxicas pelos fungos no tecido vegetal (BERGER et al., 2016). O aumento da atividade dessa enzima também está associado à hidrólise de β -1,4-glucana, um dos principais componentes da parede celular fúngica (ALI et al., 2014).

Neste mesmo sentido, o aumento da atividade da quitinase está relacionado ao fato desta enzima desempenhar importante papel na hidrólise biológica da quitina, outro importante componente da parede celular dos fungos (NGUYEN et al., 2015; MOHAMMED, 2020). Além disso, essas enzimas são produzidas por vários microrganismos, incluindo bactérias, como as do gênero *Bacillus*, o que pode explicar os resultados obtidos neste estudo (CHEBA et al., 2016).

Por sua vez, a fenilalanina amônia-liase desempenha papel importante na indução de resistência, atuando na conversão de L-fenilalanina em ácido transcinâmico, o qual está relacionado à síntese do ácido salicílico (AS), uma rota de sinalização essencial na resistência sistêmica induzida (CHANDRASEKARAN et al., 2017). Esta enzima também auxilia na síntese de compostos fenólicos e fitoalexinas (DUBA et al., 2019), além de desempenhar função de grande importância no metabolismo primário, atuando no desenvolvimento e lignificação dos tecidos das plantas (TRINDADE et al., 2019). Esse aumento na síntese de lignina dificulta o desenvolvimento dos fungos nos tecidos das plantas, o que pode ser associado às menores médias de severidade da doença nos tratamentos com maiores atividades desta enzima.

A correlação de Person evidenciou que o aumento na síntese das enzimas QUI, GLU e FAL condiciona maior resistência do meloeiro à podridão radicular, reduzindo a severidade da doença, ao mesmo tempo em que favorece o PMF e SS. O acibenzolar-S-metil, princípio ativo do elicitor abiótico Bion[®], é um análogo do ácido salicílico, o qual é um composto fenólico com ação eliciadora, induzindo a ação de genes que codificam proteínas relacionadas à patogênese (MELO et al., 2020).

Entre as rizobactérias presentes no Compost Aid[®], além de ativarem as vias de defesa das plantas, algumas espécies, como a *B. subtilis*, possuem mecanismos antagônicos a fungos fitopatogênicos, podendo gerar danos letais às suas estruturas reprodutivas (TORRES et al., 2016). Essas características corroboram com os resultados positivos desses elicitores no manejo da podridão radicular em meloeiro.

Os efeitos benéficos dos tratamentos contendo o Compost Aid[®] nas características de produtividade, peso médio dos frutos e sólidos solúveis, podem ser explicados pelo fato de que em sua composição há bactérias promotoras de crescimento, como *B. subtilis*, *E. faecium* e *L. plantarum*, potencializando o desenvolvimento das plantas de forma direta e indireta (BRAGA JUNIOR et al. 2018).

A ação indireta ocorre por meio da redução das doenças, e indiretamente favorece o balanço hormonal, fixação de nitrogênio, solubilização de fosfatos, aumento da permeabilidade das raízes e produção de sideróforos (GAGNÉ-BOURQUE et al., 2015). Os efeitos dessas bactérias são maximizados quando outras técnicas de manejo, como a adubação, são realizadas de forma correta, proporcionando aumentos na produção de metabólitos, desencadeando a sensibilidade do sistema radicular e facilitando a absorção de nutrientes (BRAGA JUNIOR et al., 2018).

5 CONCLUSÕES

A combinação Bion[®] + Compost Aid[®] é mais eficiente do que esses elicitores aplicados isoladamente, reduzindo a severidade da doença. Os elicitores Bion[®] + Compost Aid[®] aplicados combinados e o Compost Aid[®] aplicado isoladamente ativam a defesa do meloeiro por meio dos acréscimos das enzimas β -1,3-glucanase, quitinase e fenilalanina amônia-liase, influenciando positivamente na produtividade e nos sólidos solúveis.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT - Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. 2022. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 23 de jan. 2022.
- ALI, A.; ZAHID, N.; MANICKAM, S.; SIDDIQUI, Y.; ALDERSON, P. G.; MAQBOOL, M. Induction of lignin and pathogenesis related proteins in dragon fruit plants in response to submicron chitosan dispersions. **Crop Protection**, Lincoln, v. 63, p. 83-88, 2014.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMBRÓSIO, M. M. Q.; DANTAS, A. C. A.; MARTINEZ-PEREZ, E.; MEDEIROS, A. C.; NUNES, G. H. S.; PICÓ, M. B. Screening a variable germplasm collection of *Cucumis melo* L. for seedling resistance to *Macrophomina phaseolina*. **Euphytica**, Wageningen, v. 206, n. 2, p. 287-300, 2015.
- ANDRADE, B. S.; MATIAS, R.; CORRÊA, B. O.; OLIVEIRA, A. K. M.; GUIDOLIN, D. G. F.; ROEL, A. R. Phytochemistry, antioxidant potential and antifungal of *Byrsonima crassifolia* on soil phytopathogen control. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 78, n. 1, p. 140-146, 2014.
- BARNETT, H.; HUNTER, B. B. **Illustrated genera of imperfect fungi**. Minnesota: The American Phytopathological Society, 1998.
- BERGER, L. R. R.; STAMFORD, N. P.; WILLADINO, L. G.; LARANJEIRA, D.; LIMA, M. A. B.; MALHEIROS, S. M. M.; OLIVEIRA, W. J.; STAMFORD, T. C. M. Cowpea resistance induced against *Fusarium oxysporum* f. sp. *tracheiphilum* by crustaceous chitosan and by biomass and chitosan obtained from *Cunninghamella elegans*. **Biological Control**, Texas, v. 92, p. 45-54, 2016.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. CEP, v. 52171, p. 900, 2011.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 72, p. 248-254, 1976.
- BRAGA JUNIOR, G. M.; CHAGAS, L. F. B.; AMARAL, L. R. O.; MILLER, L. O.; CHAGAS JUNIOR, A. F. Efficiency of inoculation by *Bacillus subtilis* on soybean biomass and productivity. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 13, n. 4, e5571, 2018.
- BUENO, C. J.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; SOUZA, N. L.; CERZINI, P. C. Controle de *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* raça 2, *Macrophomina phaseolina* e *Sclerotium rolfsii* em microcosmo simulando solarização com prévia incorporação de couve (*Brassicae oleracea varoacephala* L.). **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 30, n. 3, p. 356-363, 2004.
- CAVALCANTE, F. J. A. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**: 2ª. aproximação. 3.ed.rev. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, 2008.

- CHANDRASEKARAN, M.; BELACHEW, S. T.; YOON, E.; CHUN, S. C. Expression of β -1,3-glucanase (GLU) and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) genes and their enzymes in tomato plants induced after treatment with *Bacillus subtilis* CBR05 against *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria*. **Journal of General Plant Pathology**, Okayama, v. 83, p. 7-13, 2017.
- CHEBA, B. A.; ZAGHLOUL, T. I.; EL-MAHDY, A. R.; EL-MASSRY, M. H. Effect of pH and temperature on *Bacillus* sp. R2 chitinase activity and stability. **Procedia Technology**, v. 22, p. 471-477, 2016.
- DUBA, A.; GORIEWA-DUBA, K.; WACHOWSKA, U.; GLOWACKA, K.; WIWART, M. The associations between leaf morphology, phenylalanine ammonia lyase activity, reactive oxygen species, and Fusarium resistance on selected species of wheat with different ploidy levels. **Plants**, Winnipeg, v. 8, n. 10, p. 1-19, 2019.
- EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. 2023. The agricultural production domain covers. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 11 fev. 2023.
- GAGNÉ-BOURQUE, F.; MAYER, B. F.; CHARRON, J.; VALI, H.; BERTRAND, A.; JABAJI, S. Accelerated growth rate and increased drought stress resilience of the model grass *Brachypodium distachyon* colonized by *Bacillus subtilis* B26. **Plos One**, San Francisco, v. 10, n. 6, p. 1-23, 2015.
- GOMES JÚNIOR, J.; MENEZES, J. B.; NUNES, G. H. S.; COSTA, F. B.; SOUZA, P. A. Qualidade pós-colheita de melão tipo cantaloupe, colhido em dois estádios de maturação. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 19, n. 3, p.356–360, 2001.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 11 fev. 2023.
- JAIN, S.; VARMA, A.; TUTEJA, N.; CHOUDHARY, D. K. Plant growth promoting microbial mediated induced systemic resistance in plants: induction, mechanism and expression. In: CHOUDHARY, D. K.; VARMA, A. **Microbial-Mediated Induction Systemic Resistance in Plants**. 1 ed. Springer Singapore, 2016. p. 213-226.
- KOHL, J.; KOLNAAR, R.; RAVENSBERG, W. J. Mode of action of microbial biological control agents Against plant diseases: Relevance beyond efficacy. **Frontiers in Plant Science**, San Diego, v. 10, p. 1-19, 2019.
- LEFÈVRE, A. F.; SOUZA, N. L. Determinação da temperatura letal para *Rhizoctonia solani* e *Sclerotium rolfsii* e efeito da solarização sobre a temperatura do solo. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 107-112, 1993.
- LESLIE, J. F.; SUMMERELL, B. A. **The Fusarium laboratory manual**. 1 ed. USA: Blackwell Publishing, 2008.
- MELO, P. C.; COLLELA, C. F.; SOUSA, T.; PACHECO, D.; COTAS, J.; GONÇALVES, A. M. M.; BAHCEVANDZIEV, K.; PEREIRA, L. Seaweed-Based products and mushroom β -Glucan as tomato plant immunological inducers. **Vaccines**, Rochester, v. 8, n. 3, p. 1-13, 2020.

