



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

FERNANDA JESSICA QUEIROZ SANTOS

**ANÁLISE DE INDUTOR DE RESISTÊNCIA NA PROTEÇÃO CONTRA A
PODRIDÃO RADICULAR E O DECLÍNIO DAS RAMAS DO MELOEIRO**

MOSSORÓ

2021

FERNANDA JESSICA QUEIROZ SANTOS

**ANÁLISE DE INDUTOR DE RESISTÊNCIA NA PROTEÇÃO CONTRA A
PODRIDÃO RADICULAR E O DECLÍNIO DAS RAMAS DO MELOEIRO**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Biotecnologia

Orientadora: Ioná Santos Araújo Holanda,
Profa. Dra.

Co-orientador: Rui Sales Junior, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2021

©Todos os direitos estão reservados à 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 tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

S237a Santos , Fernanda Jessica Queiroz .
Análise de indutor de resistência na proteção
contra a podridão radicular e o declínio das ramas
do meloeiro / Fernanda Jessica Queiroz Santos . -
2022.
45 f. : il.

Orientadora: Ioná Santos Araújo Holanda.
Coorientador: Rui Sales Junior.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
, 2022.

1. Acibenzolar-S-metil. 2. Estresse Biótico. 3.
Cucumis melo. 4. Macrophomina phaseolina. I.
Holanda, Ioná Santos Araújo , orient. II. Sales
Junior, Rui , co-orient. III. Título.

Bibliotecário-Documentalista
Keina Cristina Santos Sousa e Silva, Bib. Me. (CRB-15/120)

FERNANDA JESSICA QUEIROZ SANTOS

**ANÁLISE DE INDUTOR DE RESISTÊNCIA NA PROTEÇÃO CONTRA A
PODRIDÃO RADICULAR E O DECLÍNIO DAS RAMAS DO MELOEIRO**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Biotecnologia

Defendida em: 29 /11 /2021.

BANCA EXAMINADORA

Ioná Santos Araújo Holanda

Ioná Santos Araújo Holanda, Profa. Dra. (UFERSA)
Presidente

Andréia Mitsa Paiva Negreiros

Andréia Mitsa Paiva Negreiros, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Cynthia Cavalcanti

Cynthia Cavalcanti de Albuquerque, Profa. Dra. (UERN)
Membro Examinador

Rita de Cássia Alves

Rita de Cássia Alves, Dr. (INSA)
Membro Examinador

*Ao meu Pai Geilson Alves dos Santos, que sempre foi o meu exemplo de força e dedicação, é por você que decidi continuar!
(in memoriam)*

A minha Mãe Maria Marta de Queiroz Santos e meu irmão Fernando Jeferson Queiroz dos Santos por terem acreditado em mim, por todo apoio dedicado desde o início da minha vida acadêmica até o presente momento. Não foi fácil, mas sem vocês seria impossível!
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, que me permitiu chegar até aqui e sempre segurou a minha mão nos momentos difíceis, quando achei que não aguentava mais e pensei em desistir.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e ao Programa de Pós Graduação em Fitotecnia pela oportunidade de ingresso e por fornecer a estrutura e parte do material necessária para a realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu comitê de orientação, Professores D. Sc. Ioná Santos Araújo Holanda, orientadora, e Rui Sales Júnior, co-orientador, pela atenção, dedicação, paciência e por todos os ensinamentos transmitidos desde a minha chegada aos Laboratórios de Biotecnologia Vegetal e ao Laboratório de Fitopatologia II.

A Dra. Rita de Cássia Alves do Instituto Nacional do Semi-Árido (INSA), ao técnico Me. Francisco Fábio Mesquita Oliveira, do departamento de Ciências Biológicas (Universidade do Estado do Rio grande do Norte) e a Profa. Dra. Andréia Mitsa Paiva Negreiros do departamento de Ciências Agrárias (UFERSA), pela contribuição na elaboração deste trabalho, e por todos os ensinamentos e orientações dadas.

Ao pessoal integrante do Laboratório de Fitopatologia II, Naama Melo, Elisângela Maniçoba, Matias de Souza, Sara Oliveira, Moisés Tavares, Liliana Misa pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho. E Principalmente a Allinny Cavalcante e Cynthia Santos, por me acompanharem do começo ao fim dessa jornada, não só como colegas de trabalho, mas como companheiras de perrengues e conselheiras.

A minhas tias Rita Santos e Dapaz Santos, que me acolheram e me deram suporte para chegar até aqui.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho e para a minha formação profissional.

Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando a beira-mar divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos.

Isaac Newton

RESUMO

Devido às grandes dificuldades e limitações no controle de doenças na cultura do melão e levando em consideração a grande importância do uso de indutores de resistência, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação pré e pós-semeadura de ASM (Acibenzolar-S-metil) contra a doença podridão radicular e declínio das ramas, causada pelo patógeno *Macrophomina phaseolina*, sobre as características físicas e bioquímicas, em melão cv. 'Titannium'. O experimento foi realizado em casa de vegetação e no Laboratório de Fitopatologia II da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), usando o delineamento inteiramente casualizado com 7 tratamentos (Controle positivo; controle negativo; tratamento de sementes; aplicação na parte aérea; aplicação no solo; tratamento de semente mais aplicação na parte aérea; e tratamento de semente mais aplicação no solo), e 5 repetições. Foi utilizado um solo naturalmente infestado retirado de uma área onde já havia relatos da doença. Para o controle positivo, se utilizou apenas o solo naturalmente infestado sem aplicação do produto, para o controle negativo, o solo foi autoclavado, e para os demais tratamentos foi usado o indutor de resistência ASM na concentração de 0,001g/L (dose da bula). Foram realizadas avaliações de incidência e severidade da doença, variáveis biométricas tais como comprimento de raiz e da parte aérea, massa da raiz e da parte aérea, e quantificação do estresse oxidativo, bem como da capacidade do sistema antioxidante de defesa através da determinação da atividade da Guaiacol Peroxidase (GPOX), Superóxido Dismutase (SOD), concentração de malonaldeído (MDA) e peróxido de hidrogênio. Os dados obtidos foram avaliados com o auxílio do programa de análise estatística SISVAR. Com os resultados pôde-se observar que o método de aplicação do ASM mais eficaz contra podridão radicular e o declínio das ramas de meloeiro, foi o tratamento de sementes mais aplicação na parte aérea, pois apesar de apresentar um dos índices de severidade mais altos, não afetou significativamente o crescimento e desenvolvimento da planta, além de apresentar um dos menores conteúdos de MDA, o que sugere uma baixa peroxidação lipídica. O tratamento de sementes mais aplicação na parte aérea, também demonstrou que o ASM induziu o aumento da atividade de enzimas antioxidantes de defesa contra o estresse oxidativo, com atividade elevada das enzimas SOD e GPOX. Estes resultados são importantes, pois podem contribuir futuramente com programas de melhoramento da cultura no que tange ao desenvolvimento de medidas de controle eficazes contra doenças causadas por este fitopatógeno.

Palavras-chave: Acibenzolar-S-metil, *Macrophomina phaseolina*, *Cucumis melo*, Estresse Biótico.

ABSTRACT

Due to the great difficulties and limitations in the control of diseases in the melon crop and taking into account the great importance of the use of resistance inducers, this study aimed to evaluate the effects of pre and post-sowing application of ASM (Acibenzolar-S- metil) against the disease root rot and vine decline, caused by the pathogen *Macrophomina phaseolina*, on the physical and biochemical characteristics, in melon cv. 'Titanium'. The experiment was carried out in a greenhouse and at the Phytopathology Laboratory II of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), using a completely randomized design with 7 treatments (Positive control; negative control; seed treatment; aerial part application; soil application; seed treatment plus shoot application; and seed treatment plus soil application), and 5 replications. A naturally infested soil taken from an area where there were already reports of the disease was used. For the positive control, only the naturally infested soil was used without application of the product, for the negative control, the soil was autoclaved, and for the other treatments, the ASM resistance inducer was used at a concentration of 0.001g/L (label dose). Assessments were made of disease incidence and severity, biometric variables such as root and shoot length, root and shoot mass, and quantification of oxidative stress, as well as the capacity of the antioxidant defense system by determining the activity of Guaiacol Peroxidase (GPOX), Superoxide Dismutase (SOD), concentration of malonaldehyde (MDA) and hydrogen peroxide. The data obtained were evaluated with the aid of the SISVAR statistical analysis program. With the results it was possible to observe that the most effective ASM application method against root rot and the decline of melon branches was the seed treatment plus application in the aerial part, because despite having one of the highest severity indexes, did not significantly affect plant growth and development, in addition to having one of the lowest MDA contents, which suggests low lipid peroxidation. Seed treatment plus aerial application also showed that ASM induced an increase in the activity of antioxidant enzymes that defend against oxidative stress, with high activity of SOD and GPOX enzymes. These results are important, as they can contribute in the future to crop improvement programs regarding the development of effective control measures against diseases caused by this phytopathogen.

Keywords: Acibenzolar-S-methyl, *Macrophomina phaseolina*, *Cucumis melo*, Biotic Stress.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Conteúdo de malonaldeído (MDA) (A), concentração do peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (B), Atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) (C) e guaiacol peroxidase (GPOX) (D), no meloeiro em função de diferentes aplicações de ASM. PA – aplicação na parte aérea; TSPA – tratamento de semente e aplicação na parte aérea; S – aplicação no solo; TSS – tratamento de semente e aplicação no solo; TS – tratamento de semente; Controle negativo – testemunha absoluta com o solo autoclavado; Controle positivo – testemunha com solo naturalmente infestado sem aplicação do produto..... 34
- Figura 2 – Análise de componentes principais. Variáveis consideradas: (H₂O₂) = peróxido de hidrogênio, (MDA) = malonaldeído, (SOD) = superóxido dismutase, (GPOX) = guaiacol peroxidase, (INC) = incidência, (SEV) = severidade, (PA) = peso da parte aérea, (PR) = peso da raiz, (CA) = comprimento da parte aérea e (CR) = comprimento da raiz..... 36

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Incidência e severidade da doença podridão radicular e declínio das ramas em plantas de melão submetidas a diferentes tratamentos com ASM 31
- Tabela 2 – Comprimento da raiz (CR), massa de raiz (MR), comprimento da parte aérea (CA), massa da parte aérea (MA) de plantas de melão submetidas a diferentes tratamentos com ASM..... 32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

µg	Microgramas
µL	Microlitro
CE	Ceará
CV	Coeficiente de Variação
cv.	Cultivar
DTT	Dithiothreitol
EDTA	Ácido etilenodiamino tetra-acético
g	Gramas
ha	Hectares
L	Litro
min	Minuto
mL	Mililitro
mM	Milimolar
N ₂	Nitrogênio
NBT	Cloreto de azul nitrotetrazólio
nm	Nanômetro
p/v	Partes por volume
pH	Potencial Hidrogeniônico
PVPP	Polivinilpolipirrolidona
RN	Rio Grande do Norte
rpm	Rotações por minuto
spp.	Espécies
TCA	Ácido tricloroacético
US\$	Dólar

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
®	Marca registrada
%	Porcentagem
≅	Aproximadamente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 CULTURA DO MELOEIRO E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA	18
2.2 DECLÍNIO DAS RAMAS E PODRIDÃO RADICULAR	19
2.3 INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA	20
2.4 ASM (Acibenzolar-S-metil)	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 DELINEAMENTO E LOCAL DO EXPERIMENTO	22
3.2 MONTAGEM DO EXPERIMENTO	22
3.3 APLICAÇÃO DO INDUTOR	22
3.4 AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO	23
3.5 ANÁLISES ENZIMÁTICAS	23
3.5.1 Obtenção dos extratos proteicos	23
3.5.2 Guaiacol peroxidase – GPOX (EC 1.11.1.7)	24
3.5.3 Superóxido dismutase – SOD (EC 1.15.1.1)	24
3.5.4 Peroxidação lipídica (concentração de MDA)	24
3.5.5 Peroxido de hidrogênio	25
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 PATOGENICIDADE DE <i>M. phaseolina</i> EM PLANTAS DE MELÃO	25
4.2 CRESCIMENTO DAS PLANTAS DE MELÃO	27
4.3 EFEITOS DE ASM NO CONTEÚDO DE MDA, H ₂ O ₂ , ATIVIDADE DA SOD E GPOX	28
4.4 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)	31
5 CONCLUSÃO	33
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

O melão é a segunda fruta fresca com o maior índice de exportação no Brasil, e o principal produto exportado pelos potiguares, onde ao longo do ano de 2017 o país exportou US\$ 108 milhões, de acordo com o Ministério da Indústria, do Comércio Exterior e Serviços, sendo Holanda, Reino Unido, Espanha, Emirados Árabes, Canadá e Argentina os maiores compradores (SAPE, 2019).

