



**UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS**

**CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

CAICH MARTINS ROCHA

SALICILATOS NA AGRICULTURA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Rio Largo – AL

2024

CAICH MARTINS ROCHA

SALICILATOS NA AGRICULTURA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de agronomia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof. Dr^a. Vilma Marques Ferreira

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

R672s Rocha, Caich Martins.

Salicilatos na agricultura: uma revisão bibliográfica. / Caich Martins Rocha. – 2024.
53f.: il.

Orientador(a): Vilma Marques Ferreira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Graduação em Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2024.

Inclui bibliografia

1. Salicilatos. 2. Ácido salicílico. 3. Indução de resistência. 4. Estresse biótico. 5. estresse abiótico. I. Título.

CDU: 581.1

Folha de Aprovação

CAICH MARTINS ROCHA

SALICILATOS NA AGRICULTURA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao corpo docente da Universidade Federal de Alagoas–UFAL, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Agronomia. Apresentado em 19/03/2024.

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente

VILMA MARQUES FERREIRA

Data: 19/03/2024 16:39:56-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientadora: Profa. Dra. Vilma Marques Ferreira
Universidade Federal de Alagoas



Documento assinado digitalmente

MAYRA MACHADO DE MEDEIROS FERRO

Data: 21/03/2024 09:37:57-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinadora Interna: Profa. Dra. Mayra Machado de Medeiros Ferro
Universidade Federal de Alagoas



Documento assinado digitalmente

JAILMA RIBEIRO DE ANDRADE

Data: 20/03/2024 12:54:41-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinadora Externa: Profa. Dra. Jailma Ribeiro de Andrade
Universidade Estadual do Maranhão

RESUMO

Devido à sua capacidade de aumentar a resistência das plantas a diferentes tipos de estresses bióticos e abióticos, o ácido salicílico (AS) tem ganhado popularidade na agricultura. Embora seja um fitohormônio comum na fisiologia das plantas, esta substância se tornou conhecida como uma ferramenta promissora para maximizar a produção agrícola. Esta revisão destaca o papel do AS na agricultura, destacando seu uso em culturas de expressão econômica, como café, cana-de-açúcar, milho, soja e algodão. O aumento da pressão ambiental e as mudanças climáticas têm dificultado a agricultura contemporânea. Para garantir a segurança alimentar, são necessárias diferentes estratégias e a utilização de substâncias que induzem a resistência das plantas a estresses é essencial neste contexto. O AS pode ser uma solução, pois pode desencadear respostas fisiológicas completas nas plantas. Como a hipersensitiva (HR), uma forma de defesa que fornece imunidade localizada contra patógenos. Além disso, aumenta a produção de proteínas de resposta a patógenos, o que fortalece a resistência sistêmica adquirida (SAR). Assim, o AS é um aliado essencial para a modernização da agricultura, oferecendo uma maneira inovadora de aumentar as defesas naturais das plantas. A compreensão profunda de como afeta a fisiologia vegetal ajuda os agricultores a melhorar a resistência de suas culturas. Portanto, a incorporação eficaz do AS nas práticas agrícolas aumenta a produtividade e aumenta a adaptação do ecossistema agrícola.

Palavras-chave: salicilatos, ácido salicílico, indução de resistência, estresse biótico, estresse abiótico

ABSTRACT

Due to its ability to increase plant resistance to different types of biotic and abiotic stresses, salicylic acid (SA) has gained popularity in agriculture. Although it is a common phytohormone in plant physiology, this substance has become known as a promising tool for maximizing agricultural production. This review highlights the role of AS in agriculture, highlighting its use in crops of economic importance, such as coffee, sugar cane, corn, soybeans and cotton. Increasing environmental pressure and climate change have hampered contemporary agriculture. To ensure food security, different strategies are necessary and the use of substances that induce plant resistance to stress is essential in this context. AS can be a solution, as it can trigger complete physiological responses in plants. Such as hypersensitive (HR), a form of defense that provides localized immunity against pathogens. Furthermore, it increases the production of pathogen response proteins, which strengthens systemic acquired resistance (SAR). Thus, AS is an essential ally for the modernization of agriculture, offering an innovative way to increase plants' natural defenses. Deep understanding of how it affects plant physiology helps farmers improve the resilience of their crops. Therefore, effective incorporation of AS into agricultural practices increases productivity and enhances adaptation of the agricultural ecosystem.

Keywords: salicylates, salicylic acid, resistance induction, biotic stress, abiotic stress

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Biossíntese do ácido salicílico em plantas pelas vias do isocorismato e da fenilalanina amônia-liase (PAL). Adaptado de (FAGAN et al.2015). ICS: isocorismato sintase, IPL: isocorismato piruvato liase, CM: corimato mutase, BZL: benzoil-CoA ligase. BA2H: ácido benzóico 2-hidroxilase.....14

Figura 2. Fórmula estrutural da salicilina (a), do ácido salicílico (b) e do ácido acetilsalicílico (c).....15

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. METODOLOGIA	12
3. SALICILATOS.....	13
3.1. Histórico: Origem e descoberta.....	13
3.2. Propriedades e molécula química	15
3.3. Biossíntese e rota metabólica	15
3.4. Fármacos e cosméticos dermatológicos a partir do AS.....	16
4. FUNÇÕES DO ÁCIDO SALICÍLICO NAS PLANTAS	17
4.1. Mecanismos de defesa de plantas contra o ataque de agentes fitopatogênicos	17
4.1.1. Resposta Hipersensitiva (HR)	18
4.1.2. Resistência Sistêmica Adquirida (SAR)	18
4.1.3. Proteínas relacionadas à patogênese (PR-Proteínas).....	19
4.1.4. Metabolismo secundário e compostos fenólicos.....	20
5. SALICILATOS NA AGRICULTURA	22
6. ÁCIDO SALICÍLICO NA RESPOSTA AOS ESTRESSES ABIÓTICOS E BIÓTICOS.....	23
6.1. Estresses abióticos.....	23
6.1.1. Estresse hídrico	24
6.1.2. Estresse salino	25
6.1.3. Fitotoxicidade de herbicida	26
6.1.4. Estresse térmico	27
6.2. ESTRESSES BIÓTICOS	28
6.2.1. Bactérias fitopatogênicas	28
6.2.2. Fungos fitopatogênicos	29
6.2.3. Virus fitopatogênicos	30
7. OUTROS EFEITOS FISIOLÓGICOS.....	31
8. FORMAS DE APLICAÇÃO E DOSAGEM NA AGRICULTURA.....	32
8.1. Foliar.....	32
8.2. Sementes.....	33
9. APLICAÇÃO DE ÁCIDO SALICÍLICO EM CULTURAS DE RELEVÂNCIA ECONÔMICA	34
9.1. Café.....	34
9.2. Cana de Açúcar	35
9.3. Milho	35
9.4. Soja.....	37
9.5. Algodão	38
10. CONCLUSÕES.....	40
11. REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro, com sólida base e notório progresso, permanecerá fundamental para suprir a demanda global por alimento, além de influenciar diretamente na geração de empregos e no desenvolvimento socioeconômico em toda a cadeia produtiva. Em 2022, contribuiu com 24,8% do PIB do Brasil, o qual vem se consolidando como potência global na produção agrícola (MAPA, 2023), destacando a importância contínua do setor na economia. A prática sustentável é crucial para aumentar a produção de alimentos, melhorar a segurança alimentar e garantir o fornecimento para as gerações presentes e futuras (PAULO, 2021).

Devido ao constante aumento da população mundial, e inevitavelmente, a necessidade de se produzir mais alimento, se faz necessário entender os mecanismos e alcançar o máximo potencial fisiológico das plantas, para suportar as pressões de pragas, doenças e intempéries climáticas, buscando aliar alta produtividade com sustentabilidade, em detrimento do uso excessivo de insumos químicos (SILVA, 2020).

As plantas desenvolveram mecanismos adaptativos e de resistência contra condições adversas, sejam de origem bióticas ou abióticas. O sistema de defesa vegetal é versátil, agindo de forma eficiente e coordenada em resposta a diferentes estresses. Quando ocorre o contato com agentes patogênicos, há duas interações possíveis: a compatível, em que a planta suscetível não apresenta resistência, e a incompatível, em que o organismo hospedeiro ativa respostas de defesa (SOMSSICH; HAHNBROCK, 1998; GARCIA-BRUGGER et al., 2006).

A rapidez com que a planta identifica a existência do agente patogênico influencia o intervalo de tempo para a ativação da resposta à invasão, induzindo uma ou mais respostas de defesa. Essas respostas de defesa são conhecidas como: resposta hipersensitiva (HR), resistência sistêmica adquirida (SAR), indução de proteínas relacionadas à patogênese (PR-Proteínas) e compostos sinalizadores, como por exemplo, ácido salicílico (AS) e peróxido de hidrogênio, que desempenham um papel fundamental na sobrevivência e perpetuação de espécies vegetais. Estes mecanismos são sucessivos eventos e sinais que se

iniciam no reconhecimento pela planta com o contato à fatores abióticos ou organismos patogênicos (FREITAS et al., 2009).

O AS é um fitohormônio de natureza fenólica sintetizado nas plantas (SEYFFERTH; TSUDA, 2014) e seu uso exógeno, ou do seu derivado Ácido acetil salicílico (AAS), tem ação elicitora, e suas propriedades sugerem envolvimento na indução de resistência sistêmica adquirida (SAR) (CHEN; SILVA; KLESSIG, 1993). A ativação de mecanismos de defesa, regula hormônios, ativa enzimas antioxidantes, entre outros processos bioquímicos (DONG; WAN; LIANG, 2010; ARNAO; HERNÁNDEZ-RUIZ, 2018).

Elictores são moléculas naturais ou sintéticas que ativam as respostas de defesa nas plantas, reconhecidas por proteínas transmembranas receptoras (NÜRNBERGER, 1999; MONTESANO; BRADER; PALVA, 2003). As espécies reativas de oxigênio (EROs) e fitohormônios como AS, ácido jasmônico e etileno desempenham papel crucial nessa sinalização da modulação do sistema de defesa das plantas em reação a condições de estresse (PIETERSE et al., 2009; WU; BALDWIN, 2010; BAXTER; STEWART JR, 2013).

Tanto o AS, quanto o AAS podem induzir a produção de, pelo menos, 5 grupos de proteínas relacionadas à patogenicidade, ou seja, as mesmas proteínas que são sintetizadas por ataque de pragas e doenças, como a chiquinase e a β -1,3 glucanase, mesmo na ausência do patógeno (FARIAS, 2012).

Estes grupos de proteínas, possuem funções específicas e fundamentais no processo de ativação de defesa das plantas. As chiquinases desempenham o papel de receptora dos estímulos adversos às plantas, transmitindo esses sinais para as células, ativando genes de resistência, produção de fitoalexinas, reforço da parede celular, até mesmo a morte programada de células infectadas. Enquanto a β -1,3 glucanase está relacionado à degradação celular, impedindo o desenvolvimento do patógeno (TAIZ et al., 2017).

De acordo com RASKIN (1992), a resistência a patógenos em plantas pode ser induzida por AS, mesmo na ausência de patogenicidade de organismos, pois alguns de seus efeitos em plantas também estão associados com a atenuação de sintomas da doença.

Com o propósito de aprimorar estratégias visando a sustentabilidade agrícola e aprimorar o desempenho das plantas diante de estresses bióticos e

abióticos, torna-se crucial a exploração das informações disponíveis acerca da participação do AS na promoção da tolerância das plantas. Esta revisão, analisa de maneira crítica o papel do AS em plantas submetidas às principais condições de estresse biótico e abiótico. São abordados de maneira integrada os potenciais mecanismos que regem a tolerância das plantas ao estresse induzido por AS, com ênfase nas principais culturas de interesse econômico.

2. METODOLOGIA

Esse estudo foi fundamentado em uma metodologia de pesquisa bibliográfica, de cunho qualitativo, pontuando os levantamentos para a dissertação das compreensões em livros, revistas e artigos que ressaltam a temática que envolve esse trabalho.

Os trabalhos foram encontrados nas bases de dados SciELO, PubMed e Google Acadêmico, utilizando as palavras chaves salicilatos, ácido salicílico, indução de resistência, estresse biótico, estresse abiótico. Um total de 192 artigos foram incluídos observando pesquisas e testes realizados acerca do AS.

3. SALICILATOS

3.1. Histórico: Origem e descoberta

Apesar do uso recente dos salicilatos em seu amplo espectro na sociedade, a análise da perspectiva histórica da salicilina, sua forma condensada, começa na antiguidade (1850 a.C.), quando egípcios e sumérios utilizavam extrato de casca e folhas de salgueiro (*Salix alba*) para aliviar diferentes tipos de febres e dores, relatado no *Papiro de Ebers* do Egito, um dos mais antigos e preservados textos médicos (JACK, 1997; LÉVESQUE; LAFONT, 2000; DIOGO et al., 2008).

Na china antiga, há mais de dois mil anos, as propriedades de brotos de salgueiro (*Salix babylonica* L.) eram utilizadas no tratamento de pacientes reumáticos e resfriados, com hemorragias e inflamação na tireoide, e como antisséptico geral para feridas e abscessos (LAFONT, 2007; DIOGO et al., 2008)

Hipócrates (460-370 a.C.), médico e filósofo grego, recomendou o uso da casca de salgueiro para alívio de dores e diminuição da febre (GROSS; GREENBERG, 1948; BRAÑA; SALAZAR, 2005; SANDOVAL; LOMBA, 2007). Ele também prescreveu uma infusão de folhas de salgueiro para aliviar as dores do parto (VANE, 2000; MAHDI et al., 2006; GRAND, 2018).

No entanto a primeira descrição científica das folhas de salgueiro, ocorreu de forma acidental pelo reverendo Edward Stone, de Chipping Norton, no condado de Oxford, Reino Unido em 1763. Ao provar a folha, o reverendo associou o gosto amargo a planta Peruvian, rica em quinino, que era utilizada para tratar os pacientes com febre e malária (STONE, 1763; PIERPOINT, 1997 ; DIOGO et al., 2008).