- MOHAMMED, A. F.; Optimization of cellulase and chitinase enzymes production by plant growth promoting rhizobacteria. **Novel Research in Microbiology Journal**, Obour City, v. 4, n. 1, p. 641-652, 2020.
- NASCIMENTO, P. G. M. L.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; FREITAS, F. C. L.; CRUZ, B. L. S.; DANTAS, A. M. M.; SALES JÚNIOR, R.; SILVA, W. L. Incidence of root of muskmelon in different soil management practices. **European Journal of Plant Pathology**, Londres, v. 152, p. 433-446, 2018.
- NEGREIROS, A. M. P.; SALES JÚNIOR, R.; LEÓN, M.; MELO, N. J. A.; MICHEREFF, S. J.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; MEDEIROS, H. L. S.; ARMENGOL, J. Identification and pathogenicity of *Macrophomina* species collected from weeds in melon fields in Northeastern Brazil. **Journal of Phytopathology**, Göttingen, v. 167, n. 6, p. 326-337, 2019.
- NGUYEN, H. Q.; QUYEN, D. T.; NGUYEN, S. L. T.; VAN HANH, V. U. An extracellular antifungal chitinase from *Lecanicillium lecanii*: purification, properties, and application in biocontrol against plant pathogenic fungi. **Turkish Journal of Biology**, Dinizli, v. 39, n. 1, p. 6-14, 2015.
- OLIVEIRA, M. D. M.; VARANDA, C. M. R.; FÉLIX, M. R. F. Induced resistance during the interaction pathogen x plant and the use of resistance inducers. **Phytochemistry Letters**, Norwich, v. 15, p. 152-158, 2016.
- PASCHOLATI, S. F.; DALIO, R. J. D. Fisiologia do Parasitismo: como as plantas se defendem dos patógenos. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. Ouro fino: Agronômica Ceres, 2018. p. 423-452.
- PORTO, M. A. F.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; FREITAS, F. C. L.; NASCIMENTO, S. R. C.; CRUZ, B. L. S.; GUIMARÃES, L. M. S. Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) no controle da podridão radicular do meloeiro causada por associação de patógenos. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 42, n. 4, p. 327-332, 2016.
- R-Core-Team. **R: A language and environment for statistical computing**, R. Foundation for Statistical Computing, Viena, 2023.
- SALES JÚNIOR, R.; SENHOR, R. F.; MICHEREFF, S. J.; NEGREIROS, A. M. P. Reaction of melon genotypes to the root's rot caused by *Monosporascus*. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 32, n. 1, p. 288-294, 2019.
- STANGARLIN, J. R.; PASCHOLATI, S. F.; LABATE, C. A. Efeito de *Phaeoisariopsis griseola* na atividade de ribulose-1,5-bifosfato carboxilase-oxigenase, clorofilase, μ -1,3-glucanase e quitinase em cultivares de *Phaseolus vulgaris*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 25, p. 59-66, 2000.
- TORRES, M. J.; BRANDAN, C. P.; PETROSELLI, G.; ERRA-BALSELLS, R.; AUDISIO, M. C. Antagonistic effects of *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* and *B. amyloliquefaciens* against *Macrophomina phaseolina*: SEM study of fungal changes and UV-MALDI-TOF MS analysis of their bioactive compounds. **Microbiological Research**, Trento, v. 182, p. 31-39, 2016.
- TRINDADE, R.; ALMEIDA, L.; XAVIER, L.; LINS, A. L.; ANDRADE, E. H.; MAIA, J. G.; MELLO, A.; SETZER, W. N.; RAMOS, A.; SILVA, J. K. Arbuscular mycorrhizal fungi colonization promotes changes in the volatile compounds an

enzymatic activity of lipoxygenase and phenylalanine ammonia lyase in *Piper nigrum* L. 'Bragantina'. **Plants**, Winnipeg, v. 8, n. 11, p. 1-15, 2019.

UMESHA, S. Phenylalanine ammonia lyase activity in tomato seedlings and its relationship to bacterial canker disease resistance. **Phytoparasitica**, Bet Dagan, v. 34, n. 1, p. 68-71, 2006.

WEI, T.; SIMKO, V. R package "corrplot": Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.84), 2017.

CAPÍTULO 2 - ASPECTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DA INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM MELOEIRO CONTRA PODRIDÃO RADICULAR

RESUMO

A podridão no sistema radicular é uma das principais doenças do meloeiro, que causa perdas significativas na produtividade. Diante disso, aumentar a resistência de plantas, a partir da indução de resistência, pode ser uma estratégia viável para o manejo dessa doença. Assim, o objetivo desta pesquisa foi identificar os efeitos fisiológicos e bioquímicos de elicitores de resistência em meloeiro cultivado em campo com histórico de podridão radicular. Durante a pesquisa, foram conduzidos dois experimentos: o primeiro experimento foi realizado em canteiros de alvenaria e em condições de campo e repetido. No primeiro experimento, foram utilizados três elicitores abióticos (ácido salicílico, Agro Mos[®] e Bion[®]), aplicados isoladamente, e combinados a um elicitor biótico, o Compost Aid[®]. Os tratamentos que proporcionaram as menores severidades da doença foram selecionados e os experimentos em campo foram conduzidos em fazenda produtora de melão. Nos experimentos em campo, utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com cinco tratamentos, quatro repetições com oito plantas cada. Os tratamentos utilizados foram o padrão (Manejo adotado pela fazenda), Bion[®], Compost Aid[®], Bion[®] + Compost Aid[®] e controle absoluto. Foram avaliadas variáveis epidemiológicas, bioquímicas e fisiológicas. A combinação Bion[®] + Compost Aid[®] reduziu o índice de severidade da doença em 68,1 e 65,4 % comparado com ao controle absoluto e padrão, respectivamente. Os elicitores Bion[®] + Compost Aid[®] aplicados combinados ativam a defesa das plantas por meio dos acréscimos das enzimas peroxidase, catalase e polifenoloxidase, influenciando positivamente as trocas gasosas e o índice de clorofila.

Palavras-chave: *Cucumis melo* L., Fungos habitantes do solo, Resistência induzida.

CHAPTER 2 - PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL ASPECTS OF THE INDUCTION OF RESISTANCE IN MELON AGAINST ROOT ROT

ABSTRACT

Rot in the root system is one of the main melon diseases, causing significant losses in productivity. Therefore, increasing plant resistance by inducing resistance may be a viable strategy for managing this disease. Thus, the objective of this research was to identify the physiological and biochemical effects of resistance elicitors in melon cultivated in the field with a history of root rot. During the research, two experiments were carried out: The first experiment was carried out in masonry beds and in field conditions and repeated. In the first experiment, three abiotic elicitors (salicylic acid, Agro Mos[®] and Bion[®]) were used, applied separately and combined with a biotic elicitor, Compost Aid[®]. The treatments that provided the lowest disease severity were selected and the field experiments were conducted on a melon farm. In the field experiments, a randomized block design was used, with five treatments, four replications with eight plants each. The treatments used were standard (Management adopted by the farm), Bion[®], Compost Aid[®], Bion[®] + Compost Aid[®] and absolute control. Epidemiological, biochemical and physiological variables were evaluated. The combination Bion[®] + Compost Aid[®] reduced the disease severity index by 68.1 and 65.4% compared to absolute and standard control, respectively. Bion[®] + Compost Aid[®] elicitors, applied in combination, activate plant defense through the addition of peroxidase, catalase and polyphenoloxidase enzymes, influencing gas exchange and chlorophyll content positively.

