

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CARLA DE SOUZA CAVALCANTE MATIAS

FITORREGULADORES E HORMÔNIOS VEGETAIS NO MERCADO DE PLANTAS ORNAMENTAIS

CURITIBA

2023

CARLA DE SOUZA CAVALCANTE MATIAS

FITORREGULADORES E HORMÔNIOS VEGETAIS NO MERCADO DE PLANTAS ORNAMENTAIS

Tese de conclusão de curso, apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel no curso de Agronomia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Fernandes da Silva

CURITIBA

2023

CARLA DE SOUZA CAVALCANTE MATIAS

FITORREGULADORES E HORMÔNIOS VEGETAIS NO MERCADO DE PLANTAS ORNAMENTAIS

Tese de conclusão de curso, apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel no curso de Agronomia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Fernandes da Silva

CURITIBA

2023

TERMO DE APROVAÇÃO

CARLA DE SOUZA CAVALCANTE MATIAS

FITORREGULADORES E HORMÔNIOS VEGETAIS NO MERCADO DE PLANTAS ORNAMENTAIS

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro(a) Agrônomo(a) no Curso de Graduação em Agronomia, pela seguinte banca examinadora:

Daniel Fernandes da Silva

Orientador Professor Doutor Daniel Fernandes da Silva
Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade
Setor de Ciências Agrárias

Ariane Cristina Cosmo

Mestranda Ariane Cristina Cosmo
Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade
Setor de Ciências Agrárias

Franciele Paludo

Doutoranda Franciele Paludo
Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade
Setor de Ciências Agrárias

Curitiba, 11 de julho de 2023

RESUMO

Neste trabalho, foi realizado um estudo acerca dos principais hormônios vegetais (auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico e etileno), e como se diferem de moléculas fitorreguladoras, abordando a importância dessas e formas de aplicação prática e potencial no mercado de plantas ornamentais. Foi abordado o histórico de descoberta dos fitohormônios, mostrando um panorama geral sobre eles, incluindo os hormônios mais recentes na literatura (bassinosteróides, poliaminas, ácido jasmônico e ácido salicílico) e detalhando como sua biossíntese é feita nos tecidos vegetais. São apresentados os fitorreguladores vegetais, salientando a importante ferramenta que representam na produção, estudo e comercialização de plantas, com um impacto grande na propagação de plantas ornamentais, principalmente pela propagação *in vitro* e enraizamento de estacas. São dissertados os meios em que esse produto pode ser comercializado e utilizado e como agem nas plantas para desencadear as respostas esperadas. Por fim, a autora entra na cadeia produtiva de plantas ornamentais, mostrando as situações em que os fitorreguladores podem nela ser utilizados e apresentando algumas espécies que possuem potencial para a utilização dessa tecnologia, como o crisântemo, o gladiolo, as rosas, o craveiro e o rojão. Por fim, foi possível concluir que, apesar de mais de um século de estudo, ainda existe muito potencial por trás dessas moléculas a ser explorado, inclusive no mercado de plantas ornamentais, onde já estão entremeados, mas ainda são capazes de aumentar a produtividade, qualidade e duração pós-colheita da produção de forma significativa.

Palavras-chave: Fitohormônios, fitorreguladores, auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico, etileno, ornamentais.

ABSTRACT

In this work, a study was carried out on the main plant hormones (auxins, cytokinins, gibberellins, abscisic acid and ethylene), and how they differ from phyto regulators, addressing their importance and ways of practical and potential application in the ornamental plant market. The history of discovery of phytohormones was told, showing an overview of them, including the most recent hormones in the literature (bassinosteroids, polyamines, jasmonic acid and salicylic acid) and detailing how their biosynthesis is carried out in plant tissues. Plant phyto regulators are presented, highlighting the important tool they represent in the production, study and commercialization of plants, with a great impact on the propagation of ornamental plants, mainly through *in vitro* propagation and rooting of cuttings. The ways in which this product can be marketed and used and how they act in plants to trigger the expected responses were discussed. Finally, the author enters the production chain of ornamental plants, showing the situations in which phyto regulators can be used in it and presenting some species that have potential for the use of this technology, such as chrysanthemum, gladiolus, roses, carnation and marigold. Finally, it was possible to conclude that, despite more than a century of study, there is still a lot of potential behind these molecules to be explored, including in the ornamental plant market, where they are already present, but are still capable of increasing significantly productivity, quality and post-harvest duration of production.