Posteriormente, Stone descreveu os resultados de um estudo clínico, tratando pacientes que sofriam de malária (febre, geralmente considerada malária) com pó de casca de salgueiro em um gole de água. Stone coletou cerca de meio quilo de casca de salgueiro branco (*Salix alba*), que secou e transformou em pó. Ele, então, administrou o pó em chá na dosagem de 20 grãos (aproximadamente 1 grama a cada quatro horas) e estudou sua ação em 50 pessoas com febre (STONE, 1763; JACK, 1997; LÉVESQUE; LAFONT, 2000).

Stone baseou sua teoria na “Doutrina das Assinaturas”, a qual diz que muitas doenças naturais carregam consigo suas curas, e que elas não estão longe de suas causas. Nesse caso específico, o salgueiro encontrava-se sempre em solos baixos, úmidos e frios, com suas raízes alagadas sem sofrer nenhum distúrbio. Este habitats apresentam condições análogas para os miasmas reumáticos e relacionadas a doenças causadas pela umidade, ao longo dos anos, nos pés (JACK, 1997; LAFONT, 2007).

A publicação do reverendo Edward Stone incitou químicos a identificar e isolar o princípio ativo da casca do salgueiro, e em 1828, o alemão John A. Buchner, removeu os taninos e obteve uma substância amarelada, que chamou de salicina (MAHDI et al., 2006).

Em 1829, o farmacêutico francês Henri Leroux aperfeiçoou o procedimento de extração de salicina, obtendo-a de forma cristalina, cerca de 30 gramas extraídos de 1,5 kg da casca original do salgueiro. Já em 1838, o químico italiano Raffaele Piria promoveu a quebra das moléculas de salicina em um açúcar e um aromático (salicilaldeído), e converteu posteriormente, por hidrólise e oxidação, em um ácido cristalizado incolor, o qual chamou de ácido salicílico (JACK, 1997; GRIPPE, 2016).

Kolbe e Lautmann desenvolveram a metodologia para sintetizar ácido salicílico a partir de fenol, e essa substância veio a ser utilizada como antitérmico pela sociedade. A síntese laboratorial desse composto teve início em meados de 1890, com algumas complicações como baixa tolerância, irritação gástrica e pouco palatável, por ser muito amargo. A partir desse gosto amargo, foi descoberta a tão famosa Aspirina (VIEGAS, BOLZANI, BARREIRO, 2006)

Os avanços na ciência e tecnologia provocaram profundas transformações sociais e comerciais, culminando na Revolução Industrial do século XIX. Um marco crucial para o desenvolvimento de medicamentos a partir de produtos naturais de plantas foi a descoberta dos salicilatos obtidos do salgueiro branco (*Salix alba*), com destaque para a salicina e o ácido salicílico (VIEGAS, BOLZANI, BARREIRO, 2006).

Em 1897, Felix Hofmann, enquanto buscava uma cura para a artrite que afligia seu pai, descobriu o ácido acetil-salicílico (AAS). Esse composto, menos ácido do que o ácido salicílico, manteve a propriedade analgésica desejada. No mesmo ano, a Bayer lançou o primeiro fármaco sintético, o ácido acetil salicílico

(aspirina), inspirado na salicina, um glicosídeo natural isolado do salgueiro branco (*Salix alba*) (COSTA, 2009).

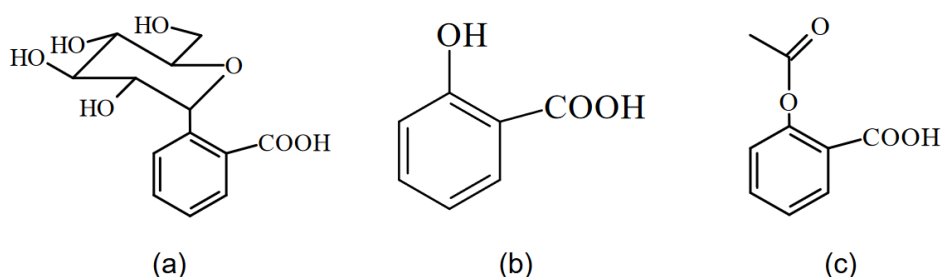
Somente em 1971, John Vane desvendou a rota metabólica da aspirina, que atua inibindo a produção de prostaglandinas pela bioquantização da ciclo-oxigenase, rendendo ao pesquisador o Prêmio Nobel em 1982 (OATES, 1982).

Além de aliviar os sintomas de febre e dor de cabeça, o AAS teve um impacto significativo na mentalidade e cultura de toda uma geração. Durante a Primeira Guerra Mundial, a aspirina foi altamente valorizada, inclusive, estava entre os medicamentos que viajou à lua, com os primeiros astronautas. (GRIPPE, 2016).

3.2. Propriedades e molécula química

O ácido salicílico (ácido 2-hidroxi-benzóico) é um beta-hidróxi ácido que possui fórmula molecular $C_6H_4(OH)COOH$ e massa molar de $138,12 \text{ g mol}^{-1}$. Sua fórmula estrutural está representada na Figura 1. Ele é encontrado na forma de pó cristalino de cor branca, é pouco solúvel em água e muito solúvel em etanol e éter (SÁ, 2006).

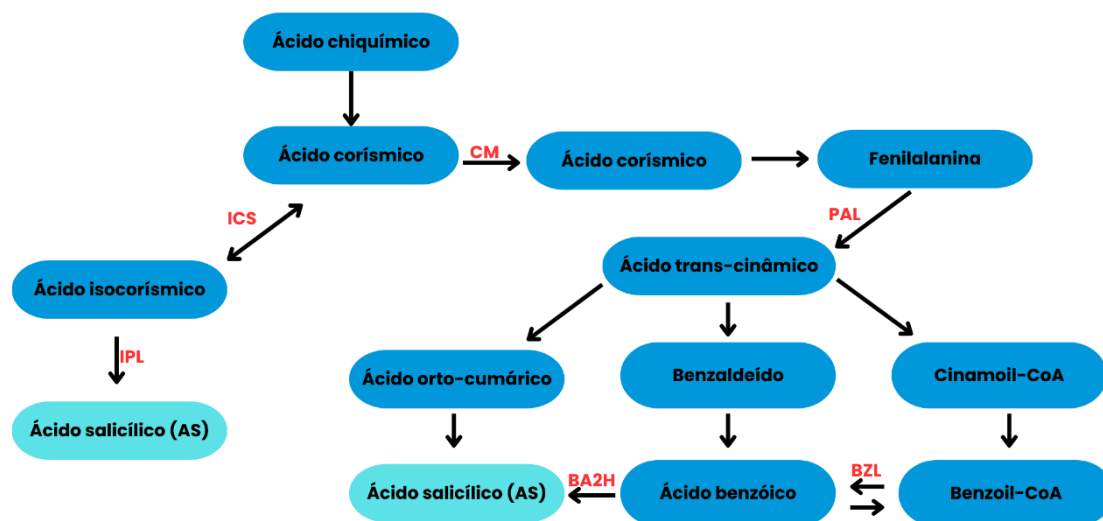
Figura 1. Fórmula estrutural da salicilina (a), do ácido salicílico (b) e do ácido acetilsalicílico (c).



3.3. Biossíntese e rota metabólica

Estudos mostram que existem duas rotas para a síntese do AS, sendo a principal dependente da fenilalanina e a outra do isocorismato, ambas derivando diretamente da rota do ácido chiquímico, tendo como precursor direto o corismato (FAGAN et al.2015) (Figura 2).

Figura 2: Biossíntese do ácido salicílico em plantas pelas vias do isocorismato e da fenilalanina amônia-liase (PAL). Adaptado de (FAGAN et al.2015). ICS: isocorismato sintase, IPL: isocorismato piruvato liase, CM: corismato mutase, BZL: benzoil-CoA ligase. BA2H: ácido benzóico 2-hidroxilase.



Fonte: Adaptado de Fagan et al. 2015

A biossíntese deste fitohormônio ocorre pela rota metabólica denominada de chiquimato, onde são produzidos dois possíveis precursores para a sua biossíntese. O isocorismato, que pode ser diretamente transformado em ácido salicílico, bem como o aminoácido fenilalanina, que primeiramente é transformado para a formação deste fitohormônio (FAGAN et al.2015).

Ainda no processo de biossíntese, tem-se a formação de moléculas intermediárias que são utilizadas para a produção de outros compostos, como por exemplo, o ácido trans-cinâmico que ativa a produção do AS pela via do ácido cumárico, mas também serve como precursor para a formação de compostos fenólicos (KLAMBT et al., 1962).

3.4. Fármacos e cosméticos dermatológicos a partir do AS

A Aspirina®, o medicamento mais amplamente utilizado em todo o mundo, é um analgésico (que alivia dores) e antipirético (que reduz a febre), além de possuir propriedades anti-inflamatórias. Ela representa um notável exemplo de como um simples chá caseiro pode evoluir para um medicamento sintético, graças aos avanços nas pesquisas sobre seu princípio ativo (BRAÑA; SALAZAR, 2005).

Baseia-se numa molécula simples com grupos multifuncionais tornando-a capaz de várias interações químicas com moléculas biológicas. Portanto, possui

uma gama de atividades farmacológicas, como anti-inflamatório, antipirético, antirreumático, antídoto, analgésico e com propriedades antissépticas, tornando-se o medicamento de venda livre mais comum (MAHDI et al., 2006).

Os salicilatos têm, entre outras, ação analgésica, anti-inflamatória e antipirética (BRAÑA; SALAZAR, 2005). Além disso, a aspirina, em doses relativamente altas (5–20 mM), demonstrou ter potencial inibidor da proliferação celular em várias populações de células cancerígenas. Essas doses, no entanto, podem ter diversos efeitos e, portanto, limitar o potencial anticancerígeno direto (MAHDI et al., 2006).

O AS é muito usado como agente de terapia externa (agente queratolítico) em tratamentos dermatológicos, sendo um dos princípios ativos empregados em formulações esfoliantes que têm como objetivo produzir uma lesão controlada na pele, para a remoção de rugas, verrugas, calos e acne. O AS também é eficiente no tratamento de infecções fúngicas superficiais (SÁ, 2006; FERREIRA et al., 2011).

4. FUNÇÕES DO ÁCIDO SALICÍLICO NAS PLANTAS

4.1. Mecanismos de defesa de plantas contra o ataque de agentes fitopatogênicos

Embora as plantas apresentem hábitos imóveis sobre o solo, ou seja, passam todo seu processo fisiológico fixada no mesmo lugar de origem, estas não estão desprotegidas frente a ataques de pragas, doenças e intempéries. As plantas possuem mecanismos de defesas, que são ativadas após recorrentes sinais exógenos, sejam eles bióticos ou abióticos. Entre as estratégias de defesa empregadas pelas plantas, destacam-se a resposta hipersensitiva (HR), a resistência sistêmica adquirida (SAR), a indução de proteínas relacionadas à patogênese (PR-Proteínas) e o uso de compostos sinalizadores, como o ácido salicílico e o peróxido de hidrogênio. Esses mecanismos desempenham papéis cruciais na proteção das plantas contra patógenos e estresses ambientais. (Fernandes et al., 2009).

4.1.1. Resposta Hipersensitiva (HR)

Plantas dotadas de resistência a doenças, limitam a infecção por agentes fitopatogênicos (fungos, oomicetos, bactérias, nematoides e vírus) de maneira rápida e localizada, na área ao redor do ponto de penetração inicial, onde se manifesta uma lesão necrótica, que impede a propagação do patógeno. Esta atividade fisiológica defensiva é denominada reação de hipersensibilidade ou resposta hipersensitiva (HR) (RASKIN, 1992).

A HR envolve uma série de eventos e sinais, desde o reconhecimento entre o patógeno e o hospedeiro até o colapso celular localizado na planta. Ela representa a primeira etapa da resposta de defesa da planta, seguida por outras alterações, mediadas pelo AS, tanto no sítio de infecção quanto em toda a planta. Além disso, em resposta à infecção, ocorrem outras mudanças paralelas, como o aumento da expressão da fenilalanina amônia liase (PAL), a deposição de lignina e o aumento dos níveis de ácido salicílico. (VERBENE et al., 2000).

4.1.2. Resistência Sistêmica Adquirida (SAR)

Um mecanismo crucial nesse contexto é a Resistência Sistêmica Adquirida (SAR). Uma estratégia utilizada pelas plantas é a síntese de proteínas de resistência, que reconhecem a presença do patógeno e induzem a resposta de defesa. Após uma infecção localizada, a SAR permite que a planta desenvolva uma resistência duradoura em toda sua estrutura, conferindo-lhe a capacidade de enfrentar eficientemente infecções subsequentes.

Após sofrerem injúrias, as plantas liberam metil salicilato, um derivado volátil do ácido salicílico. Esse composto pode ser percebido por plantas vizinhas da mesma espécie, induzindo-as a ativar seus mecanismos de defesa. Os principais mecanismos de defesa envolvidos na SAR incluem a lignificação da parede celular e a produção de proteínas relacionadas à patogênese, como as quitinases e as β -1-3-glucanases (Fernandes et al., 2009).

Para que ocorra a SAR, a infecção inicial deve levar à formação de lesões necróticas, a partir da HR, que podem ser causadas pelo acúmulo de peróxido de hidrogênio ou podem se manifestar como sintomas da doença. (SHORESH; HARMAN; MASTOURI, 2010; BANDAY; NANDI, 2015; HAMMOND-KOSACK; JONES, 2000).

Foi evidenciado que a aplicação exógena de ácido salicílico desencadeou a SAR e promoveu a expressão coordenada de genes SAR em plantas, o que gera significativa redução nos sintomas de doenças, conforme observado por Tannuri et al. (2021). Além disso, notou-se que o AS é sintetizado localmente nas plantas em locais de infecção por patógenos ou após o tratamento com indutores de resistência. Essa síntese também foi detectada no floema e em folhas não sujeitas a tratamento (GUICHARD et al, 2022)

Pesquisas conduzidas em plantas de tabaco e *Arabidopsis* demonstraram que o ácido salicílico desempenha um papel crucial na indução de respostas de resistência tanto a nível local quanto sistêmico. Além disso, foi observado seu envolvimento na transdução do sinal sistêmico no âmbito na SAR (GAFFNEY et al., 1993; LAWTON et al., 1995; MÉTRAUXS, 2001).