Keywords: *Cucumis melo* L., Induced resistance, Soil inhabiting fungi.

1 INTRODUÇÃO

O meloeiro (*Cucumis melo* L.) possui grande importância econômica em todo o mundo, com destaque para a China, maior produtor mundial (FAO, 2023). No Brasil, a região Nordeste é a principal produtora de melão, concentrando 96,2% da produção nacional (IBGE, 2023). No entanto, a produtividade desta cultura pode ser reduzida por agentes patogênicos.

Os fungos são responsáveis por grandes perdas de produtividade, principalmente devido aos danos no sistema radicular, o qual leva ao apodrecimento e morte das plantas (NASCIMENTO et al., 2018). A podridão radicular, uma das principais doenças do meloeiro, apresenta diferentes agentes causais relatados, com destaque para *Fusarium solani* (Mart) Sacc., *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., *Monosporascus cannonballus* Pollack & Uecker e *Rhizoctonia solani* Kühn, que podem ocasionar o ataque ao sistema radicular das plantas de forma isolada ou associada (PORTO et al., 2016; NEGREIROS et al., 2019).

Esta doença vem ocorrendo em áreas de cultivo de cucurbitáceas em regiões áridas e semiáridas de todo o mundo, causando perdas econômicas importantes (NEGREIROS et al., 2019; CASTRO et al., 2020). O manejo desses fitopatógenos é difícil, já que possuem a capacidade de sobreviver no solo e em restos culturais por longos períodos, mesmo sob condições desfavoráveis, porque possuem estruturas de resistência (NASCIMENTO et al., 2018; MELO et al., 2021). Para tanto, o uso de cultivares resistentes é a melhor estratégia de controle de doenças, porém não existem no Brasil cultivares comerciais de melão resistentes à podridão radicular (LINHARES et al., 2020).

Atualmente, no Brasil não existe nenhum produto químico registrado para o controle de patógenos radiculares habitantes do solo (AGROFIT, 2022). Uma das possíveis alternativas de manejo das doenças causadas por patógenos habitantes do solo é a utilização de indutores de resistência (ALEANDRI et al. 2010; OLIVEIRA et al. 2016). Estes produtos, sejam de natureza biótica ou abiótica, ativam os mecanismos de defesa das plantas, estimulando a produção de espécies reativas de oxigênio (ERO's), formação de compostos fenólicos, promovendo a lignificação dos tecidos e favorecendo o acúmulo de proteínas relacionadas à patogênese (PR) (BERGER et al., 2016).

A produção de ERO's leva a uma resposta de hipersensibilidade (RH), por meio da qual ocorre a morte rápida de células no local da infecção, com o objetivo de

delimitar o crescimento do patógeno; depois disso, as partes não infectadas da planta desenvolvem resistência sistêmica ao patógeno (OLIVEIRA et al., 2016). É importante destacar que as ERO's em excesso causam danos oxidativos às células e contra isso as plantas possuem um sofisticado sistema antioxidante (BERBGER et al., 2016). Como parte deste sistema antioxidante, destacam-se as enzimas catalase (CAT), peroxidase (POX) e polifenoloxidase (PPO) (CHEN et al., 2010). Estas enzimas, além da função antioxidante, catalisam a formação de lignina, favorecendo a formação de barreiras de defesa e reforçando a parede celular (THILAGAVATHI et al., 2007).

Resultados positivos com a utilização de indutores de resistência no controle de doenças fúngicas já foram relatados para várias culturas de interesse econômico, como feijão (BERGER et al., 2016), tomate (FERRAZ et al., 2014), arroz (SHASMITA et al., 2019) e soja (LORENZETTI et al., 2018).

Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi conhecer os efeitos fisiológicos e bioquímicos de indutores de resistência em meloeiro cultivado em área com histórico de podridão radicular.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e Caracterização da Área Experimental

Durante a pesquisa, foram conduzidos três experimentos. O primeiro foi realizado em canteiros de alvenaria e dois em condições de campo. No experimento preliminar, foram utilizados três elicitores abióticos (ácido salicílico, Agro Mos[®] e Bion[®]), aplicados isoladamente, e combinados a um elicitador biótico, o Compost Aid[®]. Os tratamentos que proporcionaram as menores severidades da doença foram selecionados (dados não publicados), e os experimentos em campo foram conduzidos em uma fazenda produtora de melão no município de Mossoró - RN (5°0'26.54" Sul, 37°23'53.16" Oeste).

Antes da implantação dos experimentos, foram realizadas amostragens simples do solo da área experimental da fazenda, na profundidade de 0-20 cm, para obtenção de amostra composta. A análise dos componentes químicos do solo foi realizada com base na metodologia proposta pela Embrapa (2017). A análise apresentou os seguintes valores: pH= 7,0; MO= 15,9 g/Kg; Ca²⁺= 2,6; Mg²⁺= 0,9; Na⁺= 0,13; K⁺= 0,3; Al³⁺= 0,0

e H+Al= 0,0 cmol_c/dm⁻³; P= 122,6; Cu= 1,5; Fe= 11,6; Mn= 53,6; Zn= 2,8 e B= 1,1 mg/dm⁻³.

2.2 Experimento e Delineamento Experimental

Os experimentos foram conduzidos em uma área com histórico da doença localizada em uma fazenda produtora de melão no município de Mossoró – RN. O híbrido de meloeiro utilizado foi o ‘Goldmine’. O transplântio das mudas e as demais práticas de manejo ocorreram conforme realizado na fazenda. A irrigação ocorreu por meio de uma linha de fertirrigação utilizando o sistema por gotejamento.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos e quatro repetições. Cada parcela foi composta por uma fileira com oito plantas no espaçamento de 40 cm. Os tratamentos foram: padrão, Bion[®], Compost Aid[®], Bion[®] + Compost Aid[®] (combinados) e controle (sem aplicação de produtos). A escolha dos tratamentos ocorreu com base no primeiro experimento, realizado em canteiros, onde o Bion[®] + Compost Aid[®] e o Compost Aid[®] isoladamente proporcionaram os menores valores de severidade da doença. O tratamento padrão refere-se às práticas adotadas pela fazenda, além da fertirrigação visando a manter os aspectos nutricionais adequados, tomando como base a análise do solo e se destacando o uso consolidado do fungo *Trichoderma* sp. ao longo dos anos de cultivo, visando ao controle de patógenos radiculares.

2.3 Preparo e Aplicação dos Tratamentos

O Bion[®] (produto que tem como princípio ativo o acibenzolar-S-metil) foi aplicado na concentração de 1,0 g/20L de água, como recomendado pelo fabricante. A primeira aplicação foi realizada sete dias após o transplântio das mudas; posteriormente, foram realizadas mais três aplicações com um intervalo de sete dias. As duas primeiras aplicações foram feitas via solo, devido ao uso da manta de TNT, que dificulta a aplicação foliar no início do ciclo. Para as duas aplicações via foliar, foi utilizado um borrifador manual, e as folhas foram pulverizadas até ficarem completamente molhadas, sendo esse processo realizado a partir das 16h00.

O Compost Aid[®] (produto à base de *Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecium* e *Lactobacillus plantarum*) foi aplicado três vezes durante o experimento, sendo a

primeira aplicação aos sete dias após o transplante (3 Kg/ha), e as demais aplicações em intervalos de sete dias, numa dose de 2 kg/ha (recomendação do fabricante). Todas as aplicações foram feitas via solo, com auxílio de uma proveta, sendo colocados 50 mL da calda por planta.