Keywords: Phytohormones, phyto regulators, auxins, cytokinins, gibberellins, abscisic acid, ethylene, ornamentals.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	7
3. METODOLOGIA	7
4. HISTÓRICO	7
5. HORMÔNIOS VEGETAIS	10
6. FITORREGULADORES VEGETAIS	14
7. IMPORTÂNCIA DOS FITORREGULADORES	15
8. BIOSÍNTESE DOS PRINCIPAIS HORMÔNIOS VEGETAIS	16
9. MEIOS DE UTILIZAÇÃO	21
10. MODO DE AÇÃO	22
10.1 AUXINAS	22
10.2 CITOCININAS	24
10.3 GIBERELINAS	25
10.4 ÁCIDO ABSCÍSIKO	27
10.5 ETILENO	27
11. SITUAÇÕES PARA UTILIZAÇÃO DE FITOREGULADORES NA CADEIA PRODUTIVA DE PLANTAS ORNAMENTAIS	28
12. APLICAÇÃO DE FITORREGULADORES EM ESPÉCIES ORNAMENTAIS	29
13. CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

Uma planta, do início ao fim do seu ciclo de vida, passa por uma série de eventos geneticamente programados, como germinação de sementes, divisão celular em seus meristemas, alongamento e diferenciação de células, organogênese, entre tantos outros, até enfim sua senescência e morte. Cada um desses eventos ocorre devido à expressão de determinados genes, mas são altamente controlados por fatores ambientais, ou exógenos, como: luz, temperaturas, água e nutrição mineral e fatores endógenos, que são os hormônios vegetais, ou fitormônios (PAULILIO *et al.*, 2010).

As plantas são organismos sésseis, que estão à mercê do ambiente em que estão inseridas, precisando assim de formas para responder ao ambiente, seja para se aproveitar de condições favoráveis, ou para se proteger em condições desfavoráveis. Dessa forma, as plantas desenvolveram um sistema sensorial avançado, que permite a elas otimizar o uso de recursos como água, luz e nutrientes, além de se defender de ameaças bióticas e abióticas (TAIZ *et al.*, 2017).

Ainda segundo os autores, esse sistema sensorial é composto de receptores, que são proteínas que realizam a transdução dos sinais exógenos e endógenos que chegam a eles, a fim de amplificá-lo e gerar uma resposta celular. Essa amplificação pode ocorrer por meio da modificação da atividade de outras proteínas ou por meio da liberação de mensageiros secundários, que desencadeiam a resposta fisiológica, como a transcrição gênica.

Dessa forma, a resposta das plantas a sinais recebidos, geralmente ocorre na seguinte ordem: Sinal → receptor → transdução de sinal → resposta. Onde, muitas vezes, a resposta pode ser a produção de sinais secundários, como hormônios, que serão transportados para o local de ação, onde serão recebidos como um sinal, passando pela cadeia de transdução e desencadeando a resposta fisiológica necessária. Assim, podemos definir os hormônios vegetais, ou fitormônios, como moléculas orgânicas específicas, produzidas na própria planta, que atuam na indução e regulação de seu crescimento e desenvolvimento (TAIZ *et al.*, 2017).

O uso desses fitorreguladores representa uma importante ferramenta para o manejo e propagação de plantas, já que seu uso pode induzir respostas específicas favoráveis, como quebra da dormência em sementes, gemas e bulbos,

enraizamento de estacas, retardamento ou indução do florescimento, inibição da queda de flores e frutos, etc.

Deste modo o presente trabalho traz em seu corpo uma revisão sobre o uso de fitorreguladores na cadeia produtiva da floricultura.

2. OBJETIVOS

Obter informações técnico-científicas a respeito de hormônios e fitorreguladores vegetais, bem como a sua utilização e potencialidades para a cadeia produtiva de plantas ornamentais.

3. METODOLOGIA

O trabalho proposto foi estruturado com base em revisão de literatura a respeito de hormônios e fitorreguladores vegetais, bem como sua utilização na cadeia produtiva de plantas ornamentais, sendo realizado uma prospecção e levantamento de informações sobre os aspectos mais importantes que tangem a síntese e utilização desse grupo de substâncias.

Para tal levantamento utilizou-se meios digitais e impressos no qual pode valer-se de livros, periódicos científicos, revistas técnicas e sites especializados. Buscou-se por meio do refinamento da pesquisa trazer informações consistentes, relevantes, atuais e sintetizadas sobre o assunto nessa obra, constituindo assim uma revisão bibliográfica expositiva.