Plantas geneticamente modificadas que apresentam o gene *NahG*, responsável pela codificação da enzima salicilato hidroxilase, a qual facilita a conversão do AS em catecol, exibem uma rápida degradação do ácido salicílico. Essas plantas não manifestam competência na indução de um estado imunológico e demonstram uma maior suscetibilidade a fitopatógenos (GAFFNEY et al., 1993; LAWTON et al., 1995).

Outros estudos que empregaram diversos mutantes de *Arabidopsis* também sustentam a relevância do AS na ativação da SAR (RIGAULT et al, 2021; SPOEL; DONG, 2024). No entanto, investigações conduzidas mediante diferentes configurações de enxertia em plantas de fumo transgênicas que apresentam a expressão do gene *NahG*, em comparação com plantas não modificadas geneticamente, revelaram que o AS não atua como o sinal translocado desencadeador da SAR em outras regiões da planta. Apesar disso, sua presença é essencial para a manifestação da resistência induzida, conforme indicado por Métraux (2001) e Ryals et al. (1996).

4.1.3. Proteínas relacionadas à patogênese (PR-Proteínas)

A contribuição do ácido salicílico na manifestação da resistência sistêmica é insinuada em virtude de sua habilidade para estimular a síntese e acúmulo de proteínas relacionadas a patogênese (PR-Proteínas) (KESSMANN et al., 1994).

O papel fisiológico primordial atribuído ao AS nas plantas reside em sua capacidade de atuar como uma molécula sinalizadora. Essa função impulsiona

a planta a manifestar resistência contra predadores, uma resposta que se torna evidente pelo acúmulo de AS em plantas sujeitas a condições adversas, seja devido a ataques patogênicos ou ao tratamento da planta com elicitores químicos. A evidência dessa função é corroborada pela capacidade do AS em induzir a expressão de genes associados a diversas PR-Proteínas, conforme documentado por Martinez et al. (2000).

Conforme descrito por Campos (2009), o AS, um elicitor, desempenha o papel de um mensageiro que desencadeia a ativação da resistência contra patógenos. Isso ocorre por meio da indução da síntese das proteínas-PR, acompanhadas pela expressão de quitinases e β -1,3-glucanases. Essas enzimas são responsáveis pela degradação de polissacarídeos estruturais presentes na parede celular de fungos, resultando em alterações na sua arquitetura. Este processo compromete o desenvolvimento do microrganismo, inibindo seu crescimento, conforme descrito por Zareie et al. (2002).

Além disso, o ácido salicílico atua na ativação da fenilalanina amônia-liase, uma enzima crucial na interseção entre o metabolismo primário e secundário. Esta enzima está envolvida na via dos fenilpropanoides, contribuindo para a produção de compostos no âmbito do metabolismo secundário (DURRANT; DONG, 2004).

A administração externa de ácido salicílico em diversas espécies vegetais, como tomateiro e morangueiro, resultou na ativação da expressão gênica de Proteínas-PR em locais distantes da área de aplicação do agente indutor. Este fenômeno sugere que o ácido salicílico desempenha um papel como mediador na indução da Resistência Sistêmica Adquirida (SAR). A SAR representa uma forma de resistência provocada que amplifica a capacidade de defesa das plantas contra infecções e ataques subsequentes de fitopatógenos (AUDENAERT et al, 2002; KIM; LIM, 2023).

4.1.4. Metabolismo secundário e compostos fenólicos

As plantas sintetizam uma ampla gama de compostos químicos, categorizados como metabólitos primários e secundários (BORGES; AMORIM, 2020). Os compostos metabólicos secundários manifestam uma elevada especificidade e desempenham um papel significativo na evolução e interação biológica das plantas. Em sua maioria, esses metabólitos são categorizados em

terpenos, compostos fenólicos e nitrogenados. Os compostos fenólicos de origem vegetal desempenham uma função vital como defesa contra estresses ambientais, como luminosidade intensa, temperaturas baixas, infecções por patógenos, herbivoria e deficiência nutricional. Essas condições podem levar ao aumento de radicais livres e espécies oxidativas nas plantas (CHALKER-SCOTT; FUCHIGAMI, 2018).

O AS é reconhecido como um agente indutor do metabolismo secundário, sendo frequentemente citado como um estímulo para a síntese de compostos relacionados à resposta de defesa das plantas. Esta associação é comumente correlacionada ao incremento na produção de substâncias pertencentes ao metabolismo secundário. (BARI; JONES, 2009; GLAZEBROOK, 2005; VOGT, 2010).

A relevância do AS na modulação da resposta das plantas a estresses bióticos e na regulação do metabolismo secundário pode ser corroborada pela sua capacidade comum de aumentar em mais de duas vezes o conteúdo de fenólicos solúveis. Estes compostos são tipicamente induzidos na presença de patógenos e abrangem uma diversidade ampla de substâncias, tais como compostos fenólicos e seus derivados, lignina solúvel, fenilpropanóides, flavonoides, fitoalexinas, terpenóides, entre outros (KARABOURNIOTIS et al., 2014).

Em uma pesquisa envolvendo a aplicação de AS em *Brachypodium distachyon*, uma gramínea utilizada como modelo para plantas do tipo C3, observou-se um incremento nos níveis de compostos fenólicos foliares. Além disso, constatou-se uma alteração na composição química da parede celular, resultando no aumento da resistência da parede celular (NAPOLEÃO, 2015).

O incremento na concentração de compostos fenólicos totais é uma observação frequentemente mencionada em pesquisas que empregaram o AS como agente elicitor (KOVÁČIK et al., 2009; MISRA et al., 2014; TEIXEIRA et al., 2019)

4.1.5. Teor de clorofilas e carotenoides

Os pigmentos de clorofilas desempenham papel crucial na absorção de energia luminosa em organismos fotossintéticos (TAIZ et al., 2017). Com isso, o incremento nos níveis de clorofila está associado a uma maior produção de energia nas plantas. Em um estudo conduzido por Hegazi; El-Shrayi (2007), a aplicação foliar de ácido salicílico na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*) com uma concentração de 0,01 mM resultou na redução dos teores de clorofila a, clorofila b e clorofila total. De maneira contrária, Gorni (2015) observou um aumento significativo nos níveis de clorofila a em plantas de milfolhas (*Achillea millefolium* L.) quando submetidas a concentrações de 0,25 mM e 1,0 mM de AS, em comparação com o grupo controle. Além disso, verificou-se um aumento significativo nos níveis totais de clorofila na concentração de 1,0 mM, enquanto não foram observados resultados significativos para a clorofila b.

Uma diminuição na concentração de clorofila nas folhas de cevada foi observada após a administração de AS, conforme relatado por Pancheva et al. (1996). Da mesma forma, a aplicação foliar de ácido salicílico induziu uma diminuição na quantidade de clorofila em *Vigna mungo* (ANAND; RAMANUJAM, 1997).

Alguns estudos foram conduzidos utilizando AS em contextos de estresse salino. A administração de AS em plantas de grão-de-bico (POPOVA et al., 2009), girassol (MAHDAVIAN, 2017a), cevada (MAHDAVIAN, 2017b) e feijão (AHMAD et al., 2018) resultou em um aumento na concentração de clorofila em condições salinas. Contudo, as plantas submetidas ao tratamento com AS demonstraram um aumento significativo no peso seco e fresco de caules e raízes, além de uma elevação nos níveis de clorofila durante o estresse salino (AHMAD et al., 2018). Observou-se que o tratamento com AS conduziu a um aumento nos teores de carotenoides e nas concentrações de clorofila a e b sob a influência do estresse causado por NaCl (AHMAD et al., 2018).

5. SALICILATOS NA AGRICULTURA

Os primeiros estudos fisiológicos e bioquímicos da aplicação de AS em plantas foi estabelecido em 1987, por Raskin (1992), onde foi conduzido um trabalho de termogênese e o seu desempenho como regulador endógeno.

Os salicilatos pertencem à classe dos compostos fenólicos, sendo um ácido orgânico. Os representantes endógenos são a salicílina e o ácido salicílico (AS), enquanto os representantes sintéticos são o ácido acetilsalicílico e o ácido metil-salicílico. (FAGAN et al, 2015)

Os ataques às plantas ocorrem a todo tempo e são um dos maiores limitantes da produção agrícola no Brasil e no mundo. O entendimento deste mecanismo é de fundamental importância para a agricultura, que busca a melhoria na produção de alimentos de origem vegetal, com a concomitante diminuição do uso de agrotóxicos danosos ao meio ambiente em vários de seus níveis tróficos (FREITAS et al., 2009; FERNANDES et al., 2020).

O AS é altamente móvel nas plantas, funcionando como um mensageiro interno natural das plantas, atua na proteção de partes não abrangidas por aplicações foliares, como por exemplo, fornecido via fertirrigação. Sua vida dentro da planta é muito curta para ser imobilizada nas paredes das células, tornando-se necessário reaplicações constantes. (USAID-RED, 2006).

Importante salientar que o AS não atua diretamente no controle de pragas e doenças, é apenas uma ferramenta que pode ser incluída no manejo integrado, com o objetivo de potencializar ação de defensivos químicos. Posicionado sempre de forma preventiva, antecipando o sistema de defesa das plantas, caso houver presença desses organismos fitopatogênicos, a planta já está imunizada. (USAID-RED, 2006).

Assim como o AS entra como um aliado no manejo de pragas e doenças nos cultivos agrícolas, deve-se estar alinhando também com o manejo nutricional, visto que, a planta necessita estar nutrida e com reservas energéticas armazenadas para assimilar o AS, do contrário, o AS pode debilitar mais ainda uma planta desequilibrada. (USAID-RED, 2006).

6. ÁCIDO SALICÍLICO NA RESPOSTA AOS ESTRESSES ABIÓTICOS E BIÓTICOS

6.1. Estresses abióticos

Diversas alterações climáticas podem incitar a síntese e promover aumento na concentração de salicilatos nos vegetais, como resposta às injúrias causadas. Dentre os fatores, pode-se mencionar: temperaturas elevadas, déficit

hídrico, salinidade, metais pesados, temperatura e poluição atmosférica (HOLOPAINEM; GERHERZON, 2010; KOO et al, 2020).

O AS desempenha um papel crucial na planta contra o estresses abióticos, pois participa ativamente na modulação de processos fisiológicos fundamentais, incluindo fotossíntese, metabolismo de nitrogênio e prolina, síntese de glicina betaina, maior atividade de eliminação de EROs, e interações planta-água(regulação osmótica) (KHAN et al., 2010; MIURA; TADA, 2014).

6.1.1. Estresse hídrico

O emprego do AS tem se destacado devido à sua capacidade de mitigar o estresse hídrico em plantas. Este composto, desempenha a função de regulador no desenvolvimento vegetal, atenuando os efeitos adversos provocados por escassez de água, que causam transpiração dificultada, murcha e diminuição de produtividade , conforme descrito por Taiz et al. (2017) e Song et al. (2023).

Além disso, os efeitos resultantes da aplicação desse ácido, estão atribuídos ao aumento da capacidade antioxidante da planta e à redução nos níveis de peroxidação de lipídeos, promovendo assim a estabilidade das membranas (AGARWAL et al., 2005). Adicionalmente, observa-se um aumento no acúmulo de biomassa (SINGH; USHA, 2003) e na capacidade fotossintética (KHAN; PRITHIVIRAJ; SMITH, 2003).

Kordi et al. (2013) conduziram um estudo para investigar os efeitos da aplicação de AS em plantas de manjerição sob estresse hídrico. Seus resultados revelaram um aumento significativo de 74,1% no peso fresco das nas plantas tratadas com AS na concentração de 1,5 mM em comparação com aquelas não tratadas com AS. Da mesma forma, Sadeghipour (2012), em sua pesquisa sobre o uso de AS como mitigador da tolerância ao estresse hídrico em plantas de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), observaram um impacto favorável do AS no crescimento das plantas.

Conforme destacado por Silva et al. (2017), em cultivos de gergelim (*Sesamum indicum*), a aplicação de AS demonstrou induzir tolerância ao estresse hídrico. Lima et al. (2019) concluíram que, em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*), o ácido salicílico resultou no aumento da massa seca,

comprimento de raiz e taxa de germinação sob condições de estresse. É pertinente salientar que a capacidade de tolerância ao estresse está intrinsecamente relacionada à pré-ativação (*priming*) e à duração dos mecanismos de proteção, os quais são mantidos por meio de uma forma de memória nas plantas, melhorando assim a capacidade defensiva de uma planta diante de futuros desafios. Essa memória envolve modificações na transcrição, promovendo alterações na expressão gênica (DUARTE et al., 2018; LÄMKE; BÄURLE, 2017).

6.1.2. Estresse salino

O impacto adverso do estresse salino sobre o desenvolvimento, produtividade e qualidade das culturas é amplamente reconhecido como um dos principais desafios abióticos em escala global (AHMADI; SOURI, 2019; REHMAN et al., 2022). A presença excessiva de sais na água de irrigação resulta na diminuição do potencial osmótico do solo, dificultando a absorção eficiente de água e nutrientes pelas plantas, culminando em perturbações significativas no metabolismo vegetal (SILVA et al., 2021). Além disso, a salinidade desencadeia um estresse secundário associado à acumulação de EROs nas plantas, provocando impactos adversos na integridade de enzimas, ácidos nucleicos e lipídios (LI et al., 2022). Esse cenário compromete as trocas gasosas, prejudica a integridade celular, e altera a estrutura da clorofila, resultando em efeitos negativos no crescimento e desenvolvimento das culturas (SILVA et al., 2022).