2.4 Variáveis Analisadas

Aos 65 DAT, as raízes das oito plantas de cada parcela foram coletadas e levadas ao Laboratório de Fitopatologia e Microbiologia da UFERSA para a análise epidemiológica. Para calcular o índice de severidade da doença (ISD), as raízes das oito plantas de cada parcela foram classificadas de 0 a 5 usando a escala de notas descrita por Ambrósio et al. (2015). O ISD foi normalizado para cada tratamento usando a seguinte equação: $ISD = [(X_1 \times 0) + (X_2 \times 1) + (X_3 \times 2) + (X_4 \times 3) + (X_5 \times 4) + (X_6 \times 5)] / (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6)$, onde X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 e X_6 são o número de plantas com notas de severidade da doença de 1, 2, 3, 4, e 5, respectivamente (HUO et al., 2021).

Para as análises enzimáticas, amostras de folhas de meloeiro (terço médio) foram coletadas 12 horas após a última aplicação dos tratamentos. Estas amostras foram acondicionadas em caixa térmica, contendo gelo, e transportadas para o laboratório de Biotecnologia Vegetal da Universidade Federal Rural do Semi-Árido para pesagem e processamento, visando ao armazenamento em freezer (-80 °C) para posterior análise.

As amostras de folhas (0,5 g) foram colocadas em almofariz, sendo acrescentados 25 mg de polivinilpirrolidone (PVP) e nitrogênio líquido. Em seguida, foram maceradas com pistilo, e imediatamente acrescentado 2,5 mL de tampão acetato de sódio 100 mM (pH 5,0) e 0,5 mL de EDTA (1 mM). O homogenato ficou durante 10 minutos na temperatura de 4 °C na centrifuga a 10.000 g, e o sobrenadante obtido considerado como extrato enzimático (BEZERRA NETO; BARRETO, 2011). As enzimas analisadas foram a peroxidase (POX), polifenoloxidase (PPO), catalase (CAT) e a quantificação do peróxido de hidrogênio (H₂O₂).

A atividade da POX foi estimada com base na diferença de absorbância produzida com a oxidação do guaiacol e conjunto com a redução do H₂O₂. Para tanto, 25 µL de guaiacol (0,2 M) foram misturados com 250 µL de peróxido de hidrogênio (0,38 M) e 1 mL do tampão fosfato de sódio (0,2 M pH 6,0). A mistura foi agitada suavemente e a reação foi iniciada com adição de 25 µL do extrato proteico. As leituras foram efetuadas a 470 nm, a cada 10 segundos, durante um minuto. A atividade

enzimática foi estimada com base na diferença de absorvância por minuto e por peso de amostra fresca. Para o branco, o extrato proteico foi substituído por água destilada (BEZERRA NETO; BARRETO, 2011).

Para a determinação espectrofotométrica da atividade da PPO, foi transferido para tubos criogênicos 1,8 mL do tampão fosfato de potássio (0,05 M pH 6,0). Em seguida, foram acrescentados 50 μ L do extrato proteico e 50 μ L de Catecol (0,1 M). A mistura foi agitada em vórtex por 15 segundos e incubada por 30 minutos a 30 °C. Após a incubação, os tubos foram transferidos para banho de gelo, sendo adicionados 100 μ L de ácido perclórico (1,4%), os quais foram agitados novamente em vórtex e deixados em repouso por 10 minutos. Para o branco, o extrato proteico foi substituído por água destilada. As leituras foram realizadas a 396 nm e os resultados foram expressos em unidade enzimática (U.E) por grama de amostra fresca (CAMPOS et al., 2004).

A atividade espectrofotométrica da CAT foi determinada de acordo com a metodologia proposta por Havir e Mchale (1987) com modificações de Azevedo et al. (1998). Para tanto, 2,75 mL do tampão fosfato de potássio (100 mM pH 7,5) e 100 μ L do extrato proteico foram adicionados em tubos criogênicos. Em seguida, a reação foi iniciada com a adição de 120 μ L de H₂O₂, pipetados apenas no momento das leituras. Para o branco, foi utilizado o tampão fosfato de potássio. A atividade da CAT foi observada durante um minuto, com leituras no tempo 0 e após 60 segundos a comprimento de onda 240 nm, em cubetas de quartzo. Os resultados foram expressos em μ mol/min/mg de proteína. A concentração de proteínas foi analisada pelo método de Bradford (BRADFORD, 1976). Os resultados foram expressos em unidades enzimáticas min⁻¹ mL⁻¹.

Para a quantificação do H₂O₂, foram adicionados em tubos eppendorfs 75 μ L do extrato proteico e misturado com 75 μ L do tampão fosfato de potássio (10 mM pH 7,0) e 150 μ L de iodeto de potássio (1 M). Em seguida, a mistura foi incubada por 30 minutos sob temperatura ambiente e no escuro. Para o branco, foi utilizada água destilada no lugar do extrato proteico. Após isso, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 390 nm (QUADROS et al., 2019).

As avaliações fisiológicas foram realizadas aos 50 DAT. Para a determinação das trocas gasosas, foi utilizado analisador de gás portátil por infravermelho - IRGA (Walz-Gfs-300), com fluxo de ar de 300 μ mol s⁻¹ e fonte de luz acoplada de 1200 μ mol m⁻² s⁻¹, sendo as medições aferidas entre as 8h00 e 10h00. Mediram-se as seguintes variáveis: taxa fotossintética (A) (μ mol CO₂ m⁻² s⁻¹), condutância estomática (gs) (mol

$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência no uso da água ($\text{EUA} = A/E$), eficiência instantânea de carboxilação ($\text{EiC} = A/C_i$) e a temperatura foliar (TF) ($^{\circ}\text{C}$). As determinações do índice de clorofila A, B e a relação clorofila A/B foram realizadas de forma não destrutiva, utilizando-se clorofilômetro portátil (ClorofiLOG[®], modelo CFL 1030, Porto Alegre, RS), com valores dimensionados em índice de clorofila Falker (ICF).

2.5 Análise Estatística

Uma análise de variância (ANOVA) preliminar foi realizada para determinar se havia diferenças significativas entre os dois experimentos, e se os dados poderiam ser combinados. Ao constatar que não houve diferença entre os experimentos, outra ANOVA foi realizada e os dados analisados em conjunto, com as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O *software* utilizado foi o R (R CORE TEAM, 2023). O gráfico de correlação linear de Pearson foi criado no RStudio usando o pacote ‘Corrplot’ (WEI; SIMKO, 2017).

3 RESULTADOS

Nas condições de campo, o ISD foi menor quando os elicitores biótico (Compost Aid[®]) e abiótico (Bion[®]) foram aplicados combinados, não diferindo do Compost Aid[®] aplicado isoladamente (Figura 1A). A combinação dos elicitores proporcionou a maior concentração de H_2O_2 , diferindo dos demais tratamentos, exceto do Bion[®] aplicado isoladamente (Figura 1B). Seguindo a mesma tendência, a atividade da enzima CAT foi favorecida pelo uso associado destes elicitores de resistência, com incrementos de 71,2 e 107,7% comparado com os tratamentos controle e padrão da empresa, respectivamente (Figura 1C). Para a POX, o uso combinado dos elicitores proporcionou aumentos de 34,2 e 59,4 % (Figura 1D). A atividade da PPO aumentou 15,2 e 14,9% em relação ao controle e padrão da empresa, respectivamente (Figura 1E).