4. HISTÓRICO

Um dos primeiros estudos acerca de substâncias reguladoras de crescimento, é o livro *The Power of Movement in Plants* (O poder do movimento nas plantas), que foi publicado no ano de 1881, por Charles Darwin e seu filho, Francis. A obra não aborda os hormônios vegetais diretamente, porém é um compilado de estudos precursores acerca do movimento das plantas e seus mecanismos, de forma que pode ser diretamente relacionado a esses compostos, já que desempenham papel fundamental no crescimento, desenvolvimento e até mesmo na resposta das plantas a estímulos ambientais, como no geotropismo observado por eles nas plântulas de alpiste (*Phalaris canariensis*), em que o coleóptilo se movia em direção à fonte de

luz. O que eles chamaram de “influência transmissível” da ponta, nada mais é do que o acúmulo de auxinas na parte oposta da folha, induzindo-a seguir a fonte de luz (KERBAUY, 2008).

Em 1919, Arpad Paál (*in* FRANKENBERGER, 2020) descobriu que esse efeito era causado pelo acúmulo de uma molécula, e que caso distribuída uniformemente, o crescimento da planta seria vertical. Impulsionado por essa descoberta, Frits Warmolt Went iniciou suas pesquisas na tentativa de isolar esse composto. Em suas pesquisas, ele removia a extremidade de um coleóptilo e depositava o recorte dessa extremidade em contato com ágar, de forma a coletar as moléculas que seriam transmitidas dessa ponta. Esse ágar então, ao ser colocado assimetricamente em contato com a extremidade de um coleóptilo que teve sua ponta removida, demonstrou uma curvatura para o lado oposto, proporcional à quantidade da molécula, dessa forma, eles podiam quantificar a substância promotora do crescimento presente no ágar. Este teste pode ser utilizado até hoje e é conhecido como “teste de curvatura do coleóptilo de aveia” (KERBAUY, 2008) (Figura 1).

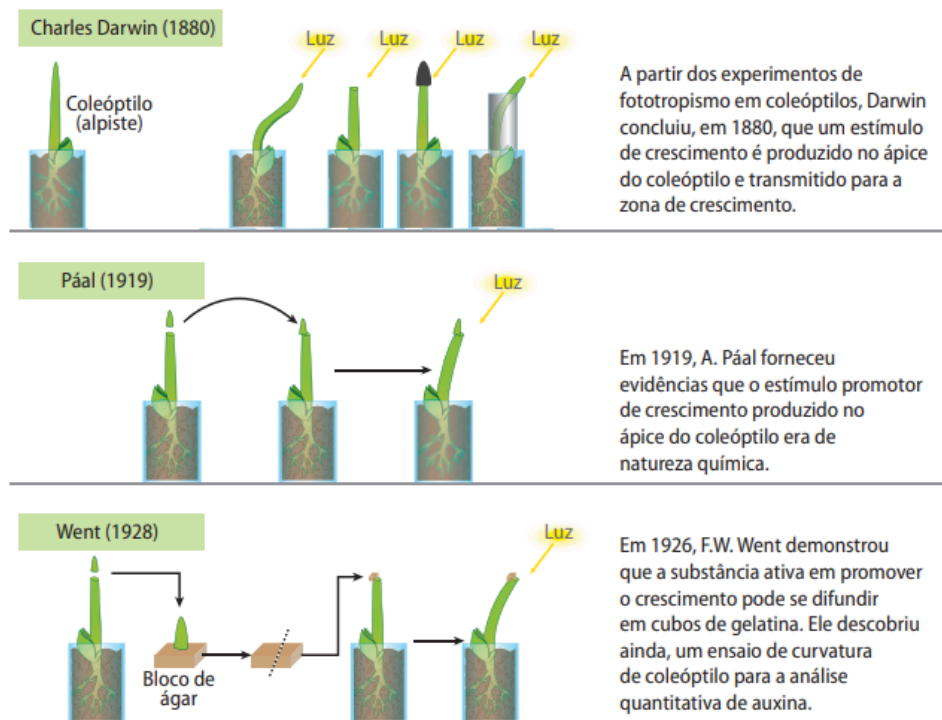


Figura 1: Teste de curvatura do coleóptilo de aveia. (TAIZ *et al.*, 2017)

Em 1934, após testar a habilidade de induzir a curvatura do coleóptilo de aveia em diversas substâncias, Fritz Kögl descobriu que a substância que causava esse efeito era um tipo de auxina, mas não foi até 1941, que a molécula finalmente foi isolada de tecidos vegetais, por A. J. Haagen-Smit, W. D. Leech e W. R. Bergen. Dessa forma, por volta dos anos 50, a auxina foi o primeiro hormônio vegetal a chegar ao consumidor.