A procura por insumos com propriedades mitigadoras dos efeitos adversos dos sais presentes no solo e na água de irrigação, especialmente para plantas sensíveis e moderadamente sensíveis, tem ganhado destaque na esfera agrícola (NÓBREGA et al., 2020). Dentre esses insumos, o AS tem demonstrado efeitos benéficos como um composto fenólico que desempenha funções na regulação do crescimento e na proteção das plantas contra estresses abióticos, notadamente o estresse salino (TONEL et al., 2013; MIURA; TADA, 2014; SILVA et al., 2018b). O AS participa ativamente da ativação e transdução de sinais para a expressão de genes envolvidos nos mecanismos de defesa da planta, na fotossíntese e na regulação de genes que propiciam a acumulação EROs no apoplasto, resultando na mitigação dos efeitos adversos induzidos pelo estresse

salino (HASANUZZAMAN et al., 2014; MAZARO et al., 2015; SHARMA et al., 2017).

Nos últimos anos, estudos têm indicado que a administração foliar de AS demonstrou a capacidade de mitigar os efeitos adversos provocados pelo estresse salino em diversas culturas, incluindo morango (SAMADI; HABIBI; VAZIRI, 2019), tomate (SOURI; TOHIDLOO, 2019), amêndoas (MOHAMMADI et al., 2020), uva (EKBIÇ; ÖZCAN; ERDEM, 2020); tâmaras (JASIM; ATI, 2020), laranja (MAHMOUD et al., 2021) e graviola (SILVA et al., 2022).

Conforme descrito por Jayakannan et al. (2015), o AS regula a absorção de íons Na^+ nas raízes, bem como seu transporte para a parte aérea da planta, resultando na redução da toxicidade. Esse mecanismo desempenha um papel crucial no aumento da biomassa da parte aérea, especialmente em condições de estresse salino. Descobertas adicionais de Silva et al. (2018a) evidenciam que a aplicação de ácido salicílico a uma concentração de 1,0 mM resultou em um aumento significativo no comprimento das raízes de manjerição quando expostas ao estresse salino, sugerindo sua influência direta no crescimento radicular.

6.1.3. Fitotoxicidade de herbicida

A utilização de herbicidas representa um elemento significativo com impacto na produção agrícola. Estudos indicam que a aplicação excessiva desses agentes pode ocasionar danos não apenas nas plantas invasoras, mas também nas culturas desejadas, interferindo nos processos metabólicos e fisiológicos das células vegetais (JIANG; YANG, 2009; PEIXOTO et al., 2006; SONG; CHEN; YANG, 2008; YIN et al., 2008).

A diminuição dos sintomas de fitotoxicidade pode ser associada à aplicação exógena do AS, que tem a capacidade de aumentar/ajustar as atividades enzimáticas envolvidas na desintoxicação celular, tais como peroxidases e superóxido-dismutases (CARVALHO; MACHADO NETO; CUSTÓDIO, 2007).

A influência induzida pela aplicação exógena de AS em conjunto com um herbicida na eficiência produtiva decorre do incremento na taxa de assimilação de carbono, na síntese de metabólitos e na capacidade fotossintética da planta (FAROOQ et al., 2010).

Dias et al. (2017), ao investigarem o efeito do AS como agente mitigador da fitotoxicidade induzida pelo flumioxazin no cultivo de trigo, constataram que a aplicação de AS mitigou os efeitos adversos causados pelo herbicida. De maneira análoga, ao conduzir pesquisas relacionadas à utilização de ácido salicílico para mitigar os efeitos do estresse provocado pelo herbicida metribuzin em cenouras, Carneiro (2016) identificou que o AS atenua a toxicidade induzida pelo metribuzin e reduz a incidência de cenouras não conformes para comercialização.

Pesquisas acerca de substâncias capazes de mitigar os impactos adversos nas culturas representam uma área de significativa relevância, destacando-se o potencial promissor do ácido salicílico (RADWAN, 2012; WITTEK et al., 2014).

6.1.4. Estresse térmico

As variações climáticas, principalmente envolvendo extremos de temperatura, podem limitar o crescimento e desenvolvimento de plantas, consequentemente diminuindo a produtividade agrícola. Os principais danos do estresse de alta temperatura nas plantas incluem os seguintes aspectos: comprometimento e redução da fotossíntese, aumento da respiração, estresse hídrico, danos à membrana celular, danos ao DNA, desnaturação de proteínas, redução da absorção de nutrientes, atraso na floração e frutificação, aumento da suscetibilidade a doenças e pragas e outras alterações fisiológicas e bioquímicas. (SONG et al., 2023)

O estresse pelo frio (resfriamento de 0–15 °C ou congelamento <0 °C) atrasa o crescimento da planta devido a lesão celular ou causa a morte celular, diminuindo a integridade da membrana, as atividades das enzimas de defesa antioxidante e a biogênese de proteínas e metabólitos secundários. (RAZA et al., 2023). Podendo levar também à superprodução de EROs, que são sensíveis às substâncias celulares e podem desencadear danos oxidativos a questões metabólicas, limitando a produtividade das culturas. (MITTLER et al., 2022)

SA pode manter o equilíbrio celular, regulando o acúmulo e a depuração de EROs. Ocorre o aumento significativo de EROs, quando plantas são submetidas aos extremos de temperatura, levando a danos oxidativos nas células. No entanto, o SA pode efetivamente remover EROs e aliviar os danos

celulares, promovendo a síntese e acúmulo de antioxidantes, regulando a expressão de genes relacionados (SONG et al., 2023).

A aplicação de $0,5 \text{ g L}^{-1}$ AS em milho aumentou o índice de área foliar, taxa fotossintética e acúmulo de massa seca sobre condição de estresse por alta temperatura, segundo LI et al.(2023), esses incrementos foram alcançados pois o AS reduziu o estresse oxidativo pela ativação de enzimas antioxidantes permitindo que as plantas preservassem sua ultraestrutura de cloroplasto e atividade do PSII, também pela a expansão dos estômatos mantendo uma temperatura foliar mais baixa e o fornecimento de CO_2 maior

Brugnara e Sabião (2023), avaliaram os efeitos da aplicação exógena de AS na concentração de 28 mg L^{-1} , em oliveiras jovens que enfrentaram geadas com temperatura média de $-6,6^\circ \text{C}$ no sul do Brasil, e observaram um menor extravasamento de eletrólitos, maior massa seca de brotos, fissuras menores ao longo do tronco das plantas e menor morte de ramos e plantas em relação à plantas que não tiveram tratamento. O que sugere que o AS manteve o metabolismo das plantas ativo diante de um cenário desfavorável.

6.2. ESTRESSES BIÓTICOS

6.2.1. Bactérias fitopatogênicas

As plantas que manifestam deficiência de ácido salicílico (AS) demonstraram uma suscetibilidade acentuada a patógenos (WILDERMUTH et al., 2001). Em contrapartida, observou-se que plantas submetidas a pré-tratamento com AS exibiram maior capacidade de fortalecer a resistência contra doenças induzidas por bactérias, conforme evidenciado por Rairdan; Delaney (2002).

Wang; Liu (2012) e Rodrigues et al. (2013) enfatizaram a crucial ativação do mecanismo de defesa mediado por AS em resposta à *Xanthomonas citri* e *Xylella fastidiosa*. Ao aplicar AS externamente em plantas de *Citrus sinensis* infectadas por *X. citri*, observou-se um notável aumento nos níveis endógenos de AS. Este aumento, por sua vez, resultou em uma significativa redução na severidade dos sintomas da doença, bem como inibição do crescimento bacteriano. Esses resultados, como descritos por Wang; Liu (2012), Li et al.

(2016) e Gómez-Krapp (2016), evidenciam a eficácia do ácido salicílico como mediador fundamental na resistência das plantas contra essas patologias.

A aplicação externa de AS em plantas de *C. sinensis* previamente inoculadas com *X. citri* induziu um aumento substancial nos teores intrínsecos de AS, culminando subsequentemente em uma diminuição na intensidade da patologia e na proliferação bacteriana (GÓMEZ-KRAPP, 2016; LI; TRIVEDI; WANG, 2016; WANG; LIU, 2012).

Além da *Xylella fastidiosa*, pesquisas recentes realizadas com plantas de *Camellia sinensis*, que superexpressam o gene S-adenosil-L-metionina: ácido salicílico carboxil metiltransferase (SAMT), evidenciam sua contribuição na conferência de resistência tanto ao cancro cítrico, originado pela bactéria *Xanthomonas citri* subsp. *citri*, quanto ao Huanglongbing (HLB), provocado pela *Candidatus Liberibacter asiaticus* (CLas) (ZOU et al., 2021; NASCIMENTO et al., 2022).

Hu et al. (2018) apresentaram evidências indicando que a injeção de ativadores de defesa vegetal, incluindo o AS, no tronco de citros resultou em um controle significativo do HLB. A adição de AS superou a ação enzimática, resultando na redução da população de (CLas) e na atenuação da gravidade da doença.

6.2.2. Fungos fitopatogênicos

Na literatura, é possível encontrar alguns estudos que investigam a associação do ácido salicílico com fungos. O estudo conduzido por Shabana et al. (2008) empregou o ácido salicílico (AS) para controlar a mancha-parda do arroz, com uma concentração de 9 mM. Observou-se uma inibição total do crescimento do patógeno em condições in vitro, evidenciando a significativa eficácia antifúngica associada à aplicação exógena do AS.

A aplicação de AS resultou em uma redução significativa de 64% no crescimento micelial e uma diminuição de 60% na germinação do fungo *Monilinia fructicola* quando administrado em uma concentração de 2 mM, conforme observado por Yao; Tian, (2005). Esses efeitos fungicidas foram corroborados por Iqbal (2010) em relação ao *Penicillium* sp., evidenciando uma redução de 60% e 100% na germinação de esporos ao utilizar concentrações de 2 mM e 6 mM, respectivamente.

No estudo conduzido por Yu; Zheng, (2006), a pesquisa abordou a interação entre o AS, leveduras e o fungo *Penicillium expansum*. Os resultados obtidos indicam que o AS exerce efeitos fungicidas *in vitro*, quando aplicado em concentrações superiores a 100 ppm, equivalentes a aproximadamente 0,6 mM. Este achado sugere que o AS pode desempenhar um papel significativo no controle do crescimento do fungo *P. expansum*, fornecendo informações valiosas para estratégias de manejo e controle de doenças relacionadas a esse patógeno em particular.

Verificou-se que a combinação do AS com a levedura *Cryptococcus laurentii* resultou em um aumento na atividade de enzimas de defesa nos frutos, como peroxidases, fenilalanina amônia-liase e lipoxigenases. Este fenômeno sugere que o AS desempenhou um papel significativo no reforço do controle exercido por *C. laurentii* (YU; ZHENG, 2006). Os pesquisadores afirmam que, ao combinar *C. laurentii* com uma concentração apropriada de AS (1 mM), ocorre uma rápida e intensa indução dessas respostas defensivas. Nesse contexto, *C. laurentii* atua como um agente patogênico em interação com o fruto, enquanto o AS funciona como um catalisador desse processo.

6.2.3. Virus fitopatogênicos

As doenças virais são altamente importantes nas culturas e uma grande ameaça ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Diferente de outros agentes patogênicos, como fungos, insetos, nematoides etc. as viroses não possuem um meio de controle como agroquímicos, sendo as únicas alternativas a escolha de cultivares resistentes ou a indução à resistências das plantas. (Silva et al. 2016)

Nesse sentido, o AS se faz essencial para uma resistência eficaz à patógenos virais, pois as respostas desencadeadas pela aplicação do AS exógeno atuam em vários processos da atividade virótica, dentre eles a inibição da replicação do vírus, a inibição da translocação sistêmica do vírus, além a indução de genes relacionados à defesa (MURPHY et al., 2020).

Silva et al. (2016) avaliaram o efeito de AS (25 mM) no desenvolvimento plantas de maracujazeiro infectadas por Cowpea aphid-borne mosaic vírus (CABMV) que causa o endurecimento dos frutos do maracujazeiro (EFM), e

chegaram na conclusão que o AS reduziu a severidade da virose em 57,1%, além de aumentar a atividade de duas enzimas associadas à defesa de plantas, a peroxiadase e a polifenoloxidase.

Resultados semelhantes foram encontrados na cultura do tomate, onde a administração de AS pulverizadas três vezes contínuas com concentração de 2 mM no estágio de quatro folhas, depois infectadas com *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV), onde o efeito do AS diminuiu sintomas da virose e desencadeou no aumento da atividade das enzimas eliminadoras de EROs PRs (LI et al., 2019)

7. OUTROS EFEITOS FISIOLÓGICOS

Outros efeitos do SA no metabolismo de plantas, segundo Fagan et al. (2015) são:

- I. Inibe a biossíntese de etileno;
- II. Inibe a germinação de sementes;
- III. Bloqueia respostas de ferimento;
- IV. Interfere com o transporte de íons pela membrana e absorção pelas raízes;
- V. Indução de rápida despolarização da membrana e colapso do potencial eletroquímico transmembrana;
- VI. Afeta o movimento nástico foliar;
- VII. Reduz a transpiração em folhas e epiderme revertendo o fechamento dos estômatos induzido pelo ABA, abscisão foliar e inibição do crescimento;
- VIII. Induz a produção de antocianina em plântulas de milho;
- IX. Aumenta o número de vagens e a produção de feijão mungo;
- X. aumenta a altura e o número de grãos de milho,
- XI. Sa em combinação com jaa estimula a iniciação de raízes adventícias em feijão mungo;
- XII. Aumenta a atividade da nitrato-redutase em plântulas de milho e
- XIII. A aspirina e o ácido hidroxibenzoico bloqueiam a resposta ao ferimento de plantas de tomate.

8. FORMAS DE APLICAÇÃO E DOSAGEM NA AGRICULTURA

8.1. Foliar

As pesquisas científicas demonstraram que a aplicação exógena do ácido salicílico é efetiva em diversas concentrações. Quando aplicado por meio de raízes, absorção foliar ou aspersão foliar, atenuou os impactos adversos do déficit hídrico, incluindo alterações no estado hídrico dos tecidos, condutância estomática, teor de clorofila, propriedades da membrana e atividades fisiológicas nas plantas (KLESSIG et al., 2000). Existe a perspectiva de que aplicação exógena possa desempenhar um papel significativo como uma eficiente instrumentação para promover o desenvolvimento, aumentar a produtividade e mitigar os impactos prejudiciais decorrentes de diversos estresses abióticos nas plantas (YUSUF et al., 2013).