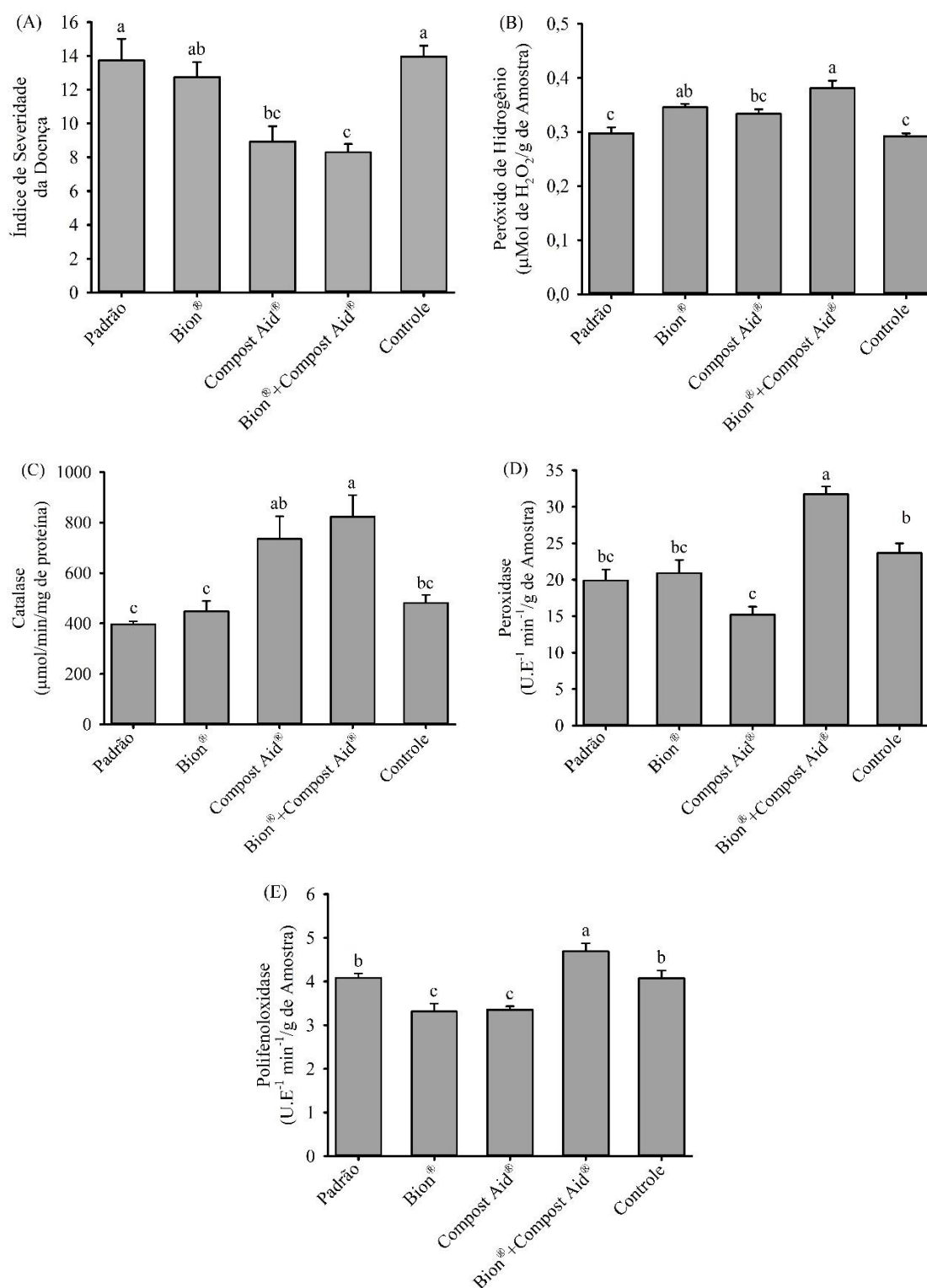


Figura 1. Índice de severidade da doença (A), quantidade de peróxido de hidrogênio (B) e atividade das enzimas catalase (C), peroxidase (D) e polifenoloxidase (E) em meloeiro sob influência de elicitores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O uso combinado dos elicitores Bion® e Compost Aid® favoreceu a taxa fotossintética (A), não diferindo do Compost Aid® aplicado isoladamente (Figura 2A).

A condutância estomática (g_s) foi menor no tratamento controle comparado com os demais tratamentos (Figura 2B). A maior concentração interna de CO_2 (C_i) foi observada no tratamento controle (Figura 2C), ao passo que este tratamento proporcionou a menor taxa de transpiração (E), semelhante ao Bion[®] e Compost Aid[®] isoladamente (Figura 2D).

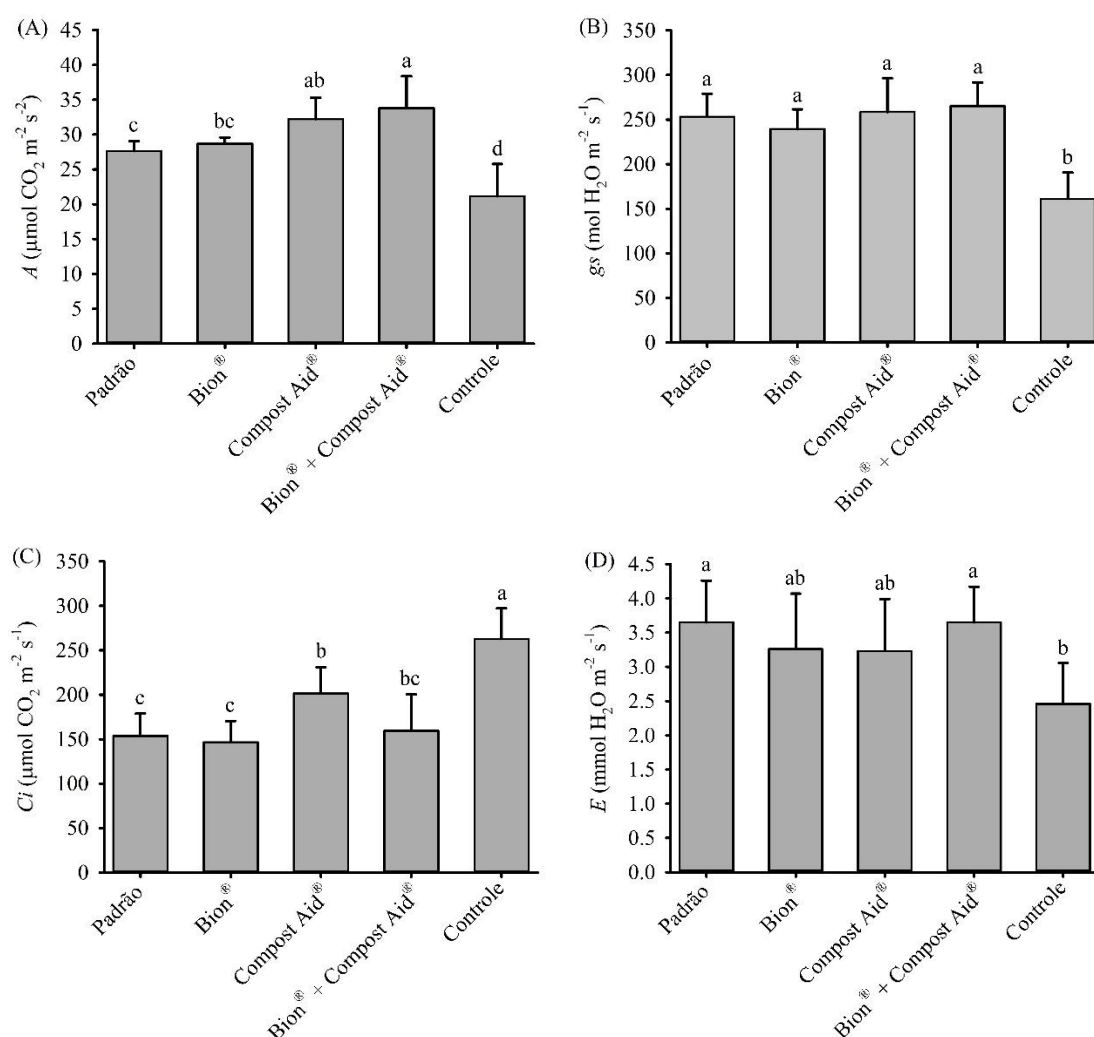


Figura 2. Taxa fotossintética - A (A), condutância estomática - g_s (B), concentração intercelular de CO_2 - C_i (C) e a taxa de transpiração - E (D) em meloeiro sob influência de elicitores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A combinação dos elicitores Bion[®] e Compost Aid[®] beneficiou a eficiência de carboxilação (EiC), proporcionando o seu maior valor, diferindo apenas do controle (Figura 3A). Para a eficiência no uso da água (EUA) e temperatura foliar (TF), não houve diferença entre os tratamentos (Figuras 3B e 3C).