A década de 50 também foi a época em que cientistas da Imperial Chemical Industries no Reino Unido e do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos isolaram o segundo grupo conhecido de hormônios de plantas, as giberelinas. Apesar do feito, antes da segunda guerra mundial, cientistas japoneses já haviam isolado o composto, na tentativa de explicar o crescimento anormal e a improdutividade observados em plantas de arroz infectadas pelo fungo *Gibberella fukikuori*. Os cientistas foram capazes de extrair o ingrediente ativo do fungo e denominaram sua forma química de giberelina (HARTMANN *et al.*, 2002).

Ainda nos anos 50, Miller e Skoog da Universidade de Wisconsin nos Estados Unidos, tentavam desenvolver um método eficiente de propagação de células vegetais em meios de cultura de tecidos, eles observaram que os meios de cultura que obtinham maior sucesso, eram suplementados com leite de coco (endosperma líquido). Nas pesquisas, Carlos Miller isolou pela primeira vez a cinetina, que é nomeada assim por atuar sobre o processo de citocinese, estimulando os efeitos da divisão celular. Posteriormente, todos os compostos que possuem efeito sobre a citocinese foram batizados de citocininas (HARTMANN, H.T. *et al.*, 2002).

O etileno foi um dos primeiros fitormônios a ter seu efeito em plantas reportado, em 1901, por Dimitry Neljubow, onde relata que a presença do gás em plantas de ervilhas estioladas provocou inibição do alongamento, aumento radial e orientação horizontal (HARTMANN, H.T. *et al.*, 2002). Após anos de observação e estudos a respeito dos efeitos de fontes sintéticas de etileno em tecidos vegetais, em 1935, Gane constatou que esse gás é naturalmente exsudado pelas plantas. No mesmo ano, Crozier, Hitchcock e Zimmerman, sugeriram que o etileno poderia ser um regulador endógeno de crescimento e poderia ser considerado como o hormônio do amadurecimento (KERBAUY, 2008).

Já na década de 60, os trabalhos de Addicott F.T. detectaram um antagonista da auxina em frutos de algodão que sofreram abscisão que chamaram de abscisina II. Foi apenas em 1967, na 6ª International Conference on Plant Growth Substances

(Conferência Internacional de Substâncias de Crescimento Vegetal) realizada em Ottawa, Canadá, em que o ABA ganhou a nomenclatura que se mantém até hoje (KERBAUY, 2008).

5. HORMÔNIOS VEGETAIS

Os hormônios vegetais são compostos por cinco grupos que tem o seu conhecimento mais elucidado sendo eles as auxinas, giberelinas, citocininas, etileno e ácido abscísico e além deles mais recentemente foram incluídos a este grupo os brassinoesteroides, jasmonatos, salicatos e as poliaminas, pelas funções que desempenham no desenvolvimento do corpo do vegetal.

As auxinas são, não exclusivamente, associadas ao crescimento das plantas, tanto que a biossíntese de sua forma mais comum (AIA, ácido indolacético), apesar de ocorrer na planta toda, é mais acentuada em tecidos de divisão e crescimento acelerados, como meristemas apicais, e folhas e frutos jovens (TAIZ *et al.*, 2017).

As auxinas atuam nas plantas em diversos processos, como: estimulação do alongamento celular (crescimento em altura), ativação da divisão celular nos meristemas apicais, enraizamento de estacas e diferenciação de raízes em cultura de tecidos, crescimento de frutos, dominância apical de caules e ramos, por meio do bloqueio da divisão celular e alongamento celular nas gemas axilares mais próximas do ápice caulinar (Figura 2), fototropismo e geotropismo, onde por meio de receptores chamados de fototropinas, os ápices percebem a luz, alterando o transporte de auxinas para o lado sombreado, onde desencadearão maior crescimento, curvando o órgão na direção da fonte de luz.



Figura 2. Curvatura do hipocótilo de plântulas em direção a luz em função da ação das auxinas (TAIZ *et al.*, 2017).

As giberelinas atuam junto com as auxinas no crescimento e desenvolvimento das plantas. Ela pode ser produzida em diversas partes de uma planta, como sementes em desenvolvimento, sementes germinando, folhas em desenvolvimento e entrenós em alongamento (TAIZ *et al.*, 2017). Esse hormônio também está envolvido em processos como o alongamento celular, ativação de divisão celular e crescimento de caules na floração, crescimento de frutos e mobilização de amido para a germinação de sementes (PAULILIO *et al.*, 2010).