Zaidi et al. (2015) evidenciaram que a aplicação exógena de ácido salicílico mitigou os impactos adversos associados ao déficit hídrico, especialmente durante a fase vegetativa do girassol. As plantas submetidas ao tratamento com ácido salicílico apresentaram níveis elevados de açúcares solúveis intracelulares, uma condição fortemente associada à aquisição de resistência ao estresse. Além disso, observou-se um aumento na quantidade de proteínas nas folhas submetidas ao tratamento com ácido salicílico, indicando uma redução nos efeitos do estresse hídrico.

Saboon et al. (2015), observaram uma redução na massa fresca da parte aérea do trigo em condições de estresse hídrico, mas destacaram uma melhoria na produção quando o ácido salicílico foi aplicado. Já o estudo realizado por La et al. (2019) demonstrou que a restrição hídrica ocasionou uma diminuição no peso fresco do nabo, tanto nos tratamentos com a aplicação de AS. Contudo, observou-se uma atenuação significativa nos efeitos adversos provocados pelo estresse nas plantas submetidas ao tratamento com 1,5 mM de AS.

De forma contrária, Vilarinho (2017), ao investigar a influência do ácido salicílico (AS) na produção de melancia, não observou benefícios significativos na capacidade de tolerância ao déficit hídrico, evidenciando uma diminuição nos valores de massa seca da parte aérea.

Yossef et al. (2015) conduziram uma análise da influência da aplicação de ácido salicílico (AS) em duas concentrações (100 mL L⁻¹ e 200 mL L⁻¹) no

girassol sujeito a condições de estresse hídrico. Os resultados revelaram um aumento significativo na massa seca da parte aérea em comparação com o grupo de controle sem estresse hídrico. Além disso, observou-se que a menor concentração de AS proporcionou os resultados mais promissores. Em uma abordagem semelhante, Gomes et al. (2018), ao examinar a produção de massa seca na parte aérea de plantas de milho sob estresse hídrico e tratadas com quatro doses distintas de AS, identificaram um aumento na maioria das doses em comparação com o grupo de controle estressado sem a aplicação de AS.

8.2. Sementes

A aplicação de substâncias reguladoras de crescimento e nutrientes, que exercem influência direta nos processos de germinação e desenvolvimento das sementes, tem contribuído significativamente para otimizar a produtividade em diversas culturas, incluindo algodão, arroz, feijão, milho e soja. Entre esses reguladores, o AS destaca-se, embora, sua adoção ainda não seja uma prática comum entre os produtores de culturas de alta tecnologia (GASTL FILHO et al., 2017).

O tratamento de sementes com reguladores de crescimento, principalmente o AS, sintetizado a partir da L-fenilalanina, é uma alternativa promissora ao setor de sementes por tratar-se de um importante indutor de resistência a doenças e pragas, representa uma das várias formas de combate ao estresse em plantas, com aplicação exógena ou através de estímulo

à síntese endógena, além de atuar significativamente na qualidade e no rendimento de sementes (SILVA et al., 2012).

Agostini et al. (2013), ao investigarem a aplicação de AS em plantas de feijão, constataram seu significativo potencial como uma inovadora e promissora abordagem para o tratamento de sementes. Os resultados obtidos indicaram melhorias satisfatórias tanto no comprimento quanto na massa seca total das raízes das plântulas. Em tomateiro, Larqué-Saavedra et al. (2010), observaram efeitos significativos no crescimento e desenvolvimento radicular em resposta à aplicação do ácido salicílico.

Estudos realizados em sementes de calêndula, demonstraram efeitos favoráveis no percentual e no índice de velocidade de germinação quando

submetidos a concentrações de 0,025mM, tanto em condições ideais quanto sob influência de estresse hídrico e térmico a 35 °C (CARVALHO et al. 2007).

Por outro lado, influência adversa do ácido salicílico (AS) em concentrações elevadas na germinação pode ser atribuída, provavelmente, ao estresse oxidativo induzido pelo composto. A utilização de concentrações excessivas de AS resulta na geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), particularmente peróxido de hidrogênio (H₂O₂). Esse fenômeno desencadeia um estresse oxidativo pronunciado, levando à degradação de lipídios de membrana, morte celular e, por conseguinte, comprometendo ou diminuindo a viabilidade da germinação das sementes, de acordo com as investigações de Poór et al. (2011) e Miura; Tada (2014)

Posada et al. (2017), ao investigarem a influência de diferentes doses de AS em sementes de alface, constataram que não houve diferença significativa na porcentagem de germinação entre os tratamentos de embebição. Entretanto, observou-se um impacto negativo no desenvolvimento das plântulas à medida que as doses de ácido salicílico aumentaram. A partir da dose de 0,05 mM L⁻¹, verificou-se uma redução média de 50% na taxa de germinação.

Moreira et al. (2014) conduziram um estudo examinando diferentes doses AS (0,020 g, 0,040 g, 0,060 g, 0,080 g, 0,100 g) em sementes de melão. A pesquisa revelou diferenças significativas no vigor fisiológico de plântulas normais no oitavo dia. Consequentemente, observou-se que o condicionamento fisiológico das sementes com AS contribuiu para o desenvolvimento de plântulas normais. Os efeitos do condicionamento fisiológico foram particularmente evidentes nas doses de 0,02 g e 0,10 g de AS.

9. APLICAÇÃO DE ÁCIDO SALICÍLICO EM CULTURAS DE RELEVÂNCIA ECONÔMICA

9.1. Café

Erdiansyah; Zakariyya (2021) investigaram os efeitos da aplicação de ácido salicílico na cultura do café, visando determinar seu impacto no crescimento de mudas de café Robusta. Os resultados obtidos indicaram que a aplicação de 0,6 mM de ácido salicílico promoveu um aumento significativo no crescimento das mudas de café Robusta.

O conhecimento atual sobre o potencial emprego do ácido salicílico na indução de resistência a doenças do café é limitado. Um estudo conduzido por Alemu et al. (2018), demonstrou uma redução significativa na incidência da doença dos frutos do cafeeiro, (*Colletotrichum kahawae*), mediante a aplicação de ácido salicílico a uma concentração de 10,0 mM. Essa intervenção demonstrou eficácia em cultivares de café classificados como suscetíveis e moderadamente resistentes.

Tannuri et al. (2021) investigaram a aplicação exógena do ácido salicílico para controle da ferrugem do café (*Hemileia vastratix*). Os resultados indicaram que as plantas tratadas com ácido salicílico apresentaram redução na severidade e incidência da ferrugem, bem como diminuição da desfolha. Além disso, foi observado um aumento na concentração da atividade da catalase, ascorbato peroxidase e superóxido dismutase após a primeira aplicação.

9.2. Cana de Açúcar

Apon et al. (2023) investigaram o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar com a aplicação de ácido salicílico para atenuar os efeitos da salinidade. Os resultados indicaram que a germinação e o crescimento das plântulas foram notavelmente satisfatórios nos tratamentos que receberam ácido salicílico, mesmo em condições de salinidade elevada (8 dS m⁻¹).

De forma semelhante, Suriyan; Chalermopol (2009) também observaram uma redução na altura da planta, no peso do broto e na área foliar de plântulas de cana-de-açúcar submetidas ao estresse salino. Este fenômeno assemelha-se aos resultados documentados por Badil et al. (2016), os quais indicaram, em seu estudo, que o ácido salicílico pode mitigar os efeitos adversos do estresse salino sobre o teor total de matéria seca em mudas de cana-de-açúcar.

9.3. Milho

Para a cultura do milho, foram relatados diversos efeitos benéficos do AS em plantas sob estresses, tais como déficit hídrico (GOMES et al., 2018; RONQUI, 2016; SARUHAN; SAGLAM; KADIOGLU, 2012; SHAN; WANG, 2017), temperaturas extremas (GUAN et al., 2015; KHANNA; KAUR; GUPTA, 2016), metais pesados (GONDOR et al., 2016; KRANTEV et al., 2008) e salinidade (FAHAD; BANO, 2012; GUNES et al., 2007; TONEL et al., 2013).

Saruhan et al. (2012) investigaram a influência do AS na indução de tolerância à seca em genótipos de milho. Os resultados indicaram que a aplicação exógena do AS pode atenuar os efeitos adversos do estresse hídrico, reduzindo a perda de água e estimulando o sistema antioxidante em plantas com enrolamento de folhas, mecanismo alternativo de proteção contra a seca. Shan; Wang (2017) examinaram o papel do óxido nítrico na regulação do estado hídrico das folhas mediado pelo ácido salicílico em plântulas de milho. Os resultados indicaram que o óxido nítrico induzido pelo AS desempenhou um papel crucial na regulação do estado hídrico durante o estresse à seca.

Ronqui (2016) investigou a resposta agrônômica à aplicação de AS via foliar na cultura do milho, constatando que a condutância estomática, transpiração e a eficiência do uso da água momentânea apresentaram efeitos significativos com as aplicações de ácido salicílico, enquanto os componentes de produção e a produtividade de grãos não demonstraram diferenças significativas. Por outro lado, Gomes et al. (2018), demonstraram que o ácido salicílico é capaz de atenuar os efeitos do déficit hídrico no milho.

Guan et al. (2015) investigaram o efeito de hidrogel contendo AS aplicado a sementes de milho visando a tolerância ao frio. Os resultados indicaram que concentrações mais elevadas de hidrogel carregado com AS promoveram um aumento significativo na energia, percentagem, índice de germinação, comprimento das raízes, altura dos rebentos, peso seco das raízes e dos rebentos, além do peso protetor das sementes. Já, Khanna et al. (2016) exploraram os efeitos do ácido salicílico na cultura do milho sob estresse de alta temperatura. Os resultados revelaram que a atividade da peroxidase e o teor de prolina aumentaram nas plântulas tratadas com AS. Além disso, observou-se uma diminuição significativa nos níveis de H₂O₂ e MDA sob condições de estresse.

Gunes et al. (2007) , ao investigarem o impacto do AS no milho cultivado sob condições de estresse salino, concluíram que o AS demonstra potencial como regulador de crescimento, melhorando a resistência das plantas ao estresse causado pela salinidade. Em um estudo sobre os efeitos do AS na caracterização fisiológica e bioquímica do milho cultivado em ambientes salinos, Fahad; Bano (2012) concluíram que a aplicação exógena de AS atenuou os efeitos adversos da salinidade nas plantas de milho, agindo por meio de

osmoregulação e aumento dos níveis de prolina. Por outro lado, Tonel et al. (2013) , ao investigarem as alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes e plântulas de milho submetidas a estresse salino e ácido salicílico, constataram que o AS manteve a germinação das sementes de milho acima de 90 mM de NaCl, embora geralmente não tenha sido eficiente para assegurar o vigor das plântulas.

9.4. Soja

Delcin et al. (2019a) concluíram, ao avaliar a qualidade fisiológica de sementes comerciais de soja submetidas a diferentes concentrações de ácido salicílico, que as concentrações de AS entre 250 e 750 μ M podem ser utilizadas em sementes de soja. No entanto, observaram que concentrações acima de 1000 μ M podem prejudicar os parâmetros de qualidade fisiológica.

Tang et al. (2017) destacaram que a concentração de 0,5 mM e potencial osmótico de -1,03 MPa durante a germinação de sementes de soja mitigou os efeitos adversos causados pelo alto estresse hídrico. Concomitantemente, Al-Hakimi (2006) indicou que a concentração de 0,6 mM de AS exerceu efeito inibitório frente ao déficit hídrico, manifestando impactos positivos em diversos parâmetros analisados em folhas e raízes. O autor observou incrementos no metabolismo da parede celular de folhas e raízes de soja ao empregar a concentração de 600 μ M na presença de déficit hídrico.

Gupta et al. (2017) utilizaram 500 μ M de AS e observaram um aumento na germinação, comprimento das raízes, parte aérea, massa fresca e seca da soja sob estresse de metais pesados. Resultados positivos foram encontrados por Kuchlan et al. (2016), onde a aplicação foliar de AS proporcionou maior produtividade, sanidade, germinação e vigor das sementes de soja durante o armazenamento.

Dalcin et al. (2019b) investigaram os efeitos de diferentes concentrações de AS na germinação de plantas de soja submetidas a déficit hídrico, avaliando parâmetros fisiológicos e fotossintéticos. Os resultados indicaram que as concentrações de 500 μ M e 1000 μ M de AS foram eficazes em aumentar a capacidade de retenção em 30% para as variáveis comprimento da raiz, comprimento e massa fresca e seca do rebento durante condições de estresse por déficit hídrico.

Gutiérrez-Coronado; Trejo-López; Larqué-Saavedra (1998) constataram que a aplicação foliar de AS com concentrações superiores a 5000 μM na cultura da soja promove o aumento do comprimento da folha, principalmente nos valores da raiz. No entanto, a utilização de altas concentrações de AS resulta em estresse oxidativo e no aumento de espécies reativas de oxigênio (ROS), prejudicando a função celular. Por outro lado, Lan et al. (2016) observaram que a aplicação de baixas concentrações de AS, como 10 μM , resultou em menor acúmulo de alumínio nas raízes de soja. Essa concentração também ativou enzimas antioxidantes, contribuindo para a redução do estresse causado por esse elemento.

9.5. Algodão

Estudos indicam que a utilização de substâncias promotoras de crescimento, como o AS, exerce efeitos fisiológicos benéficos nas plantas de algodão. A aplicação de AS demonstrou a capacidade de incrementar a taxa de crescimento, a eficiência fotossintética e a otimização do uso da água em plantas de algodão sob estresse hídrico (SMITH; JOHNSON; DAVIS, 2018). Adicionalmente, observou-se que a aplicação de AS em plantas de algodoeiro promoveu o desenvolvimento de fibras mais finas e longas, conforme evidenciado por RAZA et al. (2018).