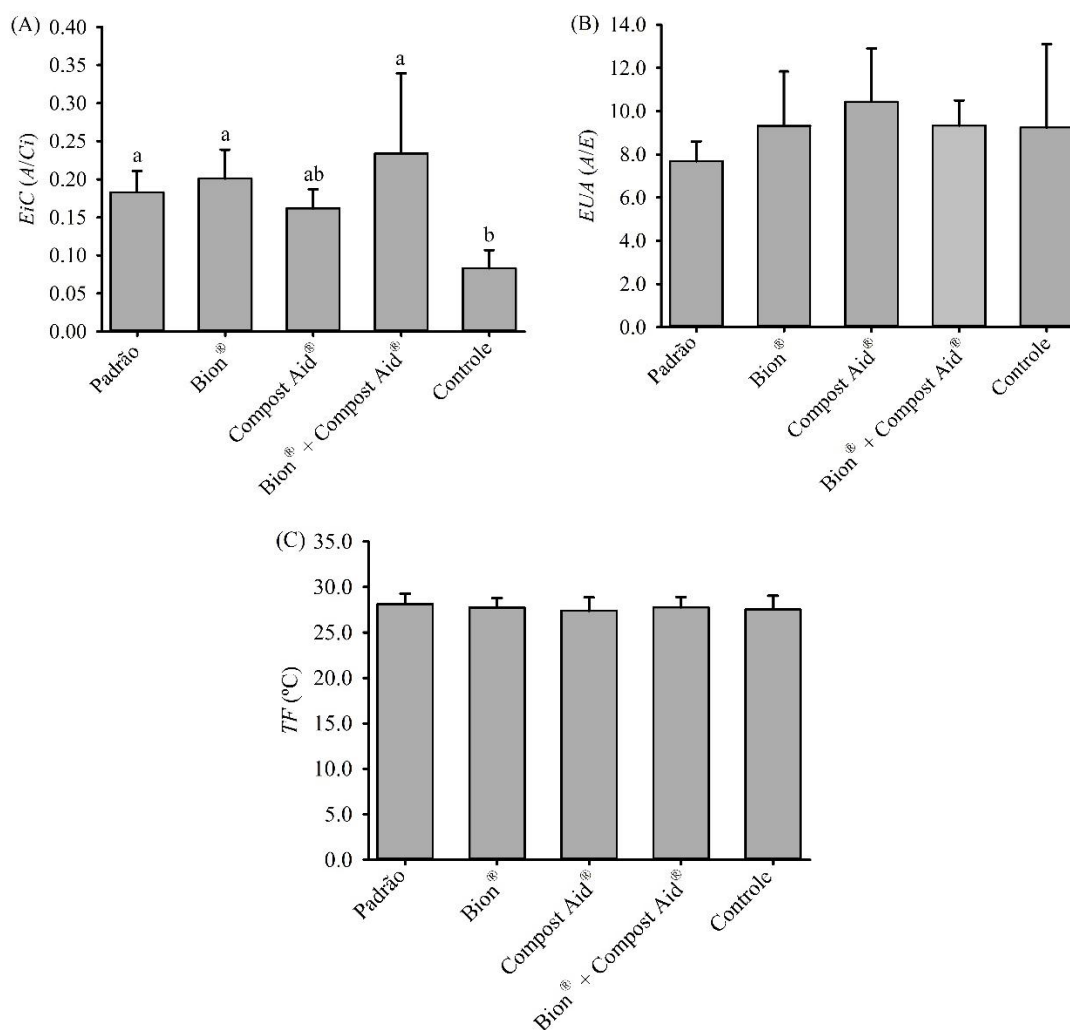


Figura 3. Eficiência instantânea de carboxilação - EiC (A), eficiência instantânea do uso da água - EUA (B) e a temperatura foliar - TF (C) em meloeiro sob influência de elicitores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Para o índice de clorofila A, o menor valor foi constatado no controle, ao passo que os demais tratamentos não diferiram entre si (Figura 4A). Para a clorofila B, por sua vez, não houve diferença entre os tratamentos (Figura 4B). O Compost Aid® proporcionou a maior relação clorofila A/B, diferindo apenas do controle (Figura 4C).

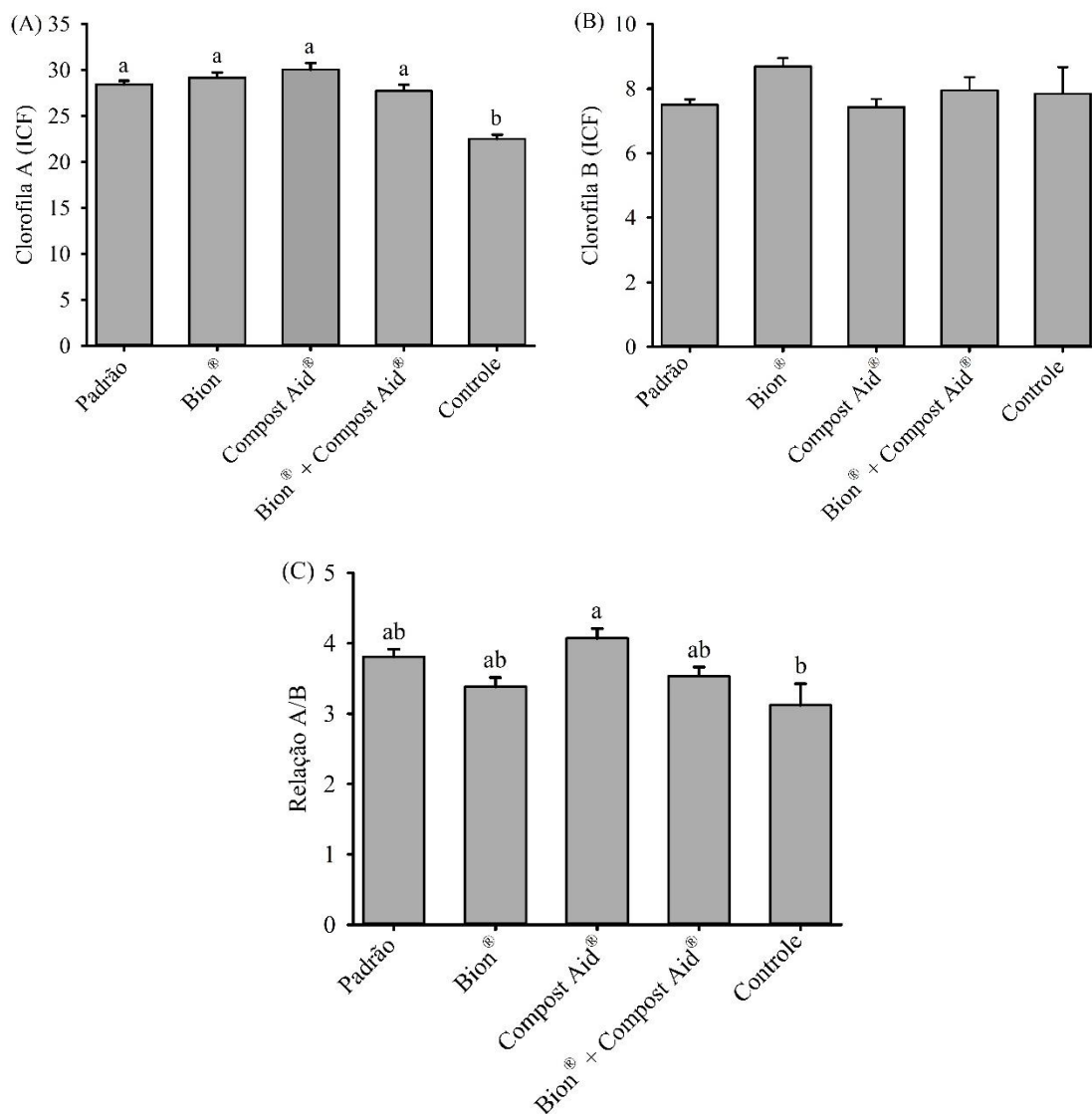


Figura 4. Índices de clorofila A (A), clorofila B (B) e a relação clorofila A/B (C) em meloeiro sob influência de elicitores de resistência. Letras minúsculas iguais significam que os tratamentos não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Houve correlação positiva entre o H_2O_2 e as enzimas de defesa CAT (0,48) e POX (0,33) (Figura 5). A CAT correlacionou-se positivamente com A (0,44) e GS (0,31) (Figura 5). As maiores correlações positivas para as trocas gasosas ocorreram entre A com EIC (0,77), GS (0,71), e GS com E (0,60) e EIC (0,51) (Figura 5). A CLA correlacionou-se positivamente com GS (0,67), A (0,61) e EIC (0,59) (Figura 5). Para o ISD, a correlação foi negativa com H_2O_2 (0,58), CAT (0,51), A (0,41) e GS (0,32) (Figura 5). Para as trocas gasosas, a correlação foi negativa entre CI e EIC (0,86) e entre a A e CI (0,59); por sua vez, a CLA correlacionou-se negativamente com CI (0,62) (Figura 5).