Desde os anos 2000 vem sendo relatado, o declínio das ramas nas áreas de produção no Brasil e no mundo, constituindo o principal problema fitossanitário para a cultura (AEGERTER et al., 2000; GARCÍA-JIMÉNEZ, J. et al., 2000; ANDRADE et al., 2005; BELTRÁN et al., 2006; SALES JÚNIOR et al., 2007). Na região do Nordeste brasileiro a doença está amplamente disseminada (MARINHO et al., 2002; ANDRADE et al., 2005).

Essa doença causa um desequilíbrio hídrico entre o sistema radicular e a parte aérea da planta, principalmente no estágio próximo à colheita, nessa fase a planta necessita de um maior e contínuo aporte de água para suprir a demanda hídrica, o que vem a ser comprometido devido ao apodrecimento do sistema radicular (GARCÍA-JIMÉNEZ et al., 2000; BELTRÁN et al., 2006). Entre os patógenos termófilos, os fungos *M. phaseolina* e *M. cannonballus*, são os principais agentes fitopatogênicos em meloeiro e melanciaira, esses atacam o sistema radicular dessas culturas, podendo atuar isoladamente ou em associação com outros fitopatógenos, sendo assim os mesmo estão associados à podridão de raízes e declínio das ramas (PRDR) em cucurbitáceas (COHEN et al., 2012; FREITAS et al., 2018; CASTRO et al., 2020).

O uso de agrotóxicos, vem sendo a solução mais viável para controlar a incidência de infecções pelos fitopatógenos, sendo ainda a opção mais utilizada na agricultura. Porém, essas substâncias apresentam amplo mecanismo de ação e, portanto, afetam não só os organismos “indesejáveis”, mas também afeta a biota benéfica que influencia positivamente na defesa de plantas. Além de seu acúmulo nos alimentos, essas substâncias podem contaminar o solo e o lençol freático, afetando uma grande diversidade de espécies terrestres e aquáticas (FILHO e GUENTHER. 2015). Esses fatores, juntamente com uso contínuo, potencializa o risco do surgimento de populações fúngicas resistentes, principalmente quando se trata de fungicidas sistêmicos, os quais apresentam um sítio de ação específico (LUCAS *et al.*, 2015).

Devido a esses fatores, faz-se necessário o investimento em pesquisas voltadas para a condução de experimentos que elucidem como funcionam os mecanismos de defesa das

plantas, mas também a melhor forma de ativá-los, conseqüentemente levando a um aumento na produção e à diminuição no uso de fungicidas (BALMER et al., 2013).

Apesar das plantas por si só já apresentarem barreiras constitutivas, as quais são utilizadas para se proteger de uma possível infecção, e mecanismos de defesa onde só se manifesta quando está sob ataque de um agressor (AGRIOS, 2005; PASCHOLATI; LEITE, 1995), os indutores de resistência tornam-se uma opção eficaz e sustentável para a proteção das culturas contra os patógenos, reduzindo tanto a possibilidade de infecção quanto a sua intensidade (STASKAWICZ et al., 1995). Os indutores de resistência são capazes de acionar uma cascata de sinais, fazendo com que a planta responda ativando seus mecanismos de defesa seja em uma condição de estresse biótico ou abiótico, os mesmo são chamados de elicitores, podendo apresentar natureza química variada (SMITH, 1996).

O ASM (Acibenzolar-S-metil) é utilizado para proteger várias plantas contra um amplo espectro de patógenos, incluindo fungos, bactérias e vírus. Não se trata de um produto com atividade antimicrobiana direta, pois induz a produção de compostos para autodefesa da planta, interferindo em seus processos fisiológicos e bioquímicos. Pode ser aplicado em pulverização foliar ou no solo, tratamento de sementes e até mesmo aplicação em frutos pós-colheita (COLE, 1999; MYRESIOTIS; VRYZAS; PAPADOPOULOU-MOURKIDOU, 2014).

Ele atua na indução da biossíntese de enzimas envolvidas na formação de compostos de defesa vegetal e proteínas relacionadas à patogenicidade (OLIVEIRA et al., 2016). Não possui ação fungistática como os fungicidas e desenvolve um papel semelhante ao ácido salicílico na via de transdução do sinal que leva à resistência sistêmica adquirida da planta contra patógenos (YAMAGUCHI, 1998). A diminuição da severidade de doenças em função do uso deste produto está relacionada ao aumento da atividade de enzimas que exercem ação antimicrobiana e antioxidante (ANDRADE et al., 2013).

Após a planta reconhecer a interação com patógeno ou ao serem submetidas a tratamentos com fatores abióticos, ocorrerá alterações no seu metabolismo celular, resultando na emissão de sinais moleculares dirigidos para outras partes da planta, ativando os mecanismos de defesa, promovendo a redução da severidade da doença. Em resposta à distribuição dos sinais por meio do sistema caulinar, a planta seria induzida a sintetizar agentes de defesa (DOREY et al., 1997; DURNER et al., 1997), tais como explosões oxidativas, que ocorre em resposta aos elicitores os quais ativam as NADH oxidases, gerando EROS (LAMB; DIXON, 1997), respostas de hipersensibilidade (ZIMMERLI et al., 2000), acúmulo de proteínas relacionadas à patogênese (por exemplo, peroxidases, quitinases e β -1,3-glucanases)

(BAYSAL et al., 2003), além de estar relacionado a enzimas pré-existentes, como a superóxido dismutase (SOD) que promove modificações específicas no metabolismo primário e secundário da planta (CORDEIRO; SÁ, 1999). Por estarem todas relacionadas aos processos de defesa, essas enzimas apresentam dessa forma, um grande potencial para serem exploradas nos estudos que envolvem programas de indução de resistência em plantas.

Tendo em vista todos os fatores abordados e levando em consideração a grande importância do uso de indutores de resistência, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da aplicação pré e pós-semeadura de ASM contra a doença podridão radicular e declínio das ramas, causado pelo patógeno *Macrophomina phaseolina*, sobre as características físicas e bioquímicas, em melão amarelo cv. 'Titanium'.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTURA DO MELOEIRO E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

O meloeiro é um fruto originário da Ásia central e da África, que pertence à família das cucurbitáceas, sendo considerado um fruto tropical com um alto valor comercial, devido suas características peculiares, bem como sabor, valor nutritivo por ser fonte de vitamina A, além de sua grande popularidade no mundo (MULLER et al., 2013).

Nos últimos anos, o Brasil aumentou expressivamente sua produção, passando de 350.000 t em 2003 para cerca de 587.692 mil t anuais em 2019, produzidos em uma área equivalente a 21.000 ha (FAO, 2021). Neste mesmo ano o país ocupou a décima posição no ranking dos maiores produtores mundiais, sendo que grande parte da produção se concentrou na região Nordeste, sendo responsável por cerca de 95,8% da produção brasileira, onde os estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Bahia foram os maiores produtores nacionais, com produção de 356.705 t, 68.866 t e 56.888 t respectivamente produzidas em cada estado (IBGE, 2021). Dentre os municípios do Rio Grande do Norte, destacam-se Mossoró, Tibau e Apodi (IBGE, 2021). Onde nesses municípios, a cadeia produtiva do melão é responsável por gerar direta e indiretamente empregos nessas regiões, fazendo com que haja uma mudança significativa nos aspectos socioeconômico (ANSELMO et al., 2021).

Altas temperaturas, a baixa umidade relativa e a alta luminosidade, são fatores climáticos que favorecem o desenvolvimento da cultura do melão (BARDIVIESSO et al., 2015). Por ter essas características, o clima semiárido da região Nordeste do Brasil acaba propiciando uma maior produtividade e qualidade dos frutos, o ano todo (SALVIANO et al. 2017), o que beneficia a planta quanto à produtividade, qualidade do fruto, teores de açúcares,

consistência e durabilidade (FILGUEIRA, 2008). Entretanto, apesar da adaptação da cultura às condições edafoclimáticas do Nordeste, o aparecimento de doenças tem sido um dos fatores que tem ocasionado a redução da produtividade e qualidade dos frutos (RUR et al., 2018).

2.2 DECLÍNIO DAS RAMAS E PODRIDÃO RADICULAR

O meloeiro apresenta cultivo intensivo e sucessivo, sem rotação de culturas na região, que influencia negativamente na estabilidade da cultura, contribuindo assim na maior intensidade e gravidade das doenças no cultivo da espécie (MEDEIROS et al. 2015).

Quando não se tem um manejo adequado da doença, essa afeta a qualidade dos frutos e prejudica a produção (PEREIRA et al., 2012). Já foram descritas algumas doenças que acometem a cultura do melão na região do semiárido, causadas por bactérias, nematoides, vírus e fungos (SALVIANO et al., 2017). Dentre as várias doenças que prejudicam esta cultura, destacam-se as causadas por patógenos habitantes do solo (NASCIMENTO, 2015). Dentre os quais o *Fusarium oxysporum*, *Macrophomina phaseolina*, *Monosporascus cannonballus*, *Phytophthora* spp. e *Rhizoctonia solani* estão entre os principais patógenos habitantes do solo que provocam doenças em cucurbitáceas (PAVAN; REZENDE; KRAUSE-SAKATE, 2016 SALES JÚNIOR et al., 2004; COHEN et al., 2012).