A coaplicação dos elementos B, Si e AS pode ter induzido uma interação sinérgica, potencializando assim o suporte ao crescimento, desenvolvimento e atividades metabólicas do algodoeiro (BARROS et al., 2019). Raiter (2023) avaliou os efeitos das aplicações isoladas e combinadas de B, Si e As nos teores foliares de clorofilas e carotenoides em plantas de algodoeiro. Os resultados indicaram que a partir da segunda e terceira aplicação, observou-se um efeito positivo significativo nas concentrações de clorofilas e carotenoides, destacando-se principalmente os elementos Si e As.

Souza et al. (2023) investigaram os efeitos da aplicação foliar de AS na fisiologia e nos componentes de produção do algodão cultivado sob estresse salino. Os resultados revelaram que concentrações de AS de 2,6 e 2,7 mM aumentaram a taxa de assimilação de CO_2 e a condutância estomática, respectivamente, nas plantas de algodão.

Silva (2022) investigou o desenvolvimento do algodoeiro irrigado sob condições de água salina, com a aplicação foliar de AS. Os resultados indicaram que a aplicação foliar do AS a uma concentração de 6,0 mM mitigou os efeitos do estresse salino, particularmente sobre a condutância estomática e a taxa de transpiração da planta.

10. CONCLUSÕES

- AS é um aliado essencial para a modernização da agricultura;
- Oferece uma maneira inovadora e sustentável de aumentar as defesas naturais das plantas;
- Potencializa eficiência de defensivos químicos;
- Reduz resistência adquirida em pragas e doenças à defensivos químicos, mantendo a longevidade das moléculas;
- Enrijece órgãos estruturais de plantas;
- Favorece máximo potencial do metabolismo fisiológico de plantas;
- Aumenta a produtividade.

11. REFERÊNCIAS

AGARWAL, S. et al. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. **Biologia Plantarum**, v. 49, n. 4, p. 541–550, 1 dez. 2005.

AGOSTINI, E. A. T. DE; MACHADO-NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C. Induction of water deficit tolerance by cold shock and salicylic acid during germination in the common bean. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, p. 209–219, jun. 2013.

AHMAD, P. et al. Salicylic Acid (SA) Induced Alterations in Growth, Biochemical Attributes and Antioxidant Enzyme Activity in Faba Bean (*Vicia faba* L.) Seedlings under NaCl Toxicity. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 65, n. 1, p. 104–114, 2018.

AHMADI, M.; SOURI, M. K. NUTRIENT UPTAKE, PROLINE CONTENT AND ANTIOXIDANT ENZYMES ACTIVITY OF PEPPER (*Capsicum annuum* L.) UNDER HIGHER ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF NUTRIENT SOLUTION CREATED BY NITRATE OR CHLORIDE SALTS OF POTASSIUM AND CALCIUM. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v. 18, n. 5, p. 113–122, 28 out. 2019.

ALEMU, K. et al. Induction of systemic resistance in Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) against coffee berry disease (*Colletotrichum kahawae* Waller & Bridge) mediated through plant defense activator. **International Journal of Pest Management**, v. 65, n. 4, p. 313–323, 21 nov. 2018.

AL-HAKIMI, A. M. A. Counteraction of Drought Stress on Soybean Plants by Seed Soaking in Salicylic Acid. v. 2, p. 421–426, 2006.

ANAND, S.; RAMANUJAM, M. P. EFFECT OF SALICYLIC ACID ON BLACK GRAM (*VIGNA MUNGO*) CULTIVARS. v. 2, p. 138–141, 1997.

ANTONIW, J. F.; WHITE, R. F. The Effects of Aspirin and Polyacrylic Acid on Soluble Leaf Proteins and Resistance to Virus Infection in Five Cultivars of Tobacco. **Journal of Phytopathology**, v. 98, n. 4, p. 331–341, 1980.

APON, T. A. et al. Sett priming with salicylic acid improves salinity tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) during early stages of crop development. **Heliyon**, v. 9, n. 5, p. e16030, 1 maio 2023.

ARNAO, M. B.; HERNÁNDEZ-RUIZ, J. Melatonin and its relationship to plant hormones. **Annals of Botany**, v. 121, n. 2, p. 195–207, 12 fev. 2018.

AUDENAERT, K.; DE MEYER, G. B.; HÖFTE, M. M. Absciscic acid determines basal susceptibility of tomato to *Botrytis cinerea* and suppresses salicylic acid-

dependent signaling mechanisms. **Plant Physiology**, v. 128, n. 2, p. 491–501, fev. 2002.

BADIL, F. C. et al. Alleviation of salinity effects by exogenous applications of salicylic acid in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) seedlings. **Iranian Journal of Field Crops Research**, v. 14, n. 3, 2016.

BANDAY, Z. Z.; NANDI, A. K. Interconnection between flowering time control and activation of systemic acquired resistance. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, 2015.

BARI, R.; JONES, J. D. G. Role of plant hormones in plant defence responses. **Plant Molecular Biology**, v. 69, n. 4, p. 473–488, 2009.

BARROS, T. C. et al. Silicon and salicylic acid in the physiology and yield of cotton. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 5, p. 458–465, 16 mar. 2019.

BAXTER, H. L.; STEWART JR, C. N. Effects of altered lignin biosynthesis on phenylpropanoid metabolism and plant stress. **Biofuels**, v. 4, n. 6, p. 635–650, 1 nov. 2013.

BORGES, L. P.; AMORIM, V. A. METABÓLITOS SECUNDÁRIOS DE PLANTAS. v. 11, n. 1, 2020.

BRAÑA, M. F.; SALAZAR, Y. N. La verdadera historia de la Aspirina. **An. R. Acad. Nac. Farm.**, v. 71, p. 813–819, 2005.

BRUGNARA, E. C.; SABIÃO, R. R. Danos de geada em oliveiras jovens cv. Arbequina e Koroneiki tratadas com L-prolina, ácido salicílico ou bioestimulante. **Agropecuária Catarinense**, [S. l.], v. 36, n. 3, p. 29–33, 2023. DOI: 10.52945/rac.v36i3.1610. Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/view/1610>. Acesso em: 31 mar. 2024.

CAMPOS, Â. D. **Considerações sobre indução de resistência a patógenos em plantas**. 264. ed. Embrapa Clima Temperado. Documentos: [s.n.].

CARNEIRO, G. D. O. P. **Ácido salicílico e sacarose na redução de estresse causado pelo metribuzin na cultura da cenoura**. Dissertação de mestrado—[s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 19 fev. 2016.

CARVALHO, P. R.; MACHADO NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C. Ácido salicílico em sementes de calêndula (*Calendula officinalis* L.) sob diferentes estresses. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, p. 114–124, abr. 2007.

CHALKER-SCOTT, L.; FUCHIGAMI, L. The Role of Phenolic Compounds in Plant Stress Responses. Em: [s.l.: s.n.]. p. 67–80.

CHEN, Z.; SILVA, H.; KLESSIG, D. F. Active oxygen species in the induction of plant systemic acquired resistance by salicylic acid. **Science**, v. 262, n. 5141, p. 1883–1887, 17 dez. 1993.

DALCIN, J. et al. Salicylic Acid Concentrations and Its Effects on the Physiological Quality of Soybean Seeds. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 271, 15 out. 2019a.

DALCIN, J. et al. Salicylic Acid and Its Effect on Physiological and Photosynthetic Parameters in Soybean Seedlings Under Water Deficit. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 280, 15 out. 2019b.

DIAS, R. DE C. et al. Ácido salicílico como atenuador de fitotoxicidade causada pelo flumioxazin na cultura do trigo. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 60, n. 2, p. 152–157, 3 out. 2017.

DIOGO, L. P. et al. Is there association between non-steroidal anti-inflammatory drugs and contrast media-induced nephropathy? **[Abstract in English]. Scientia Medica**, v. 18, n. 3, p. 133–140, 2 ago. 2008.

DOHERTY, H. M.; SELVENDRAN, R. R.; BOWLES, D. J. The wound response of tomato plants can be inhibited by aspirin and related hydroxy-benzoic acids. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 33, n. 3, p. 377–384, 1 nov. 1988.

DONG, J.; WAN, G.; LIANG, Z. Accumulation of salicylic acid-induced phenolic compounds and raised activities of secondary metabolic and antioxidative enzymes in *Salvia miltiorrhiza* cell culture. **Journal of Biotechnology**, v. 148, n. 2, p. 99–104, 20 jul. 2010.

DUARTE, R. P. et al. In Vitro Priming of Sugarcane Varieties (RB966928 and RB867515). **American Journal of Plant Sciences**, v. 9, n. 4, p. 763–774, 2 mar. 2018.

DURRANT, W. E.; DONG, X. Systemic acquired resistance. **Annual Review of Phytopathology**, v. 42, p. 185–209, 2004.

EKBİÇ, H. B.; ÖZCAN, N.; ERDEM, H. Impacts of Salicylic Acid Treatments on Salt Resistance of Some American Grapevine Rootstocks. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 29, p. 685, 2020.

ERDIANSYAH, N.; ZAKARIYYA, F. Growth Response of Robusta Coffee (*Coffea canephora* L.) Seedlings to Exogenous Salicylic Acid Application. **Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal)**, v. 37, p. 197–206, 30 dez. 2021.

FAGAN, E.B.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D.; CHALFUN JUNIOR, A.; DOURADO NETO, D. Fisiologia vegetal: reguladores vegetais. São Paulo: Andrei, 2015. 300p.

FAHAD, S.; BANO, A. Effect of salicylic acid on physiological and biochemical characterization of maize grown in saline area. **Pakistan Journal of Botany**, v. 44, 1 ago. 2012.

FARIAS, A. T. V. DE. Crescimento e desenvolvimento do algodoeiro em função de doses de silício e ácido salicílico. 17 ago. 2012.

FAROOQ, M. et al. DROUGHT STRESS: Comparative Time Course Action of the Foliar Applied Glycinebetaine, Salicylic Acid, Nitrous Oxide, Brassinosteroids and Spermine in Improving Drought Resistance of Rice. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 196, n. 5, p. 336–345, 2010.

FERNANDES, C. D. F. et al. Atividade peroxidásica em feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Aporé na presença de ácido salicílico e *Thanatephorus cucumeris*. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 72–79, 6 jan. 2020.

FERNANDES, C. F. et al. **Mecanismos de defesa de plantas contra o ataque de agentes fitopatogênicos**. 1. ed. Porto Velho, RO, Embrapa Rondônia, 2009. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/710939/1/133fitopatogenos.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2024.

FERREIRA, F. N. et al. AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE DA LIPOXIGENASE NA CASTANHA DO BRASIL (*Bertholletia excelsa*). **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 29, n. 1, 26 ago. 2011.

FERREIRA JÚNIOR, D. DA C. Teor de lignina e respostas antioxidantes de milho forrageiro sob estresse salino e ácido salicílico exógeno. 23 mar. 2018.

FREITAS, C. et al. Mecanismos de defesa de plantas contra o ataque de agentes fitopatogênicos. **Embrapa Rondônia**, n. 133, p. 14, 2009.

GAFFNEY, T. et al. Requirement of salicylic Acid for the induction of systemic acquired resistance. **Science (New York, N.Y.)**, v. 261, n. 5122, p. 754–756, 6 ago. 1993.

GARCIA-BRUGGER, A. et al. Early signaling events induced by elicitors of plant defenses. **Molecular plant-microbe interactions: MPMI**, v. 19, n. 7, p. 711–724, jul. 2006.

GASTL FILHO, J. et al. ÁCIDO SALICÍLICO E POTENCIAL GERMINATIVO NA GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE PEPINO. **Revista Inova Ciência & Tecnologia / Innovative Science & Technology Journal**, p. 7–12, 1 dez. 2017.

GLAZEBROOK, J. Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, v. 43, p. 205–227, 2005.

GOMES, C. A. et al. APLICAÇÃO DE ÁCIDO SALICÍLICO COMO ATENUADOR DOS EFEITOS DE DÉFICIT HÍDRICO NO MILHO. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 4, n. 3, p. 0359–0363, 16 jul. 2018.

GÓMEZ-KRAPP, L. M. **Avaliação funcional do gene SaMT de *Citrus reticulata* na resistência a fitopatógenos de citros através da superexpressão em *Nicotiana tabacum***. PhD Thesis—[s.l.] Instituto agrônomo, 2016.

GONDOR, O. K. et al. Salicylic Acid and Sodium Salicylate Alleviate Cadmium Toxicity to Different Extents in Maize (*Zea mays* L.). **PLoS ONE**, v. 11, n. 8, p. e0160157, 4 ago. 2016.

GORNI, P. H. **Promoção de crescimento e atividade elicitora do ácido salicílico em *Achillea millefolium* L.** Dissertação de mestrado—Presidente Prudente: Universidade do Oeste Paulista, 2015.

GRAND, B. Historia del descubrimiento de los agentes antitrombóticos clásicos: aspirina, heparina y anticoagulantes orales. Una serendipia con perseverancia. **Revista Hematología**, v. 22, n. 1, p. 95–102, 2018.

GRIPPE, T. AAS, a “droga maravilhosa”. **Revista Ser Médico**, n. 74, p. 28, 2016.

GROSS, M.; GREENBERG, L. A. **The Salicylates A Critical Bibliographic Review**. New Haven: [s.n.]. v. 2

GUAN, Y. et al. “On-off” thermoresponsive coating agent containing salicylic acid applied to maize seeds for chilling tolerance. **PloS One**, v. 10, n. 3, p. e0120695, 2015.

Guichard B, Wu H, La Camera S, Hu R, Marivingt-Mounir C, Chollet JF. **Synthesis, phloem mobility and induced plant resistance of synthetic salicylic acid amino acid or glucose conjugates**. Pest Manag Sci. 2022 Nov;78(11):4913-4928. doi: 10.1002/ps.7112. Epub 2022 Aug 26. PMID: 36054797; PMCID: PMC9804902.

GUNES, A. et al. Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, n. 6, p. 728–736, 4 jun. 2007.