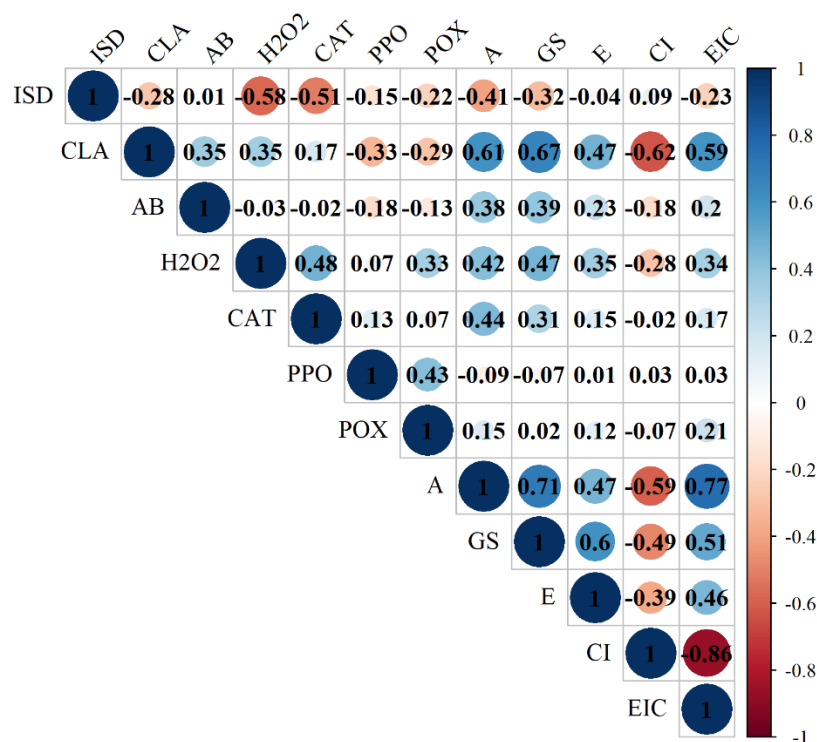


Figura 5. Correlação de Person para índice de severidade da doença (ISD), clorofila A (CLA), relação clorofila A/B (AB), peróxido de hidrogênio (H₂O₂), atividade das enzimas catalase (CAT), polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POX), taxa fotossintética (A), condutância estomática (GS), taxa de transpiração (E), concentração interna de CO₂ (CI) e eficiência instantânea de carboxilação (EIC).

4 DISCUSSÃO

Os resultados desta pesquisa indicam que o elicitor biótico à base de rizobactérias (Compost Aid[®]) aplicado combinado ao elicitor abiótico (Bion[®]), que tem o princípio ativo o acibenzolar-S-metil, proporcionou alterações nos níveis de H₂O₂ e metabolismo oxidativo, provocando reduções do índice de severidade da podridão do sistema radicular em meloeiro. Essas reduções podem estar associadas ao efeito sinérgico ocasionado pela combinação dos produtos, levando a uma explosão oxidativa, resultando na formação de espécies reativas de oxigênio (ERO's), incluindo o peróxido de hidrogênio (H₂O₂), o ânion superóxido (O₂⁻) e radicais hidroxila (OH), que atuam como moléculas sinalizadoras de defesa das plantas (OLIVEIRA et al., 2016; JAIGANESH; KUMAR, 2018; QUADROS et al., 2019).

Este aumento na produção de ERO's é necessário para que ocorra uma resposta de hipersensibilidade, processo no qual acontece a morte programada das células adjacentes à infecção, limitando o acesso do patógeno a água e nutrientes (THAKUR;

SOHAL, 2013). No entanto, o acúmulo de ERO's é altamente tóxico para as células vegetais, ocasionando a peroxidação lipídica e a morte das células (GUPTA et al., 2013). Para tanto, as plantas possuem um sofisticado sistema antioxidante, composto por enzimas como CAT, POX e PPO, as quais protegem os tecidos contra os danos oxidativos (QUADROS et al., 2019). Este comportamento ficou evidente com os resultados obtidos no presente estudo.

Além de desempenhar função antioxidante, a POX está envolvida no processo de lignificação da parede celular, catalisando a biossíntese de metabólitos como fitoalexinas e fenóis para a formação de lignina (LI et al., 2015; BERGER et al., 2016). A CAT catalisa a rápida decomposição do H_2O_2 em H_2O e O_2 , molécula gasosa menos reativa; por sua vez, a PPO, além de estar envolvida nos mecanismos de defesa das plantas, catalisa a oxidação de fenóis em quininas de maneira anoxigênica (SHASMITA et al., 2019).

Os valores da correlação de Person evidenciam que o aumento da produção de ERO's, especificamente o H_2O_2 , favorece a síntese das enzimas CAT, POX e PPO, proporcionando maior resistência do meloeiro à podridão radicular, reduzindo o índice de severidade da doença. O aumento da síntese destas enzimas antioxidantes faz com que as plantas suportem as restrições mediadas pelo estresse, protegendo o funcionamento celular, favorecendo seu crescimento e desenvolvimento (AHANGER et al., 2020).

Para os aspectos fisiológicos, os tratamentos que apresentaram os menores ISD foram os que proporcionaram os melhores resultados para as trocas gasosas e índices de clorofila. Naturalmente, nos tratamentos com maior ISD, houve maior invasão do sistema vascular pelos patógenos fúngicos, levando à dissolução das paredes celulares do xilema, formação de tiloses e consequente redução no transporte de água e nutrientes (ARGAEZ et al., 2020). Uma das formas das plantas reagirem ao ataque de um patógeno radicular é o fechamento estomático, com o objetivo de evitar ou reduzir a perda de água (LI et al., 2016), ocasionando decréscimos em g_s , E e A , como observado no presente estudo.

Em virtude disso, houve maior acúmulo de C_i em virtude do maior ISD, o qual pode ser explicado pela redução da A , inibindo a carboxilação e fixação bioquímica do carbono (TAIZ et al., 2017). Além disso, a limitação hídrica leva à deficiência nutricional, reduzindo a absorção de alguns nutrientes, como nitrogênio e magnésio,

levando em consequência à senescência foliar (ARGAEZ et al., 2020), com limitação à síntese de clorofila. Os resultados desta pesquisa corroboram com o supracitado.

5 CONCLUSÕES

A combinação Bion[®] + Compost Aid[®] e o Compost Aid[®] isoladamente reduzem o índice de severidade da doença e influenciam positivamente nas trocas gasosas e índices de clorofila. Os elicitores Bion[®] + Compost Aid[®] aplicados combinados ativam a defesa das plantas a partir do aumento da atividade enzimática da peroxidase, catalase e polifenoloxidase.