A *M. phaseolina* é um dos principais fungos responsáveis por causar uma das principais doenças na cultura do melão, a podridão radicular, além do declínio das ramas (PRDR), agindo isoladamente ou formando um complexo com outros patógenos de solo (COHEN et al., 2012; FREITAS et al., 2018; CASTRO et al., 2020). Na presença do fungo, as plantas apresentam comprometimento no desenvolvimento do sistema radicular, sintomas de amarelecimento das folhas e posterior murchamento (BEDENDO, 2018). O colapso é decorrente do desequilíbrio hídrico entre o sistema radicular e a parte aérea da planta, principalmente no estágio próximo à colheita, devido ao apodrecimento do sistema radicular (GARCÍA-JIMÉNEZ et al., 2000). Ainda, a doença é favorecida em altas temperaturas (30 a 35 °C) e déficit hídrico (MEDEIROS et al., 2015).

A ocorrência de *M. phaseolina* foi relatada em melão como agente causal da PRDR e também em raízes de plantas daninhas hospedeiras que permanecem em áreas de cultivo de melão no Nordeste do Brasil (SALES JÚNIOR et al., 2012; RODRIGUES et al., 2012). Entretanto, Negreiros et al. (2019) confirmaram a hipótese de que mais de uma espécie de *Macrophomina* poderia estar associada às plantas daninhas na região do semiárido.

2.3 INDUÇÃO DERESISTÊNCIA

O controle de patógenos habitantes do solo, como a *Macrophomina*, torna-se difícil por não existir controle químico específico para a podridão radicular em meloeiro (AGROFIT, 2021). Outra dificuldade no controle está relacionada à produção de estruturas de resistência e ampla gama de hospedeiros (KAUR et al., 2012), uma vez que os microesclerócios são uma das principais formas de sobrevivência do fungo, podendo permanecer de 2 até 15 anos no solo (MUNGUÍA, 2017). Sendo assim, diversas técnicas de controle alternativas têm sido utilizadas, embora com algumas limitações, tais como a rotação de culturas, solarização do solo, incorporação de material vegetal no solo, uso de produtos de biocontrole e indutores de resistência (NASCIMENTO et al., 2018).

Muitas plantas manifestam uma situação fisiológica que é denominada de estado de pré-condicionamento ou “Priming” (CONRATH; GOELLNER, 2008) contra uma série de doenças causadas por patógenos (PASCHOLATI et al., 2010). Em consequência disso, as plantas pré-condicionadas respondem mais rapidamente e/ou efetivamente quando expostas ao estresse biótico ou abiótico, uma característica que é frequentemente associada a uma maior resistência a doenças. O pré-condicionamento é conhecido como um componente de resistência induzida (CONRATH; GOELLNER, 2008) que é caracterizado por aumentar a atividade de determinadas rotas metabólicas específicas (MACAGNAN, 2007). O maior avanço na compreensão desse processo fisiológico ocorreu a cerca de 14 anos atrás (CONRATH; GOELLNER, 2008), sendo que este não está relacionado ao aumento dos mecanismos de defesa, e sim a uma maior sensibilidade da planta em perceber a chegada de um patógeno (KUHN; PASCHOLATI, 2007).

A indução de resistência a patógenos é conhecida há mais de 50 anos, e nos últimos 30 anos, começou a ser investigada de forma mais direcionada aos aspectos moleculares e bioquímicos (PASCHOLATI et al., 2010), visando a busca de tecnologias que obtenham um aumento da produtividade das culturas pelo controle de doenças (ROMEIRO, 1999). A indução de resistência envolve a transdução de sinais de genes relacionados à defesa e de enzimas pré-existentes, como a superóxido dismutase (SOD) que promove modificações específicas no metabolismo primário e secundário da planta (CORDEIRO; SÁ, 1999). A indução de resistência pode indicar uma proteção local, assim como pode indicar uma resistência sistêmica sendo manifestada distante do local onde foi aplicado o agente indutor (MORAES, 1992).

As duas melhores formas de indução de resistência definidas são, a Resistência Sistêmica Adquirida e Resistência Sistêmica Induzida, nas quais a origem do eliciador e o sítio de atuação dele na planta são importantes para a classificação da resistência e das respostas bioquímicas estimuladas (PASCHOLATI et al., 2010). A Resistência Sistêmica Adquirida envolve a expressão de genes como das Proteínas Relacionadas à Patogênese (PRPs), entre elas, β -1,3-glucanases, quitinases e peroxidases, onde a indução é dependente do ácido salicílico (AS). Podendo ser ativada quando a planta é exposta aos patógenos virulentos, avirulentos, não-patogênicos ou quando tratadas com ácido 2,6 dicloroisonicotínico (INA) ou ácido-benzo-(1,2,3)-thiadiazole7-carbotiótico (BTH) (STICHER et al., 1997).

A Resistência Sistêmica Adquirida só será estabelecida após um determinado período de tempo, sendo este necessário para que ocorra a expressão de genes, acúmulo de PRPs e a indução sistêmica do AS (PASCHOLATI et al., 2010). Por outro lado, a Resistência Sistêmica Induzida está associada ao ácido jasmônico (AJ) e etileno (ET) (PIETERSE et al., 1998; PASCHOLATI et al., 2010), não envolvendo a síntese de PRPs (PASCHOLATI et al., 2010). Contudo, a resistência em plantas está associada à eficiência do hospedeiro em reconhecer a presença do patógeno através de mecanismos de percepção e transdução de sinais que podem resultar na resistência das plantas aos patógenos (GUZZO; HARAKAVA, 2007). Quando uma planta é desafiada por um patógeno ou tratada com eliciadores, ocorrem alterações metabólicas nas plantas e também uma sinergia entre o metabolismo primário e secundário (VIECELLI, 2008).

2.4 ASM (Acibenzolar-S-metil)

Diversos compostos químicos vêm sendo utilizados e testados como indutores de resistência no controle de doenças em plantas. O Bion®, composto sintético, que também é conhecido como Acibenzolar-S-metílico (ASM), tem sido o eliciador químico mais estudado, devido a sua capacidade de aumentar a atividade de enzimas que estão envolvidas na resistência das plantas (MACAGNAN, 2007) devido não apresentar propriedades antimicrobianas, esse composto atua ativando os genes da Resistência Sistêmica Adquirida (RSA) e das Proteínas Relacionadas à Patogênese (PRPs) mediados pelo ácido salicílico (AS) (OOSTENDORP et al., 2001; CIA et al., 2007; SIQUEIRA et al., 2019).

O mesmo atua de forma similar ao AS na sinalização endógena na RSA (OOSTENDORP et al., 2001; IRITI et al., 2007; PASCHOLATI et al., 2010). Em se tratando

de indutores abióticos, o ASM, age de forma sistêmica na indução de resistência, não apresentando qualquer efeito direto sobre os organismos alvo, geralmente esse produto desencadeiam a produção de enzimas responsáveis pela desestruturação celular dos patógenos na qual a planta está sob ataque, além de desencadear processos responsáveis pela lignificação da parede celular, podendo ser aplicado via solo ou pulverização foliar (SIQUEIRA et al., 2019). No Brasil, este produto está registrado apenas para as culturas de algodão, batata, mudas de cacau e citros, feijão, melão e tomate (AGROFIT, 2021).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DELINEAMENTO E LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi realizado em casa de vegetação e no Laboratório de Fitopatologia II do Departamento de Ciências Vegetais da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Brasil, conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 7 tratamentos (Controle positivo; controle negativo; tratamento de sementes (TS); aplicação na parte aérea (PA); aplicação no solo (S); tratamento de sementes mais aplicação na parte aérea (TSPA); tratamento de sementes mais aplicação no solo (TSS)), e 5 repetições. Foi utilizado um solo naturalmente infestado retirado de uma área onde já havia relatos da doença. Para o controle positivo, se utilizou apenas o solo naturalmente infestado sem aplicação do produto; para o controle negativo, utilizou-se solo autoclavado, e para os demais tratamentos foi usado o indutor de resistência ASM (Acibenzolar-S-metil), sendo todo o experimento realizado em duplicata.

3.2 CONDUÇÃO EXPERIMENTAL

O substrato utilizado foi um composto de solo areno-argiloso naturalmente infestado e Tropstrato HT Hortaliças® (Vida Verde, Brasil), na proporção de 3:1 (v:v). Para o controle negativo, o solo foi autoclavado duas vezes, em intervalos de 24 horas, durante 60 minutos a 121°C, para o controle negativo.

Foram utilizados vasos plásticos de 2,0 L preenchidos com a mistura de substrato citado anteriormente. A semeadura foi realizada utilizando sementes de melão cv. 'Titanium', e após 7 dias da germinação as plântulas foram transplantadas para os vasos.

3.3 APLICAÇÃO DO INDUTOR

Foram realizados em 5 tratamentos, sendo três aplicações; uma pré-emergencial e duas pós-emergencial, com o ASM ativador de plantas.

No primeiro tratamento foi feita a aplicação pré-emergencial, onde as sementes foram embebidas por 12 horas em solução contendo $0,001 \text{ g L}^{-1}$ (PENNINCKX et al., 1996; ISHII et al., 1999). No segundo tratamento as plântulas que não tiveram o tratamento pré-emergencial, foram borrifadas na parte aérea, com a solução contendo $0,001 \text{ g/L}$ de ASM. No terceiro tratamento foi aplicado 40 mL da solução contendo $0,001 \text{ g/L}$ de ASM somente no solo. O quarto tratamento consistiu no tratamento de sementes e a aplicação na parte aérea, obedecendo a mesma metodologia supracitada. E o quinto tratamento consistiu no tratamento de sementes e a aplicação no solo. As aplicações pós-emergenciais foram feitas semanalmente após o transplântio durante 4 semanas. Todas as plantas foram irrigadas com água de abastecimento natural, sendo que os controles não receberam a aplicação dos ASM.

3.4 AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL

As plantas foram coletadas 40 dias após a montagem do experimento, onde a incidência da doença (declínio das ramas) foi determinada através do número de plantas infectadas pela *Macrophomina spp.*, para cada tratamento e expressa em porcentagem. Todas as plantas foram analisadas para confirmar os Postulados de Koch. As plantas foram coletadas 40 dias após a montagem do experimento e a avaliação da severidade foi classificada de acordo com a escala diagramática de notas, atribuindo-se notas que variaram de 0 a 5, onde: 0 (raiz da planta saudável, sem sintomas); 1 (apresentando 25% da superfície da raiz com lesões); 2 (com 50% da superfície da raiz com lesões); 3 (com 75% da superfície da raiz com lesões); 4 (com raízes extensivamente lesionadas) e 5 (raízes muito deterioradas ou planta morta) (ALEANDRI, 2010).

Foram avaliadas também as variáveis biométricas relativas ao desenvolvimento das plantas: comprimento de raiz (CR) e da parte aérea (CA), realizadas com o auxílio de uma régua graduada (cm), matéria fresca da raiz (PR) e da parte aérea (PA), expressa em mg.

3.5 ANÁLISES ENZIMÁTICAS

3.5.1 Obtenção dos extratos proteicos

As amostras foram coletadas a partir da terceira folha apical (1,0 g) adicionou-se N_2 líquido e macerou-se até formar um pó fino. Posteriormente, adicionou-se aproximadamente 20% (p/v) de polivinilpirrolidona (PVPP) e, com o auxílio de Pistilo, o conteúdo foi

homogeneizado mecanicamente em 3 mL de tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,5) suplementado com 1 mM de ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA), 3 mM de dithiothreitol (DTT). O homogeneizado foi centrifugado a 10.000 rpm por 30 minutos a 4°C. O sobrenadante coletado, mantido sempre no gelo, foi dividido em alíquotas e congelado a -80°C (AZEVEDO et al., 1998), sendo utilizado para os ensaios das atividades enzimáticas, superóxido dismutase (SOD). A quantificação das proteínas solúveis totais foi realizada conforme Bradford (1976).