GUPTA, S.; MEENA, M. KR.; DATTA, S. The Alleviating Effect of Salicylic Acid on Early Seedling Growth Of Soybean Under Zinc and Lead Stress. v. 6, p. 48–54, 2017.

GUTIÉRREZ-CORONADO, M. A.; TREJO-LÓPEZ, C.; LARQUÉ-SAAVEDRA, A. Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 36, n. 8, p. 563–565, 1 ago. 1998.

HAMMOND-KOSACK, K. E.; JONES, J. D. G. Responses to plant pathogens. In: BUCHANAN, B.; GRUISSEM, W., JONES, R. (Ed.) **Biochemistry and Molecular Biology of Plants**. Rockville, Maryland, American Society of Plant Physiologists, 2000. cap. 21, p. 1102-1157.

HASANUZZAMAN, M. et al. Exogenous salicylic acid alleviates salt stress-induced oxidative damage in *Brassica napus* by enhancing the antioxidant defense and glyoxalase systems. **Australian Journal of Crop Science**, v. 8, p. 631–639, 1 abr. 2014.

HEGAZI, A.; EL-SHRAIY, A. M. Impact of Salicylic Acid and Paclobutrazol Exogenous Application on the Growth, Yield and Nodule Formation of Common Bean. v. 1, p. 834–840, 2007.

HOLOPAINEN, J.K & GERHENZON, J. Multiple stress factors and the emission of plant VOCs. **Trends in Plant Science**. v.15, p.1360- 1385, 2010.

HU, J.; JIANG, J.; WANG, N. Control of Citrus Huanglongbing via Trunk Injection of Plant Defense Activators and Antibiotics. **Phytopathology®**, v. 108, n. 2, p. 186–195, fev. 2018.

IQBAL, Z. **Innovative Approaches to control postharvest diseases in fruits**. Relatório de pesquisa - Pós-Doutorado—WA, Austrália: Curtin University of Technology, 2010.

JACK, D. B. One hundred years of aspirin. **The Lancet**, v. 350, n. 9075, p. 437–439, ago. 1997.

JASIM, J. N.; ATI, M. A.-A. Effect of salicylic acid on antioxidant enzymes and biochemical contents of date palm plantlets (*Phoenix dactylifera* L.) under salt stress conditions. *Indian Journal of Ecology*. v. 47, n. 2, p. 378–382, 2020.

JAYAKANNAN, M. et al. The NPR1-dependent salicylic acid signalling pathway is pivotal for enhanced salt and oxidative stress tolerance in *Arabidopsis*. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 7, p. 1865–1875, abr. 2015.

JIANG, L.; YANG, H. Prometryne-induced oxidative stress and impact on antioxidant enzymes in wheat. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 72, n. 6, p. 1687–1693, set. 2009.

KARABOURNIOTIS, G. et al. “Carbon gain vs. water saving, growth vs. defence”: Two dilemmas with soluble phenolics as a joker. **Plant Science**, v. 227, p. 21–27, 1 out. 2014.

KESSMANN, H. et al. Induction of Systemic Acquired Disease Resistance in Plants by Chemicals. **Annual Review of Phytopathology**, v. 32, n. 1, p. 439–459, 1994.

Kim TJ, Lim GH. **Salicylic Acid and Mobile Regulators of Systemic Immunity in Plants: Transport and Metabolism**. *Plants (Basel)*. 2023;12(5):1013. Published 2023 Feb 23. doi:10.3390/plants12051013

KHAN, N. et al. Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. **International Journal of Plant Biology**, v. 1, n. 1, 2010.

KHAN, W.; PRITHIVIRAJ, B.; SMITH, D. L. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, n. 5, p. 485–492, 2003.

KHANNA, P.; KAUR, K.; GUPTA, A. K. Salicylic acid induces differential antioxidant response in spring maize under high temperature stress. **Indian Journal of Experimental Biology**, v. 54, n. 6, p. 386–393, jun. 2016.

KLESSIG, D. F. et al. Nitric oxide and salicylic acid signaling in plant defense. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 97, n. 16, p. 8849–8855, ago. 2000.

Koo YM, Heo AY, Choi HW. Salicylic Acid as a Safe Plant Protector and Growth Regulator. *Plant Pathol J.* 2020;

KORDI, S.; SAIDI, M.; GHANBARI, F. Induction of Drought Tolerance in Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L) by Salicylic Acid. v. 2, n. 2, 2013.

KOVÁČIK, J. et al. Salicylic acid-induced changes to growth and phenolic metabolism in *Matricaria chamomilla* plants. **Plant Cell Reports**, v. 28, n. 1, p. 135–143, jan. 2009.

KRANTEV, A. et al. Treatment with salicylic acid decreases the effect of cadmium on photosynthesis in maize plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 165, n. 9, p. 920–931, 16 jun. 2008.

KUCHLAN*, P.; KUCHLAN, M. K.; HUSAIN, S. M. Effect of foliar application of growth activator, promoter and antioxidant on seed quality of soybean. **Legume Research**, 17 ago. 2016.

LA, V. H. et al. Salicylic acid improves drought-stress tolerance by regulating the redox status and proline metabolism in *Brassica rapa*. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 60, n. 1, p. 31–40, 1 fev. 2019.

LAFONT, O. Du saule à l'aspirine. **Revue d'Histoire de la Pharmacie**, v. 94, n. 354, p. 209–216, 2007.

LÄMKE, J.; BÄURLE, I. Epigenetic and chromatin-based mechanisms in environmental stress adaptation and stress memory in plants. **Genome Biology**, v. 18, n. 1, p. 124, 27 jun. 2017.

LAN, T. et al. The interaction of salicylic acid and Ca^{2+} alleviates aluminum toxicity in soybean (*Glycine max* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 98, p. 146–154, 1 jan. 2016.

LARQUÉ-SAAVEDRA, A. et al. Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Revista Chapingo. Serie horticultura**, v. 16, n. 3, p. 183–187, dez. 2010.

LAWTON, K. et al. Systemic acquired resistance in *Arabidopsis* requires salicylic acid but not ethylene. **Molecular plant-microbe interactions: MPMI**, v. 8, n. 6, p. 863–870, 1995.

LÉVESQUE, H.; LAFONT, O. L'aspirine à travers les siècles: Rappel historique. **La Revue de Médecine Interne**, v. 21, p. 8–17, 2000.

LI, J.; TRIVEDI, P.; WANG, N. Field Evaluation of Plant Defense Inducers for the Control of Citrus Huanglongbing. **Phytopathology**, v. 106, n. 1, p. 37–46, jan. 2016.

Li, T., Huang, Y., Xu, ZS. e outros. Resistência diferencial induzida pelo ácido salicílico ao *Tomato yellow leaf curl virus* entre cultivares de tomate resistentes e suscetíveis. **BMC Planta Biol** 19, 173 (2019). <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1784-0>

LI, YUTING et al. Exogenous SA or 6-BA maintains photosynthetic activity in maize leaves under high temperature stress. **The Crop Journal**, v. 11, n. 2, p. 605-617, 2023.

LI, Z. et al. Plant Salinity Stress Response and Nano-Enabled Plant Salt Tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022.

LIMA, J. D. DE et al. Salicylic acid at beans germination against salt stress. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 88–92, 20 abr. 2019.

LOPES, L. F. Efeitos de aplicações pós-colheita de fosfitos, ácido acetilsalicílico e 1- metilciclopropeno sobre a antracnose do mamoeiro. 2008.

M. P. POSADA. **Efeito do ácido salicílico na germinação de sementes de alface em diferentes períodos de condicionamento**. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão. **Anais...**: 2.2017.

MADAMANCHI, N. R.; KUĆ, J. Induced Systemic Resistance in Plants. Em: COLE, G. T.; HOCH, H. C. (Eds.). **The Fungal Spore and Disease Initiation in Plants and Animals**. Boston, MA: Springer US, 1991. p. 347–362.

MAHDAVIAN, K. The effect of various concentrations salicylic acid on mitigation of sodium chloride stress in growth parameters and photosynthetic pigments of sunflower plant (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research**, v. 12, n. 47, p. 93–106, 2017a.

MAHDAVIAN, K. Effect of different concentrations of salicylic acid on salt tolerance of barley (*Hordeum vulgare* L.). **Crop Physiol**, v. 36, p. 121–136, 2017b.

MAHDI, J. G. et al. The historical analysis of aspirin discovery, its relation to the willow tree and antiproliferative and anticancer potential. **Cell Proliferation**, v. 39, n. 2, p. 147–155, abr. 2006.

MAHMOUD, L. M. et al. The response of salt-stressed Valencia sweet orange (*Citrus sinensis*) to salicylic acid and methyl jasmonate treatments. **Plant Physiology Reports**, v. 26, n. 1, p. 137–151, 1 mar. 2021.

MAPA. **MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária, Abastecimento**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2022-2023-a-2032-2033.pdf>>. Acesso em: 8 jan. 2023.

MARTINEZ, C. et al. Salicylic Acid Mediated by the Oxidative Burst Is a Key Molecule in Local and Systemic Responses of Cotton Challenged by an Avirulent Race of *Xanthomonas campestris* pv *malvacearum*. **Plant Physiology**, v. 122, n. 3, p. 757–766, mar. 2000.

MAZARO, S. M. et al. Qualidade pós-colheita de acerolas tratadas com ácido salicílico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 10, n. 4, p. 512–517, 31 dez. 2015.

MÉTRAUXS, J.-P. Systemic Acquired Resistance And Salicylic Acid: Current State Of Knowledge. **European Journal of Plant Pathology**, v. 107, n. 1, p. 13–18, 1 jan. 2001.

MISRA, N. et al. Salicylic acid alters antioxidant and phenolics metabolism in *Catharanthus roseus* grown under salinity stress. **African journal of traditional, complementary, and alternative medicines: AJTCAM**, v. 11, n. 5, p. 118–125, 2014.

MITTLER, RON et al. **Reactive oxygen species signalling in plant stress responses**. *Nature reviews Molecular cell biology*, v. 23, n. 10, p. 663–679, 2022.

MIURA, K.; TADA, Y. Regulation of water, salinity, and cold stress responses by salicylic acid. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, 2014.

MOHAMMADI, H. et al. Exogenous Salicylic Acid Mitigates Adverse Effects of Salinity on some Photosynthesis-Related Parameters of Almond. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 22, n. 2, p. 519–534, 10 mar. 2020.

MONTESANO, M.; BRADER, G.; PALVA, E. T. Pathogen derived elicitors: searching for receptors in plants. **Molecular Plant Pathology**, v. 4, n. 1, p. 73–79, 1 jan. 2003.

MOREIRA, G. G. et al. Condicionamento fisiológico de sementes de melão com diferentes soluções de ácido giberélico e ácido salicílico. 2. v. 31, p. 3652–3659, 28 jul. 2014.

Murphy AM, Zhou T, Carr JP. An update on salicylic acid biosynthesis, its induction and potential exploitation by plant viruses. **Curr Opin Virol**. 2020;42:8–17. doi:10.1016/j.coviro.2020.02.008

NAPOLEÃO, T. A. Efeitos do metil jasmonato e ácido salicílico na composição da parede celular, metabolismo secundário e recalcitrância em *Brachypodium distachyon*. 17 jul. 2015.

NASCIMENTO, C. A. et al. Overexpression of CsSAMT in *Citrus sinensis* Induces Defense Response and Increases Resistance to *Xanthomonas citri* subsp. *citri*. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022.

NÓBREGA, J. S. et al. Efeitos da salinidade da água de irrigação e do ácido salicílico na germinação e no vigor de *Mesosphaerum suaveolens* (L.) Kuntze. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 5, p. 1507–1516, 17 jun. 2020.

NÜRNBERGER, T. Signal perception in plant pathogen defense. **Cellular and molecular life sciences: CMLS**, v. 55, n. 2, p. 167–182, fev. 1999.

Oates, JA (1982). O prêmio Nobel de fisiologia ou medicina de 1982. **Ciência**, 218 (4574), 765-768.

PANCHEVA, T. V.; POPOVA, L. P.; UZUNOVA, A. N. Effects of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 149, n. 1, p. 57–63, 1 jan. 1996.

PAULO, T. B. DE. **A sustentabilidade no agronegócio a partir de uma análise jurídica**. Dissertação de mestrado—São Paulo - SP: Universidade Nove de Julho, 3 fev. 2021.

PEIXOTO, F. et al. Toxicological effects of oxyfluorfen on oxidative stress enzymes in tilapia *Oreochromis niloticus*. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 85, n. 2, p. 91–96, 1 jun. 2006.

PIERPOINT, W. S. Edward Stone (1702-1768) and Edmund Stone (1700-1768): confused identities resolved. **Notes and Records of the Royal Society of London**, 22 jul. 1997.

PIETERSE, C. M. J. et al. Networking by small-molecule hormones in plant immunity. **Nature Chemical Biology**, v. 5, n. 5, p. 308–316, maio 2009.

POÓR, P. et al. Salicylic acid treatment via the rooting medium interferes with stomatal response, CO₂ fixation rate and carbohydrate metabolism in tomato, and decreases harmful effects of subsequent salt stress. **Plant Biology (Stuttgart, Germany)**, v. 13, n. 1, p. 105–114, jan. 2011.

POPOVA, L. P. et al. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings - PubMed. v. 47, p. 224–231, 2009.

RADWAN, D. E. M. Salicylic acid induced alleviation of oxidative stress caused by clethodim in maize (*Zea mays* L.) leaves. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 102, n. 2, p. 182–188, 1 fev. 2012.

RAIRDAN, G. J.; DELANEY, T. P. Role of Salicylic Acid and NIM1/NPR1 in Race-Specific Resistance in Arabidopsis. **Genetics**, v. 161, n. 2, p. 803–811, 1 jun. 2002.

RAITER, M. S. **Efeito da aplicação de boro, silício e ácido salicílico nos pigmentos foliares do algodoeiro**. Trabalho de conclusão de curso—Mato grosso do Sul: Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2023.

RASKIN, I. Salicylate, A New Plant Hormone. **Plant Physiology**, v. 99, n. 3, p. 799–803, jul. 1992.