As citocininas são formadas de ADP ou ATP e dimetilalildifosfato (DMAPP), principalmente nos plastídeos. Suas classes mais comuns possuem cadeias laterais de isoprenoide, como isopenteniladenina (iP), di-hidrozeatina (DHZ) e zeatina, a citocinina mais comum em plantas superiores (TAIZ *et al.*, 2017).

Nas plantas, as citocininas estão envolvidas em processos como: ativação de divisão celular, sendo necessária junto com as auxinas nos métodos de propagação de cultura de tecidos para a ativação do ciclo celular, promovendo a formação de calos e induzindo a formação de gemas foliares nesses calos. Retardamento da senescência de folhas, pois quando aplicadas em sua superfície, retardam a degradação das clorofilas e enzimas fotossintéticas, assim como do DNA e RNA de suas células. Atuam como antagonista das auxinas na quebra da dominância apical, induzindo o brotamento de gemas axilares. E por fim, pode atuar no crescimento de alguns frutos, como a maçã (PAULILIO *et al.*, 2010).

O etileno é um hormônio gasoso que regula uma ampla gama de respostas em plantas, incluindo a clássica resposta tríplice em plântulas estioladas, causando nelas um “intumescimento radial, inibição do alongamento do epicótilo e crescimento horizontal do epicótilo (diagravitropismo)” (TAIZ *et al.*, 2017). É bastante conhecido como o hormônio do amadurecimento, porém ele pode ocorrer em praticamente todas as partes das plantas superiores. Sua taxa de produção irá depender do tipo de tecido, do estágio de desenvolvimento da planta e do meio ambiente, de forma que frutos em período de amadurecimento apresentarão taxas maiores de produção do gás (TAIZ *et al.*, 2017).

O etileno desempenha papel fundamental no amadurecimento de frutos, pois, nos frutos climatéricos, ele induz a síntese de enzimas hidrolíticas que destroem as clorofilas, degradam paredes celulares e hidrolisam o amido nos frutos, além de promoverem a síntese de antocianinas e carotenóides e a diminuição de ácidos

orgânicos e compostos fenólicos, mudando as características organolépticas do fruto. Além disso, o etileno é capaz de causar abscisão e senescência de folhas e flores, pois age na indução da expressão de genes de enzimas hidrolíticas de paredes celulares, que causam a hidrólise, amolecimento, separação e abscisão da folha (figura 3) (PAULILIO *et al.*, 2010).

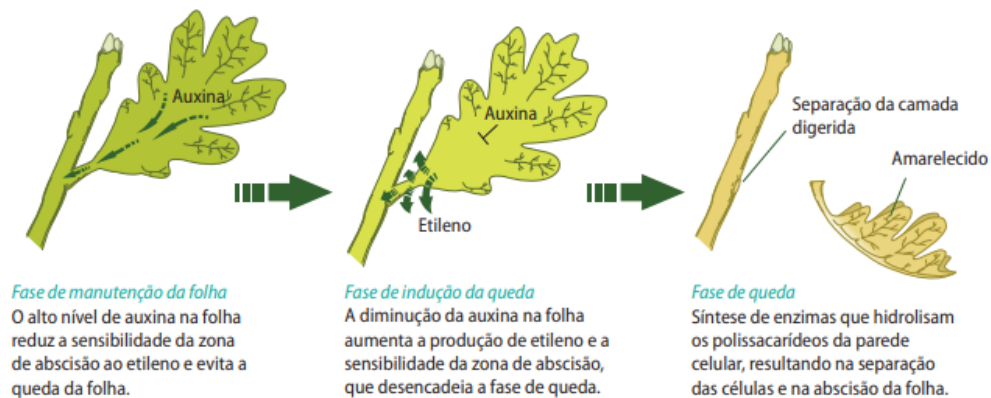


Figura 3: Abscisão foliar promovida pela produção de etileno (RAVEN *et al.* 2008)

A ácido abscísico está presente em todos os órgãos e tecidos importantes da planta, sendo sintetizado em praticamente todas as células com cloroplastos ou amiloplastos. Suas concentrações flutuam muito em tecidos específicos, variando de acordo com as condições ambientais, ou seu desenvolvimento, como em sementes em desenvolvimento ou folhas em situação de stress hídrico (TAIZ *et al.*, 2017).