3.5.2 Guaiacol peroxidase – GPOX (EC 1.11.1.7)

Para a avaliação da atividade da GPOX, utilizou-se o método de Teisseire & Guy (2000), onde foi misturado diretamente na cubeta de leitura, 800 µL de guaiacol a 1%, 800 µL de peróxido de hidrogênio 10 mM, 2000 µL de tampão fosfato de potássio (50 mM, pH 6,5) e 200 µL dos extratos enzimáticos previamente obtidos (\cong 0,5 g de matéria fresca macerada em 4 mL de tampão fosfato de potássio (50 mM, pH 7,0) contendo 1 mM de EDTA e 1% de PVPP). O acompanhamento da atividade da GPOX foi realizado através do aumento da absorbância das amostras a 470 nm a cada 30 segundos, durante um minuto.

3.5.3 Superóxido dismutase – SOD (EC 1.15.1.1)

Para a avaliação da atividade da SOD, utilizou-se o método de Giannopolitis & Ries (1977), onde para cada amostra utilizou-se 1765 µL de tampão fosfato de sódio (85 mM, pH 7,8), 780 µL de metionina a 13 mM, 225 µL de cloreto de azul nitrotetrazólio (NBT) a 75 mM e 30 µL de EDTA a 0,1 µM. A esta mistura adicionou-se 50 µL dos extratos proteicos e 150 µL de riboflavina a 5 µM, sendo expostas, em seguida a luz fluorescente branca fria durante quinze minutos para ocorrer a reação, após isso foi realizada a leitura das absorbâncias a 560 nm. A atividade de SOD foi expressa como unidade enzimática (U) por grama de matéria fresca (U.g-1 MF).

3.5.4 Peroxidação lipídica (concentração de MDA)

Para a determinação da concentração de MDA, seguiu-se a metodologia de Heath e Packer (1968), onde utilizou-se 200 mg de material vegetal macerados em 2 mL de ácido tricloroacético (0,1%), contendo aproximadamente 20% de PVPP. Após perfeita homogeneização, centrifugou-se a 10000 rpm por 5 minutos. Adicionou-se 1 mL de ácido tricloroacético (20%, contendo 0,5% de ácido tiobarbitúrico) em 0,25 mL do sobrenadante e a

mistura foi mantida por 30 minutos a 95 °C. Ao ser retirado do banho-maria, a amostra foi submetida a um rápido resfriamento em gelo. Com o intuito de separar algum resíduo durante o aquecimento e para clarear a amostra foi realizada centrifugação a 10000 rpm por 10 minutos. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 535 e 600 nm.

3.5.5 Peroxido de hidrogênio

Esta análise foi realizada de acordo com a metodologia de Alexieva et al. (2001) a partir do mesmo extrato de MDA, onde 200 mg de material vegetal foram macerados em ácido tricloroacético (TCA) 0,1% com PVPP, transferidos para eppendorf e centrifugados a 10000 rpm por 5 minutos. Transferiu-se 200 µL do sobrenadante para outro eppendorf mantidos no gelo, adicionou-se 800 µL de Iodeto de potássio e 200 µL de tampão fosfato de potássio, a solução foi deixada por uma hora no gelo e mantidas no escuro. Após serem retiradas do gelo, aguardou-se 20 min para a estabilização da reação. A leitura foi feita em cubeta de vidro no comprimento de onda de 390 nm.

3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram avaliados com o auxílio do programa de análise estatística SISVAR (FERREIRA, 2011). Para os dados que não apresentaram normalidade, foram comparados por Kruskal-Wallis, seguido do teste de Dunn, ao nível de 5 % de probabilidade. Para os dados que apresentaram normalidade, os mesmos foram comparados pelo teste de Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PATOGENICIDADE DE *M. phaseolina* EM PLANTAS DE MELÃO

Os dados de patogenicidade de *M. phaseolina* em plantas de melão podem ser observados na Tabela 1. Foram observadas infecções da doença em todos os tratamentos testados, causando podridão radicular e do colo das plantas, resultando em incidência de 100%, com exceção do controle negativo. Foi possível observar também sintomas de amarelecimento das folhas, murcha e tombamento de algumas plantas. Com relação à severidade, os tratamentos com aplicação do produto na parte aérea (PA) e na semente (TS), apresentaram as menores médias (1,30 e 1,10), indicando maior resistência à infecção e menor porcentagem da área de tecidos doentes e sintomas visíveis nas plantas, porém não diferiram do controle positivo. O tratamento com aplicação no solo (S), apresentou média de

severidade de 4,20, obtendo assim uma maior taxa comparando-se com os demais tratamentos, sendo o tratamento menos eficiente para a resistência à doença.

Tabela 1. Incidência e severidade da doença podridão radicular e declínio das ramas em plantas de melão submetidas a diferentes tratamentos com ASM.

Tratamentos	Incidência da doença		Severidade da doença	
	Rank ^b	Média (%)	Rank ^b	Média
PA	40,50 b	100	34,45 b	1,30
TSPA	40,50 b	100	46,55 bc	2,30
S	40,50 b	100	62,70 c	4,20
TSS	40,50 b	100	38,05 bc	1,70
TS	40,50 b	100	31,75 b	1,10
Controle positivo	40,50 b	100	29,50 ab	1,00
Controle negativo	5,50 a	0	5,50 a	0,00
χ^2 ^a	69,00		52,64	

^a χ^2 = valores significativos de qui-quadrado. ^b Valores seguidos da mesma letra nas colunas não apresentam diferença estatísticas pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$). Os dados são valores médios de dois experimentos, cada um com 5 repetições (vasos) por tratamento e uma planta por replicação. PA – solo naturalmente infestado, aplicação na parte aérea; TSPA – solo naturalmente infestado, tratamento de semente e aplicação na parte aérea; S – solo naturalmente infestado, aplicação no solo; TSS – solo naturalmente infestado, tratamento de semente e aplicação no solo; TS – solo naturalmente infestado, tratamento de semente; Controle negativo – testemunha absoluta com o solo altoclavado; Controle positivo – testemunha com solo naturalmente infestado sem aplicação do produto.

A existência de diferentes grupos de patógenos quando considerada a mesma variável, indica a ocorrência de variabilidade entre os isolados, oriundos tanto da mesma área como de áreas diferentes (BRUTON, 2000). Ou seja, mesmo o solo sendo obtido em uma mesma área, a chance de ocorrer uma variabilidade genética e consequentemente de patogenicidade dos isolados presentes no solo é grande, isso pode refletir nos níveis de incidência e severidade da doença, onde mesmo sendo utilizado uma única cultivar e o mesmo solo para todos os tratamentos, pode ocorrer uma interação planta-patógeno diferente.

A eficiência do Acibenzolar-S-metil (ASM) no controle da doença tem sido frequentemente observada em diversos trabalhos e em outros patossistemas como *Colletotrichum lindemuthianum*, em plantas de feijão (CAMPOS et al., 2009), *Monilinia fructicola*, na pós-colheita de pêssegos (BARRETO et al., 2016), mancha bacteriana do fumo (COLE, 1999), requeima da batata (TÖFOLI et al., 2005) entre outros.

Garcia (2019) ao estudar diferentes tratamentos, avaliando o número de aplicações de ASM na severidade da mancha bacteriana em tomate, observou que quanto maior o número de aplicações de ASM, menor a severidade da doença. No presente trabalho, mesmo sendo feitas apenas 4 aplicações do indutor, as plantas responderam bem aos tratamentos, mostrando

que a severidade da doença não apresentou médias muito altas quando comparadas com o controle negativo em alguns tratamentos, como nos tratamentos PA, TSS e TS, nos quais obtiveram médias relativamente baixas.

4.2 CRESCIMENTO DAS PLANTAS DEMELÃO

Tratando-se do crescimento da planta, não houve diferença estatística entre os tratamentos e os controles para o comprimento da raiz (CR) (Tabela 2). Já para a massa da raiz (MR), a menor média (0,98 cm) foi observada no tratamento de aplicação no solo (S), que também causou o menor comprimento e massa da parte aérea (CA) (MA), com 56,10 cm e 14,25 g respectivamente. Contudo, o tratamento de sementes (TS) foi o que promoveu melhor resultado para MR (2,43), e apesar de não ser superior ou igual ao controle negativo, a média foi numericamente maior do que o controle positivo, mesmo não diferindo estatisticamente.

Já para a variável CA (Tabela 2), nenhum tratamento diferiu do controle negativo, porém o tratamento TS foi o único a diferir do controle positivo, obtendo a maior média entre todos os tratamentos avaliados. Para a variável MA, o tratamento TS juntamente com o tratamento de aplicação na parte aérea (PA) e o tratamento de sementes mais aplicação na parte aérea (TSPA) apresentaram médias superiores, comparado aos demais tratamentos, porém não diferiram estatisticamente dos controles (Tabela 2).

Tabela 2. Comprimento da raiz (CR), massa de raiz (MR), comprimento da parte aérea (CA), massa da parte aérea (MA) de plantas de melão submetidas a diferentes tratamentos com ASM.

Tratamentos	CR ^c (cm)	MR ^c (g)	CA ^c (cm)	MA ^c (g)
PA	26,05 a	1,43 cd	84,30 ab	36,48 a
TSPA	26,30 a	1,30 cd	84,74 ab	33,46 ab
S	26,25 a	0,98 d	56,10 c	14,25 c
TSS	32,10 a	1,47 cd	90,70 ab	26,69 b
TS	30,70 a	2,43 b	99,40 a	35,98 a
Controle positivo	27,48 a	1,96 bc	71,00 bc	31,37 ab
Controle negativo	36,20 a	4,03 a	78,40 abc	35,70 a
CV(%) ^d	27,05	22,79	21,06	19,99

^c Valores seguidos pela mesma letra nas colunas não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ^d CV (%) = coeficiente significativo de valores de variação do experimento. Os dados são valores médios de dois experimentos, cada um com 5 repetições (vasos) por tratamento e uma planta por replicação. PA – solo naturalmente infestado, aplicação na parte aérea; TSPA – solo naturalmente infestado, tratamento de semente e aplicação na parte aérea; S – solo naturalmente infestado, aplicação no solo; TSS – solo naturalmente infestado, tratamento de semente e aplicação no solo; TS – solo naturalmente infestado, tratamento de semente; Controle negativo – testemunha absoluta com o solo altoclavado; Controle positivo – testemunha com solo naturalmente infestado sem aplicação do produto.