REFERÊNCIAS

- AGROFIT. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. 2022. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 23 de jan. 2022.
- AHANGER, M. A.; AZIZ, U.; ALSAHLI, A. A.; ALYEMENI, M. N.; AHMAD, P. Influence of exogenous salicylic acid and nitric oxide on growth, photosynthesis, and ascorbate-glutathione cycle in salt stressed *Vigna angularis*. **Biomolecules**, Basel, v. 10, n. 42, p. 1-16, 2020.
- ALEANDRI, M. P.; REDA, R.; TAGLIAVENTO, V.; MAGRO, P.; CHILOSI, G. Effect of Chemical resistance inducers on the control of *Monosporascus* root rot and vine decline of melon. **Phytopathologia Mediterranea**, Florence, v. 49, p. 18-26, 2010.
- AMBRÓSIO, M. M. Q.; DANTAS, A. C. A.; MARTINEZ-PEREZ, E.; MEDEIROS, A. C.; NUNES, G. H. S.; PICÓ, M. B. Screening a variable germplasm collection of *Cucumis melo* L. for seedling resistance to *Macrophomina phaseolina*. **Euphytica**, Wageningen, v. 206, n. 2, p. 287-300, 2015.
- ARGAEZ, R. C.; SCHAFFER, B.; VAZQUEZ, A.; STERNBERG, L. D. S. L. Leaf gas exchanges and stable carbon isotope composition of redbay and avocado trees in response to laurel wilt or drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, Barcelona, v. 171, p. 1-10, 2020.
- AZEVEDO, R. A.; ALAS, R. M.; SMITH, R. J.; LEA, P. J. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in leaves and roots of wild-type and catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 104, n. 2, p. 280-292, 1998.
- BERGER, L. R. R.; STAMFORD, N. P.; WILLADINO, L. G.; LARANJEIRA, D.; LIMA, M. A. B.; MALHEIROS, S. M. M.; OLIVEIRA, W. J.; STAMFORD, T. C. M. Cowpea resistance induced against *Fusarium oxysporum* f. sp. *tracheiphilum* by crustaceous chitosan and by biomass and chitosan obtained from *Cunninghamella elegans*. **Biological Control**, Texas, v. 92, p. 45-54, 2016.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. CEP, v. 52171, p. 900, 2011.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 72, p. 248-254, 1976.
- CAMPOS, A. D.; FERREIRA, A. G.; HAMPE, M. M. V.; ANTUNES, I. F.; BRANÇÃO, N.; SILVEIRA, E. P.; OSÓRIO, V. A.; AUGUSTIN, E. Atividade de peroxidase e polifenoloxidase na resistência do feijão à antracnose. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 7, p. 637-643, 2004.
- CASTRO, G.; PERPINA, G.; ESTERAS, C.; ARMENGOL, J.; PICÓ, B.; CASTRO, A. P. Resistance in melon to *Monosporascus cannonballus* and *M. eutypoides*: fungal pathogens associated with *Monosporascus* root rot and vine decline. **Annals of Applied Biology**, Coventry, v. 177, n. 1, p. 101-111, 2020.

CHEN, F.; WANG, M.; ZHENG, Y.; LUO, J.; YANG, X.; WANG, X. Quantitative changes of plant defense enzymes and phytohormone in biocontrol of cucumber Fusarium wilt by *Bacillus subtilis* B579. **World Journal of Microbiology and Biotechnonology**, Hull, v. 26, p. 675-684, 2010.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

FERRAZ, H. G. M.; RESENDE, R. S.; SILVEIRA, P. R.; ANDRADE, C. C. L.; MILAGRES, E. A.; OLIVEIRA, J. R.; RODRIGUES, F. A. Rhizobacteria induces resistance against Fusarium wilt of tomato by increasing the activity of defense enzymes. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 3, p. 274-283, 2014.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. 2023. The agricultural production domain covers. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 11 fev. 2023.

GUPTA, S.; BHAR, A.; CHATTERJEE, M.; DAS, S. *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceri* race 1 induced redox state alterations are coupled to downstream defense signaling in root tissues of chickpea (*Cicer arietinum* L.), **PloS One**, São Francisco, v. 8, e73163, 2013.

HAVIR, E.; MCHALE N. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**, Glasgow, v. 84, n. 2, p. 450–455, 1987.

HUO, Y.; KANG, J. P.; AHN, J. C.; KIM, Y. J.; PIAO, C. H.; YANG, D. U.; YANG, D. C. Siderophore-producing rhizobacteria reduce heavy metal-induced oxidative stress in *Panax ginseng* Meyer. **Journal of Ginseng Research**, Jeonju v. 45, p. 218-227, 2021.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Produção Agrícola Municipal, 2020, Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 11 fev. 2023.

JAIGANESH, V.; KUMAR, V. Changes in peroxidase and poly phenol oxidase content of rice var. ADT 36 as influenced by application of integrated approaches and *Bipolaris oryzae* inoculation. **Life Science Bulletin**, Satna, v. 15, n. 2, p. 217-220, 2018.

LI, H.; WANG, Y.; LIU, F.; YANG, Y.; WU, Z.; CAI, H.; ZHANG, Q.; WANG, Y.; LI, P. Effects of chitosan on control of postharvest blue mold decay of apple fruit and the possible mechanisms involved. **Scientia Horticulturae**, Viterbo, v. 186, p. 77–83, 2015.

LI, M.; LÓPEZ, R.; VENTURAS, M.; MARTÍN, J. A.; DOMÍNGUEZ, J.; GORDALIZA, G. G.; GIL, L.; RODRÍGUEZ-CALCERRADA, J. Physiological and biochemical differences among *Ulmus minor* genotypes showing a gradient of resistance to Dutch elm disease. **Forest Pathology**, Aberdeen, v. 46, n. 3, p. 215-228, 2016.

LINHARES, C. M. S.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; CASTRO, G.; TORRES, S. B.; ESTERAS, C.; NUNES, G. H. S.; PICÓ, B. Effect of temperature on disease severity of charcoal rot of melons caused by *Macrophomina phaseolina*: implications for selection of resistance sources. **European Journal of Plant Pathology**, Londres, v. 158, p. 431-441, 2020.

- LORENZETTI, E.; STANGARLIN, J. R.; KUHN, O. J.; PORTZ, R. L. Indução de resistência à *Macrophomina phaseolina* em soja tratada com extrato de alecrim. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 44, n. 1, p. 45-50, 2018.
- MELO, N. J. A.; LIMA, A. G.; NEGREIROS, A. M. P.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; NASCIMENTO, L. V.; SALES JUNIOR, R. Pathogenicity of *Macrophomina phaseolina* ind cultivars and accessions of *Cucumis melo*. **Journal of Plant Pathology**, Berkeley, v. 103, p. 969-972, 2021.
- NASCIMENTO, P. G. M. L.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; FREITAS, F. C. L.; CRUZ, B. L. S.; DANTAS, A. M. M.; SALES JÚNIOR, R.; SILVA, W. L. Incidence of root of muskmelon in different soil management practices. **European Journal of Plant Pathology**, Londres, v. 152, p. 433-446, 2018.
- NEGREIROS, A. M. P.; SALES JÚNIOR, R.; LEÓN, M.; MELO, N. J. A.; MICHEREFF, S. J.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; MEDEIROS, H. L. S.; ARMENGOL, J. Identification and pathogenicity of *Macrophomina* species collected from weeds in melon fields in Northeastern Brazil. **Journal of Phytopathology**, Göttingen, v. 167, n. 6, p. 326-337, 2019.
- OLIVEIRA, M. D. M.; VARANDA, C. M. R.; FÉLIZ, M. R. F. Induced resistance during the interaction pathogen x plant and the use of resistance inducers. **Phytochemistry Letters**, Rochester, v. 15, p. 152-158, 2016.
- PORTO, M. A. F.; AMBRÓSIO, M. M. Q.; FREITAS, F. C. L.; NASCIMENTO, S. R. C.; CRUZ, B. L. S.; GUIMARÃES, L. M. S. Feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) no controle da podridão radicular do meloeiro causada por associação de patógenos. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 42, n. 4, p. 327-332, 2016.
- QUADROS, F.M.; GARCÉS-FIALLOS, F.R.; BORBA, M.C.; FREITAS, M.B.; STADNIK, M.J. *Fusarium oxysporum* affects differently the hydrogen peroxide levels and oxidative metabolism in susceptible and resistant bean roots. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, East Lansing, v. 106, p. 1-6, 2019.
- R-CORE-TEAM (2023). **R: A language and environment for statistical computing**, R. Foundation for Statistical Computing, Viena.
- SHASMITA.; MOHAPATRA, D.; MOHAPATRA, P. K.; NAIK, S. K.; MUKHERJEE, A. K. Priming with salicylic acid induces defense against bacterial blight disease by modulating rice plant photosystem II and antioxidant enzymes activity. **Physiological and Molecular Pathology**, East Lansing, v. 108, p. 1-10, 2019.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 858p. 2017.
- THAKUR, M.; SOHAL, B. S. Role of elicitors in inducing resistance in plants against pathogen infection: a review. **ISRN Biochemistry**. v. 2013, p. 1–11, 2013.
- THILAGAVATHI, R.; SARAVANAKUMAR, D.; RAGUPATHI, N.; SAMIYAPPAN, R. A combination of biocontrol agents improves the management of dry root rot (*Macrophomina phaseolina*) in greengram. **Phytopathologia Mediterranea**, Florence, v. 46, p. 157–167, 2007.
- WEI, T.; SIMKO, V. R package “corrplot”: Visualization of a Correlation Matrix (Version 0.84), 2017.