RAZA, M. A. et al. Salicylic acid enhances fiber quality and yield attributes in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). v. 13, n. 1, p. 267–274, 2018.

RAZA, Ali et al. Role of phytohormones in regulating cold stress tolerance: physiological and molecular approaches for developing cold-smart crop plants. **Plant Stress**, p. 100152, 2023.

REHMAN, Z. et al. Exogenous application of salicylic acid enhances salt stress tolerance in lemongrass (CYMBOPOGON FLEXUOSUS STEUD WATS). **Pakistan Journal of Botany**, v. 54, n. 2, p. 371–378, 2022.

RIGAULT, M., CITERNE, S., MASCLAUX-DAUBRESSE, C. et al. **Salicylic acid is a key player of Arabidopsis autophagy mutant susceptibility to the necrotrophic bacterium Dickeya dadantii**. Sci Rep 11, 3624 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83067-6>

RODRIGUES, C. M. et al. RNA-Seq analysis of Citrus reticulata in the early stages of Xylella fastidiosa infection reveals auxin-related genes as a defense response. **BMC Genomics**, v. 14, n. 1, p. 676, 3 out. 2013.

RONQUI, M. B. **Silício e Ácido salicílico na cultura do milho**. Dissertação de mestrado—Mato grosso do Sul: Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 28 nov. 2016.

ROSS, A. F. Localized acquired resistance to plant virus infection in hypersensitive hosts. **Virology**, v. 14, n. 3, p. 329–339, 1 jul. 1961a.

ROSS, A. F. Systemic acquired resistance induced by localized virus infections in plants. **Virology**, v. 14, n. 3, p. 340–358, 1 jul. 1961b.

RYALS, J. et al. Systemic Acquired Resistance. **The Plant Cell**, v. 8, n. 10, p. 1809–1819, out. 1996.

SÁ, É. DA S. E. **Determinação espectrofotométrica de ácido salicílico em produtos dermatológicos**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

SABOON, I. R. et al. SALICYLIC ACID ENHANCES WHEAT PLANT GROWTH UNDER WATER STRESS CONDITIONS. **INT. J. BIOL. BIOTECH.**, v. 12, p. 329–336, 15 mar. 2015.

SADEGHIPOUR, O. Impact of exogenous salicylic acid application on some traits of common bean (Phaseolus vulgaris L.) under water stress conditions. **International Journal of Agriculture and Crop Science**, v. 4, p. 685–690, 2012.

SAMADI, S.; HABIBI, G.; VAZIRI, A. Effects of exogenous salicylic acid on antioxidative responses, phenolic metabolism and photochemical activity of strawberry under salt stress. **Iranian Journal of Plant Physiology**, v. 9, n. 2, p. 2685–2694, 1 jan. 2019.

SANDOVAL, C. P.; LOMBA, R. M. Evolución de los conocimientos sobre el Ácido Acetil Salicílico. **Revista Médica Electrónica**, v. 29, n. 4, p. 424–430, 15 jul. 2007.

SARUHAN, N.; SAGLAM, A.; KADIOGLU, A. Salicylic acid pretreatment induces drought tolerance and delays leaf rolling by inducing antioxidant systems in maize genotypes. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 34, n. 1, p. 97–106, 1 jan. 2012.

SEYFFERTH, C.; TSUDA, K. Salicylic acid signal transduction: the initiation of biosynthesis, perception and transcriptional reprogramming. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, 2014.

SHABANA, Y. M. et al. Control of brown spot pathogen of rice (*Bipolaris oryzae*) using some phenolic antioxidants. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 39, p. 438–444, set. 2008.

SHAN, C.; WANG, Y. Exogenous salicylic acid-induced nitric oxide regulates leaf water condition through root osmoregulation of maize seedlings under drought stress. **Brazilian Journal of Botany**, v. 40, n. 2, p. 591–597, 1 jun. 2017.

SHARMA, M. et al. Salicylic acid mediated growth, physiological and proteomic responses in two wheat varieties under drought stress. **Journal of Proteomics**, v. 163, p. 28–51, 23 jun. 2017.

SHORESH, M.; HARMAN, G. E.; MASTOURI, F. Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. **Annual Review of Phytopathology**, v. 48, p. 21–43, 2010.

SILVA, A. R. et al. Biomass of sugar-apple seedlings under saline water irrigation in substrate with polymer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 610–615, set. 2018a.

SILVA, T. C. F. S. et al. Uso de diferentes concentrações de ácido salicílico na germinação de sementes de melancia Crimson Sweet. **Hortic. bras.**, v. 30, n. 2, 2012.

SILVA, A. A. R. DA et al. Salicylic acid relieves the effect of saline stress on soursop morphophysiology. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 45, p. e007021, 2021.

SILVA, A. A. R. DA et al. Salicylic acid improves physiological indicators of soursop irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 412–419, 9 mar. 2022.

SILVA, A. C. DA et al. Salicylic acid as attenuator of drought stress on germination and initial development of sesame. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 156–162, mar. 2017.

SILVA, F. A. M.; BORGES, M. F. M.; FERREIRA, M. A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, v. 22, p. 94–103, fev. 1999.

SILVA, J. M. P. ; CAVICHIOLI , F. A. . **O USO DA AGRICULTURA 4.0 COMO PERSPECTIVA DO AUMENTO DA PRODUTIVIDADE NO CAMPO**. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 616–629, 2020. DOI: 10.31510/infa.v17i2.1068. Disponível em:

<https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1068>. Acesso em: 28 jan. 2024.

SILVA, S. T. DE A. **Aplicação foliar de ácido salicílico como atenuante do estresse salino no algodoeiro naturalmente colorido**. Trabalho de conclusão de curso—Campina Grande -PB: Universidade Federal de Campina Grande, 2 mar. 2022.

SILVA, T. et al. Ocimum basilicum L. Seeds Quality as Submitted to Saline Stress and Salicylic Acid. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 5, p. p159, 11 abr. 2018b.

SILVA, M. DOS S. et al.. Aplicação exógena do ácido salicílico em maracujazeiro-amarelo para o controle do vírus do endurecimento dos frutos. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 83, 2016.

SINGH, B.; USHA, K. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. **Plant Growth Regulation**, v. 39, n. 2, p. 137–141, 1 fev. 2003.

SMITH, J.; JOHNSON, A.; DAVIS, R. A aplicação de AS pode aumentar a taxa de crescimento, a taxa fotossintética e a eficiência do uso da água em plantas de algodão quando cultivadas sob estresse hídrico. v. 20, n. 2, p. 45–56, 2018.

SOARES, G. C. M. **EFEITO DO ÁCIDO SALICÍLICO NO METABOLISMO PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO DE PLANTAS DE ARROZ, MILHO E CANA-DE-AÇÚCAR**. Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa, 2016.

SOMSSICH, I. E.; HAHLBROCK, K. Pathogen defence in plants — a paradigm of biological complexity - ScienceDirect. v. 3, n. 3, p. 86–90, 1998.

SONG, N. H.; CHEN, L.; YANG, H. Effect of dissolved organic matter on mobility and activation of chlorotoluron in soil and wheat. **Geoderma**, v. 146, n. 1, p. 344–352, 31 jul. 2008.

SONG W, SHAO H, ZHENG A, ZHAO L, XU Y. **Advances in Roles of Salicylic Acid in Plant Tolerance Responses to Biotic and Abiotic Stresses**. Plants (Basel). 2023;12(19):3475. Published 2023 Oct 4.

SOURI, M. K.; TOHIDLOO, G. Effectiveness of different methods of salicylic acid application on growth characteristics of tomato seedlings under salinity. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 26, 29 nov. 2019.

SOUZA, F. S. DE et al. Fisiologia e componentes de produção do algodoeiro sob estresse salino e aplicação de ácido salicílico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 44, n. 1, p. 147–170, 6 mar. 2023.

Spoel SH, Dong X. **Salicylic Acid in Plant Immunity and Beyond**. Plant Cell. 2024 Jan 2:koad329. doi: 10.1093/plcell/koad329. Epub ahead of print. PMID: 38163634.

STONE, E. **An account of the success of the bark of the willow in the cure of agues. In a letter to the Right Honourable George Earl of Macclesfield, President of R. S. from the Rev. Mr. Edward Stone, of Chipping-Norton in Oxfordshire.** , 1763. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/epdf/10.1098/rstl.1763.0033>>. Acesso em: 23 abr. 2023

SURIYAN, C.; CHALERMPOL, K. Proline Accumulation, Photosynthetic Abilities and Growth Characters of Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Plantlets in Response to Iso-Osmotic Salt and Water-Deficit Stress. **Agricultural Sciences in China**, v. 8, n. 1, p. 51–58, 1 jan. 2009.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. [s.l: s.n.].

TANG, Y. et al. Implications of terminal oxidase function in regulation of salicylic acid on soybean seedling photosynthetic performance under water stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 112, p. 19–28, 1 mar. 2017.

TANNURI, L. A. R. et al. Exogenous application of salicylic acid to control coffee rust. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 43, p. e54495–e54495, 23 mar. 2021.

TEIXEIRA, M. G., CARVALHO, M., LEITE, M. A., BARBOSA, S., SANTOS FILHO, P. R. DOS., & SANTOS, B. R.. **Effect of Salicylic Acid, 2,4-D and 2i-P on the Production of Secondary Metabolites in *Garcinia brasiliensis* Mart. Callus.** Brazilian Archives of Biology and Technology, 62, e19170303. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2019170303>. 2019

TONEL, F. R. et al. Salicylic acid: physiological and biochemical changes in seeds and maize seedlings subjected to salt stress. **Journal of Seed Science**, v. 35, p. 457–465, 2013.

USAID-RED. Programa de Diversificación Económica Rural. El Uso del Ácido Salicílico y Fosfonatos (Fosfitos) para Activar el Sistema de Resistencia de la Planta (SAR). Honduras: Oficina FHIA. 2006. (Boletín Técnico de Producción).

VANE, J. R. The fight against rheumatism: from willow bark to COX-1 sparing drugs. **Journal of Physiology and Pharmacology: An Official Journal of the Polish Physiological Society**, v. 51, n. 4 Pt 1, p. 573–586, dez. 2000.

VERBENE, M. C.; VERPOORTE, R.; BOL, J. F.; MERCADO-BLANCO, J.; LINTHORST, H. J. M. Overproduction of salicylic acid in plants by bacterial transgenes enhances pathogen resistance. **Nature Biotechnology**, New York, v. 18, p. 779–783, 2000.

VERNOOIJ, B. et al. Salicylic Acid Is Not the Translocated Signal Responsible for Inducing Systemic Acquired Resistance but Is Required in Signal Transduction. **The Plant Cell**, v. 6, n. 7, p. 959–965, jul. 1994.

VILARINHO, M. S. **CRESCIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE MELANCIA (*Citrullus lanatus* L.) cv. Crimson Sweet EM RESPOSTA AO ÁCIDO**

SALICÍLICO E HIDROGEL. Dissertação de mestrado—Goiás: Instituto Federal Goiano, 4 set. 2017.

VOGT, T. Phenylpropanoid biosynthesis. **Molecular Plant**, v. 3, n. 1, p. 2–20, 2010.

WANG, Y.; LIU, J.-H. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates occurrence of citrus canker in susceptible navel orange (*Citrus sinensis* Osbeck). **Journal of Plant Physiology**, v. 169, n. 12, p. 1143–1149, 15 ago. 2012.

WARD, E. R. et al. Coordinate Gene Activity in Response to Agents That Induce Systemic Acquired Resistance. **The Plant Cell**, v. 3, n. 10, p. 1085–1094, out. 1991.

WILDERMUTH, M. C. et al. Isochorismate synthase is required to synthesize salicylic acid for plant defence. **Nature**, v. 414, n. 6863, p. 562–565, nov. 2001.

WITTEK, F. et al. Folic acid induces salicylic acid-dependent immunity in *Arabidopsis* and enhances susceptibility to *Alternaria brassicicola*. **Molecular Plant Pathology**, v. 16, n. 6, p. 616–622, 15 dez. 2014.

WU, J.; BALDWIN, I. T. New insights into plant responses to the attack from insect herbivores. **Annual Review of Genetics**, v. 44, p. 1–24, 2010.

YAO, H.; TIAN, S. Effects of pre- and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet cherry fruit in storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 35, n. 3, p. 253–262, 1 mar. 2005.

YIN, X. L. et al. Toxic Reactivity of Wheat (*Triticum aestivum*) Plants to Herbicide Isoproturon. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 12, p. 4825–4831, 1 jun. 2008.

YOSSEF, A. et al. Alleviation of Drought Effect on Sunflower (*Helianthus annuus* L.) c.v. Sakha-53 Cultivar by Foliar Spraying with Antioxidant. **Middle East Journal of Agriculture Research**, v. 4, p. 794–801, 2015.

YU, T.; ZHENG, X. D. Salicylic Acid Enhances Biocontrol Efficacy of the Antagonist *Cryptococcus laurentii* in Apple Fruit. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 25, n. 2, p. 166–174, 1 jun. 2006.

YUSUF, M. et al. Salicylic Acid: Physiological Roles in Plants. Em: HAYAT, S.; AHMAD, A.; ALYEMENI, M. N. (Eds.). **SALICYLIC ACID: Plant Growth and Development**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. p. 15–30.

ZAIDI, H. S. et al. Foliar application of salicylic acid reduced the harsh influences of water deficit and biochemical contents in varying degree in sunflower. **Sindh University Research Journal (Science Series)**, v. 47, n. 4, p. 645–648, 2015.

ZAREIE, R.; MELANSON, D. L.; MURPHY, P. J. Isolation of fungal cell wall degrading proteins from barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves infected with *Rhynchosporium secalis*. **Molecular plant-microbe interactions: MPMI**, v. 15, n. 10, p. 1031–1039, out. 2002.

ZOU, X. et al. Overexpression of Salicylic Acid Carboxyl Methyltransferase (CsSAMT1) Enhances Tolerance to Huanglongbing Disease in Wanjincheng Orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 6, p. 2803, 10 mar. 2021.