O ideal é que produtos que ativem os mecanismos de defesa de plantas sejam aplicados preventivamente, pois uma planta injuriada necessita de maiores taxas metabólicas para manutenção e respiração, resultando muitas vezes em redução do seu desempenho, e conseqüentemente ocasionando uma redução do seu crescimento e da sua produtividade (FONTANA, 2019). Como foi observado nesse estudo, o tratamento que promoveu menor média de crescimento e desenvolvimento, foi o Tratamento S, que correspondeu a aplicação do ASM apenas no solo, que já estava com o patógeno presente, ou seja, a planta ao receber o indutor já havia entrado em contato com o patógeno, que possivelmente já haveria infectado a planta, podendo ser a causa de um maior índice de severidade no tratamento S. Ou seja a multiplicação do patógeno foi superior ao tempo que a planta precisou para acionar seu mecanismo de defesa.

A diferença de crescimento observada entre plantas submetidas a tratamentos com espécies fúngicas deve-se à variação da responsividade (SIQUEIRA; SAGGIN JÚNIOR, 2001), a qual é grandemente influenciada pela eficiência de cada combinação fungo-planta-ambiente (SMITH; SMITH; JAKOBSEN, 2003).

Buzi et al. (2004) avaliando o tratamento de sementes de melão com ASM contra os fungos *Sclerotinia sclerotiorum* e *Didymella bryoniae*, observaram que embora o ASM tenha conferido proteção à planta contra esses fitopatógenos, o mesmo não evitou a redução na taxa de crescimento das plântulas, corroborando assim com os resultados observados no presente trabalho.

O aumento na dose de ASM aplicadas sobre plantas de couve-flor contra *Peronospora parasitica*, também reduziu a estatura das plantas de 5,9 % para 38,3 % (GODARD et al. 1999). Heil et al. (2000) observaram redução do crescimento de plantas de Trigo, ao utilizar o ASM em dose única (150 mg i.a. L⁻¹) como indutor de resistência. Por outro lado, Cabral (2010) ao utilizar ASM em meloeiro, para combater a mancha-aquosa, observou que as plantas tratadas com o indutor foram as que apresentaram as maiores médias de CPA, MFPA e MSPA. A redução de comprometimento no desenvolvimento de parte aérea está diretamente ligada com a energia metabólica que a planta demanda para o mecanismo de defesa. Mas no presente trabalho, houve um incremento de comprimento de parte aérea, embora não tenha diferido do controle negativo.

4.3 EFEITOS DE ASM NOCONTEÚDO DE MDA, H₂O₂, ATIVIDADE DA SOD E GPOX

No presente estudo foi observado que o conteúdo de malonaldeído (MDA) em folhas de meloeiro tratadas com ASM, aumentou para os tratamentos S e TSS, quando comparadas ao controle positivo, não diferindo estatisticamente do controle negativo (Figura 1A). Os tratamentos com ASM suprimiram notavelmente o aumento do teor de MDA nas plantas de melão nos tratamentos PA, TSPA e TS, não diferindo estatisticamente dos controles.

Já o conteúdo de peróxido (H_2O_2) nos tratamentos PA e TS e no controle positivo obtiveram os maiores valores, já o tratamento S suprimiu significativamente o aumento de conteúdo de H_2O_2 , comparado aos demais tratamentos e controles (Figura 1B).

A atividade da superóxido dismutase (SOD) nas plantas tratadas com ASM nos tratamentos TSPA e S aumentou significativamente se comparado aos controles e aos demais tratamentos, sendo o tratamento S o que promoveu maior média. Os tratamentos PA, TSS e TS juntamente com os controles apresentaram uma menor atividade da SOD (Figura 1C).

A atividade da guaiacol peroxidase (GPOX) se mostrou similar a da SOD, pois as plantas tratada com ASM nos tratamentos TSPA e S também apresentaram maiores níveis da enzima, diferindo significativamente do controles e do TS. Os tratamentos PA, TSS e TS juntamente com os controles apresentaram uma menor atividade da GPOX (Figura 1D).

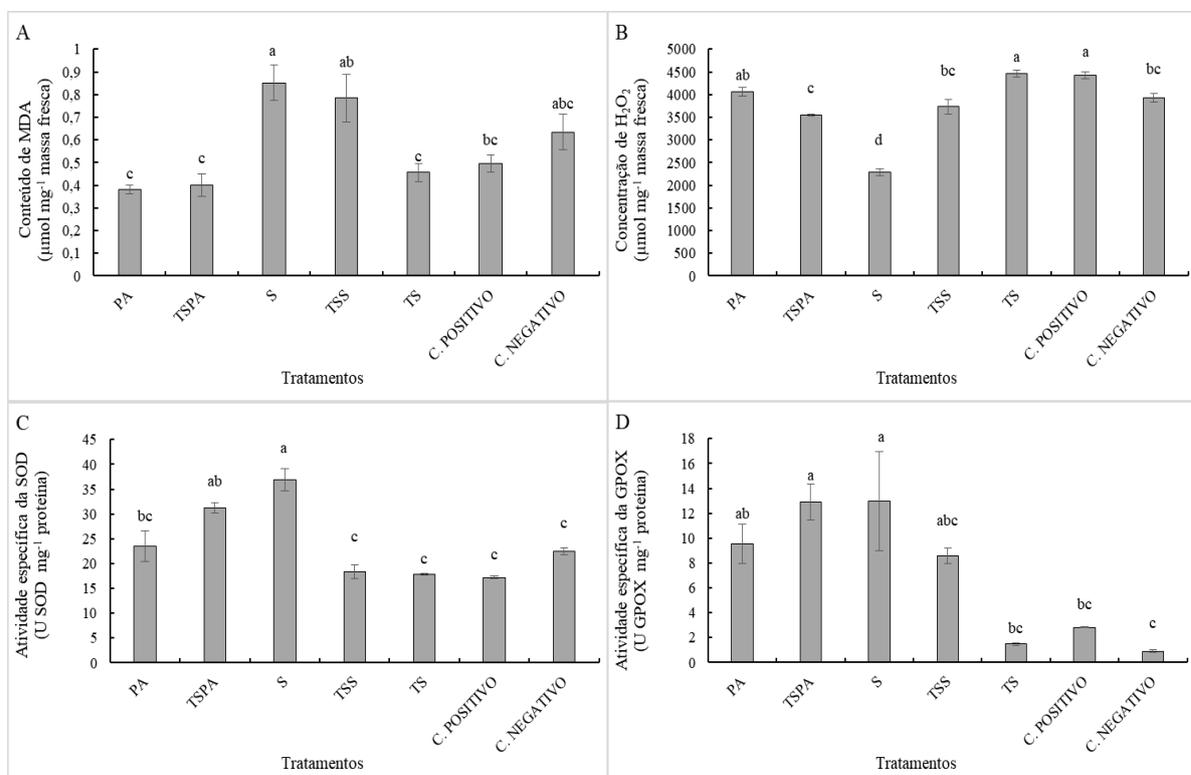


Figura 1. Conteúdo de malonaldeído (MDA) (A), concentração do peróxido de hidrogênio (H_2O_2) (B), Atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD) (C) e guaiacol peroxidase (GPOX) (D), no meloeiro em função de diferentes aplicações de ASM. PA – aplicação na parte aérea; TSPA – tratamento de semente e aplicação na parte aérea; S – aplicação no solo; TSS – tratamento de semente e aplicação no solo; TS –

tratamento de semente; Controle negativo – testemunha absoluta com o solo altoclavado; Controle positivo – testemunha com solo naturalmente infestado sem aplicação do produto.

Estresses bióticos e abióticos podem acelerar o acúmulo de ERO em frutas e vegetais (LI, et. al 2019). Porém as ERO, em determinadas concentrações, podem estar envolvidas na reticulação e lignificação das paredes celulares, devido a produção de quitinases, para resistir à infecção de fungos, induzir a síntese de fitoproteína (JIANG et al., 2017, WASZCZAK et al., 2018), desencadeando a expressão de genes de defesa como uma molécula sinal (CHEN, et. al 2019). No entanto, a superprodução de ERO pode causar senescência em frutas e vegetais (WANG, et. al 2019). Portanto, as células desenvolvem sistemas enzimáticos e não enzimáticos de eliminação de ERO, para minimizar o dano em potencial às células (FREITAS, et. al 2017, JORADOL, et. al 2019). O MDA é o produto de danos oxidativos causados na membrana lipídica e um índice significativo de peroxidação de lipídios de membrana (TAO, et. al 2019), estando diretamente relacionado aos índices de severidade e patogenicidade observados nesse estudo, onde o tratamento que apresentou a maior média para severidade foi o que apresentou o maior conteúdo de MDA, no caso o tratamento S, que obteve esse comportamento.

A enzima SOD apresenta aumento de atividade sempre que as plantas são submetidas a um ambiente estressante, como salinidade, altas temperaturas, estresse hídrico, alta intensidade luminosa, ataque fitopatogênico e ou insetos, entre outros (BROETTO et al., 2002). As plantas possuem um sistema antioxidante para minimizar o efeito do estresse oxidativo, e a enzima superóxido dismutase é integrante desse sistema (MITLER, 2002; SCANDALIOS, 2005; FELIPE et al., 2009; ALVES et al. 2021), sendo responsável por catalisar a dismutação de um radical superóxido em peróxido de hidrogênio, podendo este ser tóxico ao patógeno (RESENDE et al., 2003; MAZARO, 2007). Este estudo observou que a aplicação do ASM tanto no tratamento TSPA quanto do tratamento S, aumenta a atividade da SOD. Os resultados sugerem que a atividade aprimorada de SOD contribui para a produção de H_2O_2 em plantas de melão após os tratamentos com ASM.

No entanto, a aplicação do ASM nos tratamentos TSPA e S, suprime o acúmulo de H_2O_2 nas plantas, o que pode ser explicado devido à elevada atividade da GPOX observadas nesses tratamentos, mostrando uma correlação positiva entre essa enzima e a concentração de H_2O_2 , visto que as peroxidases são hemoproteínas que catalisam a oxidação do seu substrato simultaneamente à redução do H_2O_2 . As peroxidases participam de vários processos metabólicos essenciais incluindo a regulação do crescimento celular (GOLDBERG

et al., 1986), lignificação (GRISEBACH, 1981), oxidação fenólica, defesa contra patógenos e proteção contra estresses (TEKCHANDANI et al., 1998).

Por ser uma das ERO mais estáveis, o H_2O_2 pode exercer o papel de regular e induzir processos de aclimação, defesa, desenvolvimento, reduzindo a sensibilidade das plantas aos fatores bióticos e abióticos aos quais são expostas, dependendo das concentrações nas quais essa molécula se encontra na célula vegetal (NEILL et al., 2002; ŠLESÁK et al., 2007). Não se tratando de um radical livre, o H_2O_2 possui carga líquida nula (HALLIWELL, 2006) e, por ser uma molécula estável e capaz de difundir-se através das membranas, o H_2O_2 atua como um mensageiro secundário, induzindo a modificações proteicas e alterações na expressão gênica em plantas que estão sob condições de estresse (VRANOVÁ et al., 2002; LISZKAY et al., 2004; BIENERT et al., 2006; GONDIM et al., 2010).

Iriti e Faoro (2003) demonstram que o uso do ASM pode induzir o acúmulo de H_2O_2 sem ocasionar a morte celular levando ao fortalecimento da parede celular das plantas. Isso foi observado nesse trabalho, onde os tratamentos PA, TSS e TS apresentaram um maior acúmulo de H_2O_2 comparando-se aos demais tratamentos.

Segundo Maffi et al. (2011), a eficácia dos tratamentos com o uso de ASM após um longo período de indução, pode ser devido ao tempo necessário para que ocorra o fortalecimento da parede celular da planta, servindo como barreira que impeça a penetração do fungo *U. appendiculatus*. Rodrigues et al. (2006), aos cinco dias após a inoculação com o patógeno *Fusarium oxysporum* f. sp. *tracheiphilum*, constaram um aumento na atividade da peroxidase na cultivar IPA-206 de feijão caupi, tratados com ASM; no entanto, aos 10 dias este efeito foi verificado tanto na cultivar IPA-206 como na BR-17 Gurguéia, em resposta ao mesmo indutor. Apesar dos tratamentos TSPA e S terem apresentado uma atividade da GPOX elevada, acredita-se que se a quantidade de aplicações fosse maior, a planta iria responder mais positivamente contra o patógeno e assim conferir uma maior resistência à infecção.

Bierecka e Garraway (1978) também verificaram aumentos na atividade de peroxidase nos ferimentos mecânicos e tecidos infectados nas folhas de milho por *Helminthosporium maydis*, sendo a atividade da peroxidase percebíveis 24 horas após o ferimento. O presente trabalho demonstrou que as plantas que receberam as aplicações com ASM, indicaram uma maior expressão da atividade da GPOX, exceto no tratamento TS, que por sinal, apresentou-se semelhante ao controle negativo. Apesar do peróxido ter sido elevado nesse tratamento, a GPOX, não aumentou, denotando que outra enzima tenha atuado.

4.4 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

A partir dos resultados obtidos, pôde-se observar que o primeiro componente é o arranjo que melhor representa a distribuição dos dados, onde explica 66,03% de variabilidade, enquanto o segundo componente é perpendicular a componente principal, que explica 19,56%, totalizando 85,59%. A atividade da SOD, GPOX, a severidade e a incidência da doença são as variáveis mais associadas ao primeiro componente principal. Por outro lado, peso da raiz, principalmente o comprimento da raiz e o conteúdo de MDA, são as variáveis mais associadas ao segundo componente principal (Figura 2).

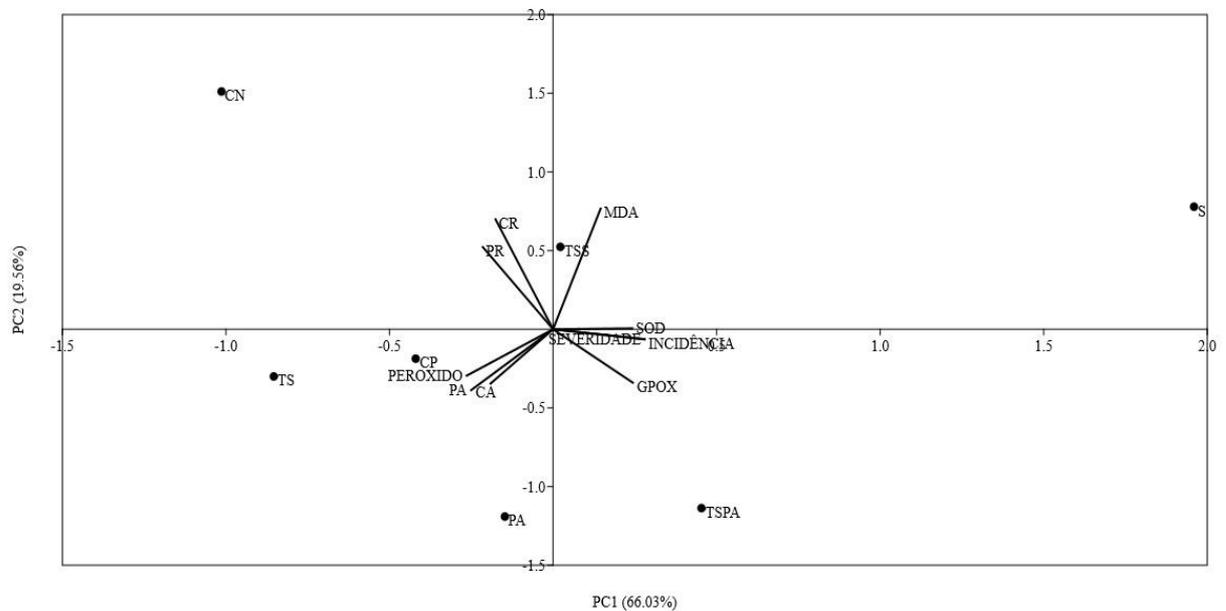


Figura 2: Análise de componentes principais. Variáveis consideradas: (H₂O₂) = peróxido de hidrogênio, (MDA) = malonaldeído, (SOD) = superóxido dismutase, (GPOX) = guaiacol peroxidase, (INC) = incidência, (SEV) = severidade, (PA) = peso da parte aérea, (PR) = peso da raiz, (CA) = comprimento da parte aérea e (CR) = comprimento da raiz.

Em relação à distribuição dos tratamentos aos componentes de resistência e patogenicidade, observou-se resultado semelhante ao observado para a análise de agrupamento. As plantas submetidas ao tratamento S tiveram maior atividade da SOD e da GPOX, porém observou-se um maior conteúdo de MDA, índice de severidade e incidência da doença elevada, e também uma taxa de crescimento e desenvolvimento reduzida (CA, PA e PR baixo), além de apresentar um baixo conteúdo de H₂O₂. As plantas submetidas ao tratamento TSPA teve maior atividade da SOD e da GPOX, e apesar de apresentar índices de incidência e severidade relativamente altos, obtiveram um baixo conteúdo de MDA. Já As plantas submetidas aos tratamentos TS e PA apresentaram maior conteúdo de peróxido, bem

como maior crescimento e desenvolvimento da parte aérea, além de apresentar os menores índices de severidade da doença (Figura 2).

5 CONCLUSÃO

O método de aplicação de ASM mais eficaz contra podridão radicular e o declínio das ramas de meloeiro foi o tratamento de sementes mais aplicação na parte aérea (TSPA), pois apesar de apresentar um dos índices de severidade mais altos, não afetou significativamente o crescimento e desenvolvimento da planta, além de apresentar um dos menores conteúdos de MDA, o que sugere uma baixa peroxidação lipídica. O tratamento TSPA também demonstrou que o ASM induziu o aumento da atividade de enzimas antioxidantes de defesa contra o estresse oxidativo, com atividade elevada das enzimas SOD e GPOX. Estes resultados são importantes, pois podem contribuir futuramente com programas de melhoramento da cultura no que tange ao desenvolvimento de medidas de controles eficazes contra doenças causadas por fitopatógenos.

REFERÊNCIAS

AEGERTER, B. J. GORDON, T. R.; DAVIS, R. M. Occurrence and pathogenicity of fungi associated with melon root rot and vine decline in California. **Plant Disease**, St. Paul, v.84, n.3, p.224-230, 2000.

AGRIOS, G.N. **Plant Pathology**. 5th ed. San Diego: Elsevier Academic Press. p.922. 2005.

AGROFIT. **Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. 2021. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 24 de Dezembro. 2021.

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**, Viterbo Itália, v. 49, n. 1, p. 20, 2010.

ALEXIEVA V, SERGIEV I, MAPELLI S, KARANOV E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Environment**, p. 1337–1344, 2001.

ALVES, R. C.; ROSSATTO, D. R.; SILVA, J. S.; CHECCHIO, M. V.; OLIVEIRA, K. R.; OLIVEIRA, F. A.; QUEIROZ, S. F.; CRUZ M. C. P.; GRATÃO P. L. Seed priming with ascorbic acid enhances salt tolerance in Micro-tom tomato plants by modifying the antioxidant defense system components. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology** v. 31, p. 1-15, 2021.

ANDRADE, C. C. L. et al. Indutores de resistência no controle da pinta bacteriana do tomateiro e na atividade de enzimas de defesa. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 28-34. 2013.

ANDRADE, D. E. G. T.; MICHEREFF, S. J.; BIONDI, C. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; SALES JUNIOR., R. Frequência de fungos associados ao colapso do meloeiro e relação com características físicas, químicas e microbiológicas dos solos. **Summa Phytopathologica**, São Paulo, v.31, n.4, p. 326-331, 2005.

ANSELMO, F. D. M.; SILVA, E. O.; FIGUEIREDO, R. W. **Conexões Ciência e Tecnologia**, v. 15, p. 01-05, 2021.

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 the leaves and roots of wild-type and a catalase deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**. p. 280–292. 1998.

BALMER, D.; PAPAJEWSKI, D. V. de; PLANCHAMP, C.; GLAUSER, G.; MAUCH-MANI, B. Induced resistance in maize is based on organ-specific defense responses. **The Plant Journal**, v. 74, p. 213-225, 2013.

BARDIVIESSO, D. M.; MARUYAMA, W. I.; PESSATO, L. E.; PEREIRA, A. C. B.; MODESTO, J. H. Adubação potássica na produção de duas cultivares de meloeiro. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 1, p. 32-40, 2015.

BARRETO, C. F.; MORENO, M. B.; SILVA, P. S.; BARBOSA, M. M.; FACHINELLO, J. C. Ácido salicílico na pós - colheita para redução de podridão parda e manutenção qualidade de pêssgo ‘chiripá’. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, Hermosillo, v. 17, n. 1, p.50-57, 2016.

BAYSAL, Ö.; SOYLU, E. M.; SOYLU, S. Induction of defence-related enzymes and resistance by the plant activator acibenzolar-S-methyl in tomato seedlings against bacterial canker caused by *Clavibacter michiganensis* spp. *michiganensis*. **Plant Pathology**, Berlin, v. 52, n. 6, p. 747-753, 2003.

BEDENDO, I. P. Podridões de raiz e colo. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (org.). **Manual de Fitopatologia**. 5ª ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres. p. 573. 2018.

BELTRÁN, R.; ARMENGOL, J.; GARCIA-JIMENEZ, J. Estudio de patogenicidad a melon de hongos del suelo causantes de colapso. **Boletín de Sanidad Vegetal Plagas**, Madrid, v.32, n.4.2, p.695-707, 2006.

BIENERT, G. P.; SCHJOERRING, J. K.; JAHN, T. P. Membrane transport of hydrogen peroxide. **Biochemistry Biophysica Acta**, v.1758, p.994-1003, 2006.

BIERECKA, H; GARRAWAY, M. Corn Leaf Isoperoxidase Reaction to Mechanical Injury and Infection with *Helminthosporium maydis*. **Plant Physiology**, v. 61, p. 561- 566, 1978.

BRADFORD, M. M. *Anal. Biochem.* 1976, 72, 248.

BROETTO, F.; LUTTGE, U.; RATAJCZAK, R.; Influence of light intensity and salt treatment on mode of photosynthesis and enzymes of the antioxidative response system of mesembryanthemum crystallinum, **Functional Plant Biology**, Victoria, v.29, p. 13-23, 2002.

BRUTON, B.D.; GÁRCIA-JIMÉNEZ, J.; ARMENGOL, J.; POPHAM, T.W. Assessment of virulence of *Acremonium cucurbitacearum* and *Monosporascus cannonballus* on *Cucumis melo*. **Plant Disease**, St. Paul, v.84, n.8, p.907-913, 2000.

BUZI, A.; CHILOSI, G.; DE SILLO, D.; MAGRO, P. Induction of Resistance in Melon to *Didymella bryoniae* and *Sclerotinia sclerotiorum* by Seed Treatments with Acibenzolar-S-methyl and Methyl Jasmonate but not with Salicylic Acid. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v.152, p.34–42, 2004.

CABRAL, Cléidio da Paz et al. Efeito de acibenzolar-S-metil, mananoligossacarídeo e bioflavonóides cítricos no controle da mancha-aquosa e no crescimento do meloeiro. **Tropical Plant Pathology**, v. 35, p. 119-123, 2010.

CAMPOS, A. D. Considerações sobre indução de resistência a patógenos em plantas. Pelotas: **Embrapa Clima Temperado**, p. 28. 2009.

CASTRO, Gabriel et al. Resistance in melon to *Monosporascus cannonballus* and *M. eutypoides*: Fungal pathogens associated with *Monosporascus* root rot and vine decline. **Annals of Applied Biology**, v. 177, n. 1, p. 101-111, 2020.

CHEN, Y. H.; HUNG, Y. C.; CHEN, M. Y.; LIN, M. S.; LIN, H. T. Enhanced storability of blueberries by acidic electrolyzed oxidizing water application may be mediated by regulating ROS metabolism. **Food Chem.** 270, 229–235. 2019.

CIA, P.; PASCHOLATI, S. F.; BENATO, E. A. Indução de Resistência no Manejo de Doenças Pós-colheita. In: RODRIGUES, F. Á; ROMEIRO, R. S da. Indução de resistência em plantas a patógenos. **Anais da III Reunião Brasileira Sobre Indução de Resistência em Plantas a Patógenos** – Viçosa, MG, 2007.

COHEN, R.; OMARI, N.; PORAT, A.; EDELSTEIN, M. Management of Macrophomina wilt in melons using grafting or fungicide soil application: pathological, horticultural and economical aspects. **Crop Protection**, v. 35, p. 58-63, 2012.

COLE, D. L. The efficacy of Acibenzolar-S-Methyl, an inducer of systemic acquired resistance, against bacterial and fungal diseases of tobacco. **Crop Protection**, Guildford, v. 18, n. 4, p. 267-273. 1999.

CONRATH, U.; GOELLNER, K. Priming: it's all the world to induced disease resistance. **European Journal of Plant Pathology**, v.121, p. 233–242, 2008.

CORDEIRO, M. C. R.; SÁ, M. F. G. de. Biotecnologia e resistência a patógenos. **Revista Biotecnologia**, v. 10, p. 34-39, 1999.

DOREY, S.; BAILLIEUL, F.; PIERREL, M. A.; SAINDRENAN, P.; FRITIG, B.; KAUFFMANN, S. Spatial and temporal induction of cell death, defense genes, and accumulation of salicylic acid in tobacco leaves reacting hypersensitively to a fungal glycoprotein elicitor. **Molecular Plant-Microbe Interaction**, St. Paul, v. 10, p. 646-655, 1997.

DURNER, J.; SHAH, J.; KLESSIG, D. F. Salicylic acid and disease resistance in plants. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 2, p. 266-274, 1997.

FELIPE, R. T. A.; OLIVEIRA, J. A.; LEÃO, G. A. Potencial de Cajanuscajan e Crotalaria spectabilis para fitorremediação: absorção de arsênio e respostas antioxidativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.2, p.245-254, 2009.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. *Ciência e Agrotecnologia (UFPA)*, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura e agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3 ed. Viçosa: UFV, 2008.

FILHO, L. R. M; GUENTHER, M. A resistência sistêmica induzida como alternativa sustentável ao uso de agrotóxicos. **Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá (PR), v.8 n. edição especial, p.27-38, 2015.

FONTANA, D. C.; KULCKZINSKY, S. M.; ZANATTA, T. P.; PINHEIRO, MARQUES, M. V.; SILVA, J. C. DA. Aplicação de acibenzolar-s-methyl em trigo no controle alternativo de *Gibberella zea*. **Revista de ciências agronômicas**, Ilha Solteira SP, v. 28, n.2, p. 138-151, 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. 2021. The agricultural production domain covers. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acessado em: 16 ago. 2021.

FREITAS, Francisco CL et al. Incidence of root rot of muskmelon in different soil management practices. 2018.

FREITAS, S. L.; RODRIGUEZ, R. M.; HOUMANI, H.; DA SILVA, L. C.; PALMA, J. M.; CORPAS, F. J. Glyphosate-induced oxidative stress in *Arabidopsis thaliana* affecting peroxisomal metabolism and triggers activity in the oxidative phase of the pentose phosphate pathway (OxPPP) involved in NADPH generation. **J. Plant Physiol.** 218, 196–205. 2017.

GARCIA, R. M. **Ajuste da combinação entre acibenzolar-s-metil e cobre no controle da mancha bacteriana e retorno econômico no tomate de mesa**. Dissertação (Mestrado em Olericultura) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano. Morrinhos, Goiás, p. 31. 2019.

GARCÍA-JIMÉNEZ, J.; ARMENGOL, J.; SALES JUNIOR., R.; JORDÁ, C.; BRUTON, B. D. Fungal pathogens associated with melon plants collapse in Spain. **EPPO Bulletin**, Paris, v.30, n.2, p.169-173, 2000.

Giannopolitis CN, Ries SK. Superoxide Dismutases: I. Occurrence in Higher Plants. **Plant Physiol.** 59: 309–314. 1977.

GODARD, J.F.; ZIADI, S.; MONOT, C.; LE CORRE, D.; SILUE, D. Benzothiadiazole (BTH) induces resistance in cauliflower (*Brassica oleracea* var *botrytis*) to downy mildew of crucifers caused by *Peronospora parasitica*. **Crop Protection**, Rotterdam, v.18, p.397- 405, 1999.

GOLDBERG, R.; IMBERTY, A.; LIBERMAN, M.; PRAT, R. Relationship between peroxidase activities and cell wall plasticity, in: GREEPIN, H.; PENEL, C.; GASPER, T. (Eds.). **Molecular and physiological aspects of plant peroxidases**. p.208-220. 1986.

GONDIM, F. A.; GOMES-FILHO, E.; LACERDA, C. F.; PRISCO, J. T.; AZEVEDO NETO, A. D.; MARQUES, E. C. Pretreatment with H₂O₂ in maize seeds: effects on germination and seedling acclimation to salt stress. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.22, 2010.

GRISEBACH, H. Lignins. in: CONN, E. E. (Ed.). **The biochemistry of plants**, New York: Academic Press. v.7, p.457-478. 1981.

GUZZO S.D.; HARAKAVA, R. Mecanismos envolvidos na resistência induzida em plantas a doenças: Sinalização e expressão de genes de defesa. In: RODRIGUES, F. A.; ROMEIRO, R.S. (Eds.) Indução de resistência em plantas a patógenos. Viçosa: **Suprema**. p. 281-301, 2007.

HALLIWELL, B. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. **Plant Physiology**. v.141, p.312-322, 2006.

HEATH RL, PACKER L. Photoperoxidation in isolated Chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Arch Biochem Biophys**, v. 125, p. 189–198, 1968.

HEIL, M.; HILPERT, A.; KAISER, W.; LINSENMAIR, K.E. Reduced growth and seed set following chemical induction of pathogen defence: does systemic acquired resistance (SAR) incur allocation cost? **Journal of Ecology**, Oxford, v.88, p.645-654, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>. Acesso em: 16 ago. 2021.

IRITI, M.; FAORO, F. Benzothiadiazole (BTH) Induces Cell-Death Independent Resistance in *Phaseolus vulgaris* against *Uromyces appendiculatus* J. **Phytopathology**, v.151, p.171–180, 2003.

IRITI, M.; MAPELLI, S.; FAORO, F. Chemical-induced resistance against postharvest infection enhances tomato nutritional traits. **Food Chemistry**.v.105, p.1040– 1046, 2007.

ISHII, H., Y. TOMITA, T. HORIO, Y. NARUSAKA, Y. NAKAZAWA, K. NISHIMURA, S. IWAMOTO. Induced resistance of acibenzolar-S-methyl (CGA 245704) to cucumber and Japanese pear diseases. *Eur. J. Plant Pathol.* 105, 77–85. 1999.

JIANG, G.; XIAO, L.; YAN, H.; ZHANG, D.; WU, F.; LIU, X.; SU, X.; DONG, X.; WANG, J.; DUAN, X. Redox regulation of methionine in calmodulin affects the activity levels of senescence-related transcription factors in litchi. *Biochim. Biophys. Acta, Gen. Subj.* 1861, 1140–1151. 2017.

JORADOL, A.; UTHAIBUTRA, J.; LITHANATUDOM, P.; SAENGNIL, K. Induced expression of NOX and SOD by gaseous sulfur dioxide and chlorine dioxide enhances antioxidant capacity and maintains fruit quality of ‘Daw’ longan fruit during storage through H₂O₂ signaling. *Postharvest Biol. Technol.* 156, 110938. 2019.

KAUR, S.; DHILLON, G. S.; BRAR, S. K.; VALLAD, G. E.; CHAND, R.; CHAUHAN, V. B. Emerging phytopathogen *Macrophomina phaseolina*: biology, economic importance and current diagnostic trends. *Critical Reviews in Microbiology*, v. 38, n. 2, p. 136-151, 2012.

KUHN, J. O.; PASCHOLATI, S. P. Custo adaptativo da resistência induzida no controle de fitopatógenos. In: RODRIGUES, F. A, ROMEIRO, R.S (Eds.) **Indução de resistência em plantas a patógenos**. Viçosa. p.69, 2007.

LAMB, C.; DIXON, R. A. The oxidative burst in plant disease resistance. *Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology*, Palo Alto, v. 48, p. 251-275, 1997.

LI, T. T.; SHI, D. D.; WU, Q. X.; ZHANG, Z. K.; QU, H. X.; JIANG, Y. M. Sodium para-aminosalicylate delays pericarp browning of litchi fruit by inhibiting ROS-mediated senescence during postharvest storage. *Food Chem.* 278, 552–559, 2019.

LISZKAY, A.; VAN DER ZALM, E.; SCHOPFER, P. Production of reactive oxygen intermediates O₂, H₂O₂, and OH by maize roots and their role in wall loosening and elongation growth. *Plant Physiology*, v.136, p.3114–3123, 2004.

LUCAS, J. A.; HAWKINS, N. J.; FRAAIJE, B. A. The evolution of fungicide resistance. *Advances in Applied Microbiology*, San Diego, v. 90, p. 29-92, 2015.

- MACAGNAN, D. Indução de Resistência e Biocontrole em Cacaueiro. In: RODRIGUES, F. Á. et al. Indução de resistência em plantas a patógenos. **Anais da III Reunião Brasileira Sobre Indução de Resistência em Plantas a Patógenos** – Viçosa, MG, 2007.
- MAFFI, D.; IRITI, M.; PIGNI, M.; VANNINI, C.; FAORO, F. *Uromyces appendiculatus* infection in bth-treated bean plants: ultrastructural details of a lost fight. **Mycopathologia**, v. 171, p. 209-221, 2011.
- MARINHO, R. E. M.; SALES JUNIOR, R.; MARACAJA, P. B.; SILVA, G. F.; COSTA, F. M. SILVA, E. C. Identificação da micoflora associada a raízes de meloeiro nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará. **Caatinga**, Mossoró v.15, n.1, p.25-28, 2002.
- MAZARO, S. M. **Indução de resistência a doenças em morangueiro pelo uso de elicitores**. Tese (Doutorado em agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 105p. 2007.
- MEDEIROS, A. C. et al. Métodos de inoculação de *Rhizoctonia solani* e *Macrophomina phaseolina* em meloeiro (*Cucumis melo*). **Summa phytopathologica**, Botucatu, v. 41, n. 4, p. 281-286, 2015.
- MITLER, R. Oxidative stress antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, v.7, p.405-410, 2002.
- MORAES, W. B. C. Controle Alternativo de Fitopatógenos. **Pesquisa Agropecuária**. Brasil, n. 27, p. 175-190. 1992.
- MULLER, N. G.; FASOLO, D.; PINTO, F. P.; BERTÊ, R.; MULLER, F. C. Potencialidades fitoquímicas do melão (*Cucumis melo* L.) na região Noroeste do Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 15, n. 2, p. 194-198, 2013.
- MUNGUÍA, M. E. G. **Seleção de acessos de feijão-fava resistentes a *Macrophomina phaseolina***. 2017. 64f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.
- MYRESIOTIS, C. K.; VRYZAS, Z.; PAPADOPOULOU-MOURKIDOU, E. Enhanced root uptake of acibenzolar-S-methyl (ASM) by tomato plants inoculated with selected *Bacillus*

plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, v. 77, n. 1, p. 26- 33. 2014.

NASCIMENTO, P. G. M. L. do. **Comunidade microbiana do solo e podridão radicular em meloeiro em diferentes sistemas de manejo**. 2015. 76f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, 2015.

NASCIMENTO, P. M. L. et al. Incidence of root rot of muskmelon in different soil management practices. **European Journal of Plant Pathology**, Holanda, v. 152, n. 2, p. 433-446, 2018.

NEGREIROS, A. M. P.; SALES JÚNIOR, R.; LEÓN, M.; DE ASSIS MELO, N. J.; MICHEREFF, S. J.; DE QUEIROZ AMBRÓSIO, M. M. et al. Identification and pathogenicity of *Macrophomina* species collected from weeds in melon fields in Northeastern Brazil. **Journal of phytopathology**, v. 167, n. 6, p. 326-337, 2019.

NEILL, S.; DESIKAN, R.; HANCOCK, J. Hydrogen peroxide signaling. *Curr. Opin. Plant Biology*, v.5, p.388-395. 2002.

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**, Amsterdam, v. 15, p.152-158, 2016.

OOSTENDORP, M.; KUNZ, W.; DIETRICH, B.; STAUB, T. Induced disease resistance in plants by chemicals. **European Journal of Plant Pathology**, v.107, n.19–28, 2001.

PASCHOLATI, S. F.; BLUMER, S.; REZENDE, D.C.; BRAND, S. C. Indução De Resistência Novos Conceitos e Aplicações. **Anais do X Simpósio de Controle de Doenças de Plantas e V Reunião Brasileira sobre Indução de Resistência em Plantas**. Lavras, MG, 2010.

PASCHOLATI, S.F.; LEITE, B. Hospedeiro: Mecanismo de resistência. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). *Manual de fitopatologia princípios e conceitos*. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1995. v.1, cap.22, p.417-454, 1995.

PAVAN, M. A.; REZENDE, J. A. M.; KRAUSE-SAKATE, R. Doenças das cucurbitáceas. In: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (org.). **Manual de fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**, São Paulo: Agronômica Ceres. p. 8-10. 2016.

PENNINCKX, I. A. M. A., K. EGGERMONT, F. R. G. TERRAS, B. P. H. J. THOMMA, G. W. DE SAMBLANX, A. BUCHALA, J.-P. ME´TRAUX, J. M. MANNERS, W. F. Broekaert Pathogen-induced systemic activation of a plant defensin gene in Arabidopsis follows a salicylic acid-independent pathway. **Plant Cell** 8, 2309–2323. 1996.

PEREIRA, R. B.; PINHEIRO, J. B.; CARVALHO, A. D. F. **Identificação e manejo das principais doenças fúngicas de meloeiro**. Brasília: EMBRAPA, 2012.

PIETERSE, C.M.J.; VAN WEES, S.C.M.; VAN PELT, J.A.; KNOESTER, M.; LAAN, R.; GERRITS, H.; WEISBEEK, P.J. & VAN LOON, L.C. A novel signaling pathway controlling induced systemic resistance in Arabidopsis. **Plant Cell**. v. 10, p.1571-80, 1998.

RESENDE, M. L. V.; SALGADO, S. M. L.; CHAVES, Z. M. Espécies ativas de oxigênio na resposta de defesa de plantas a patógenos. **Fitopatologia Brasileira**, v.28, n.2, p. 123-130, 2003.

RODRIGUES, A.A.C.; BEZERRA NETO, E. e COELHO, R.S.B. Indução de resistência a *Fusarium oxysporum* f. sp. *tracheiphilum* em caupi: eficiência de indutores abióticos e atividade enzimática elicitada. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, p. 492-499, 2006.

RODRIGUES, E. P.; TORRES, A. R.; BATISTA, J. S. D. S.; HUERGO, L.; HUNGRIA, M. A simple, economical and reproducible protein extraction protocol for proteomics studies of soybean roots. **Genetics and molecular biology**, v. 35, n. 1, p. 348-352, 2012.

ROMEIRO, R.S. **Indução de resistência em plantas a patógenos**. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV, p. 45, 1999.

RUR, M.; RÄMERT, B.; HÖKEBERG, M.; VETUKURI, R. R.; GRENVILLE-BRIGGS, L.; LILJEROTH, E. Screening of alternative products for integrated pest management of cucurbit powdery mildew in Sweden. **European Journal Plant Pathology**, v. 150, p. 127–138, 2018.

SALES JR, R.; OLIVEIRA, O. F.; MEDEIROS, E. V.; GUIMARÃES, I. M.; CORREIA, K. C.; MICHEREFF, S. J. Ervas daninhas como hospedeiras alternativas de patógenos

causadores do colapso do meloeiro. *Revista Ciência Agrônoma*, Fortaleza, v. 43, p. 195-198, 2012.

SALES JUNIOR, R.; BELTRÁN, R.; VICENT, A.; ARMENGOL, J.; GARCÍA-JIMÉNEZ, J.; MEDEIROS, E. V. Controle biológico de *Monosporascus cannonballus* com *Chaetomium*. **Fitopatologia Brasileira**, Lavras, v.32, n.1, p.70-74, 2007.

SALES JÚNIOR, R.; NASCIMENTO, I.J.B.; FREITAS, L.S.; BELTRAN, R.; ARMENGOL, J.; VICENT, A.; JIMÉNEZ, J.G. First report of *Monosporascus cannonballus* on melon in Brazil. **Plant Disease**, v.88, p. 84, 2004.

SALVIANO, A. M. et al. **A cultura do melão**. 3ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**. v. 38, p. 995-1014, 2005.

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA, DA PECUÁRIA E DA PESCA. Balança comercial do Rio Grande do Norte. 2019. Disponível em: <http://www.sape.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=169241&ACT=&PAGE=&PARM=&LBL=NOTCIA>. Acesso em: 04 mar. 2021.

SIQUEIRA, I. T. D. Indução de resistência por acibenzolar-S-metil em feijão caupi no controle da antracnose, **Summa Phytopathologica**, v. 45, n. 1, p. 76-82, 2019.

SIQUEIRA, J. O.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species. **Mycorrhiza**, New York, v. 11, n. 1, p. 245-255, 2001.

ŚLESIAK, I.; LIBIK, M.; KARPINSKA, B.; KARPINSKI, S.; MISZALSKI, Z. The role of hydrogen peroxide in regulation of plant metabolism and cellular signalling in response to environmental stresses. **Acta Biochemistry**, v.54, p.39-50, 2007.

SMITH, C.J. Accumulation of phytoalexins: defense mechanisms and stimulus response system. **The New Phytologist**, London, v.132, p.1-45, 1996.

SMITH, S. E.; SMITH, F. A.; JAKOBSEN, I. Mycorrhizal fungi can dominate phosphate supply to plants irrespective of growth responses. **Plant Physiology**, Washington, v. 133, n. 1, p. 16-20, 2003.

STASKAWICZ, B. J.; AUSUBEL, F. M.; BAKER, B. J.; ELLIS, J. G.; JONES, J. D. G. Molecular genetics of plant disease resistance. **Science**, Washington, v. 268, p. 661- 667, 1995.

STICHER, L.; MAUCH-MANI, B.; MÉTRAUX, J.P. Systemic acquired resistance. **Annual Review of Phytopathology**, v. 35 p. 235-270. 1997.

TAO, D. B.; WANG, J. W.; ZHANG, L.; JIANG, Y. G.; LV, M. 1- Methylcyclopropene alleviates peel browning of ‘Nanguo’ pears by regulating energy, antioxidant and lipid metabolisms after long term refrigeration. **Sci. Hortic.** 247, 254–263. 2019.

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*). **Plant Science**, v. 153, n. 1, p. 65-72, 2000.

TEKCHANDANI, S.; GURUPRASAD, K. N. Modulation of a guaiacol peroxidase inhibitor by UV-B in cucumber cotyledons. **Plant Science**, v.136, p.131-137. 1998.

TÖFOLI, J.G.; DOMINGUES, R. J.; FERREIRA, M.R.; GARCIA JUNIOR, O. Ação de acybenzolar-S-methyl isolado e em mistura com fungicidas no controle da requeima da batata. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.3, p.749-753, 2005.

VIECELLI, C. A. **Controle da mancha angular e análises bioquímicas de resistência em feijoeiro tratados com extrato de *Pcytoporus sanguineus***. Dissertação Mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon. 2008.

VRANOVÁ, E.; INZÉ, D.; BREUSEGEM, F. V. Signal transduction during oxidative stress. **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.1227-1236, 2002.

WANG, Y.; JI, D. C.; CHEN, T.; LI, B. Q.; ZHANG, Z. Q.; QIN, G. Z.; TIAN, S. P. Production, signaling, and scavenging mechanisms of reactive oxygen species in fruit-pathogen interactions. **Int. J. Mol. Sci.** 20, 2994. 2019.

WASZCZAK, C.; CARMODY, M.; KANGASJARVI, J. Reactive Oxygen Species in Plant Signaling. *Annu. Rev. Plant Biol.* 69, 209–236. 2018.

YAMAGUCHI, I. Activators for systemic acquired resistance. In: HUTSON, D.; MYAMAMAMOTO, J. **Fungicidal Activity**. 1. ed. New York: Wiley. 1998.

ZIMMERLI, L.; JAKAB, G.; MÉTRAUX, J.-P.; MAUCH-MANI, B. Potentiation of pathogen-specific defense mechanisms in Arabidopsis by β -aminobutyric acid. **Proceedings of the National Academy of Science USA**. v. 97, p. 12912-12925. 2000.