O ABA atua como um sinalizador de estresse, regulando o fechamento dos estômatos para reduzir a perda de água por transpiração e promovendo a tolerância à seca. Além disso, ele também está envolvido na indução da dormência de sementes, o que evita que elas germinem dentro do fruto, na inibição do florescimento e na resposta a estresses bióticos, como patógenos e herbivoria (PAULILIO *et al.*, 2010). A estrutura química do ácido abscísico é de um terpenoide de 15 carbonos, ou sesquiterpenoide, como demonstra a imagem (Figura 4) (TAIZ *et al.*, 2017).

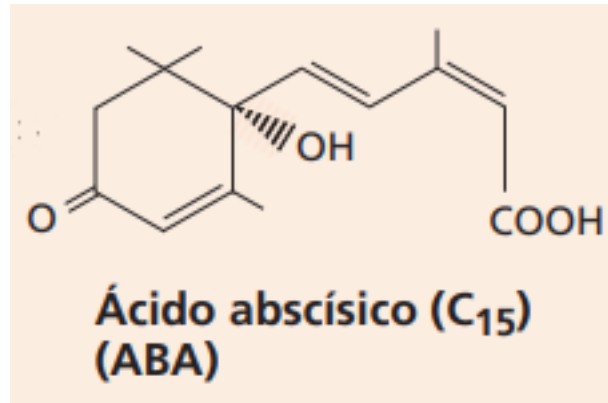


Figura 4. Estrutura química do ácido abscísico (TAIZ et al., 2017).

Existem ainda outras substâncias produzidas pelas plantas, capazes de afetar seu desenvolvimento e crescimento, apesar de ainda haverem incertezas sobre a classificação delas como hormônios vegetais ou não, como os brassinosteróides, as poliaminas, o ácido jasmônico e o ácido salicílico (KERBAUY, 2008).

Nos anos 60, houve a descoberta dos brassinosteróides, graças a hipótese confirmada de que o crescimento acelerado dos grãos de pólen poderia estar associado à presença de compostos promotores do crescimento. Esses compostos podem ser encontrados em diversas plantas, como gimnospermas, monocotiledôneas, dicotiledôneas e até em algas, estando presente nos mais diversos órgãos, como botões florais, grãos de pólen, folhas, sementes, frutos, caules e gemas. Eles desempenham diversos papéis no desenvolvimento vegetal, como divisão, alongamento e diferenciação celular, fotomorfogênese, desenvolvimento reprodutivo, germinação, senescência foliar e resposta a estresses (KERBAUY, 2008; TAIZ *et al.*, 2017).

Os brassinosteróides e as auxinas, embora compartilhem efeitos similares, atuam de maneira oposta nas raízes das plantas. Enquanto as auxinas promovem o crescimento e desenvolvimento das raízes, os brassinosteróides exercem um efeito inibitório, reduzindo o crescimento desse órgão (KERBAUY, 2008)

As poliaminas (PAs) são substâncias amplamente presentes em células vegetais e animais, desempenhando papéis essenciais em diversos processos. Elas estão envolvidas na regulação da divisão e do alongamento celular, bem como na formação de raízes e tubérculos. Além disso, as PAs podem agir como mensageiros secundários das auxinas, podendo ser substitutas desse hormônio. No desenvolvimento floral, as poliaminas desempenham um papel importante,

contribuindo para a formação adequada das flores. Durante a senescência, ocorre uma redução das PAs, e a aplicação de baixas concentrações dessas substâncias em folhas de plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas, mostrou retardar ou prevenir o declínio de clorofila, proteínas e RNA associado ao envelhecimento das plantas (KERBAUY, 2008).

O ácido jasmônico (AJ) é, assim como o ABA, um inibidor do crescimento e germinação de sementes, além de promotor da senescência. Sua aplicação, provavelmente bloqueia a incorporação de glicose nos polissacarídeos das paredes celulares, inibindo assim o crescimento de raízes e caule, além de provocar a senescência e abscisão de folhas. Além disso, ele é capaz de estimular a formação de tubérculos, induzir o amadurecimento de frutos e a formação de pigmentos. O ácido jasmônico também está envolvido na resposta da planta a situações de estresse (KERBAUY, 2008).

O ácido salicílico (AS) pertence ao grupo dos compostos fenólicos. Sua aplicação é capaz de afetar diversos processos, como reduzir a transpiração e promover a abscisão de folhas, inibir o crescimento e a germinação e afetar a absorção das raízes. O AS também parece estar envolvido com a defesa contra microorganismos, podendo provocar a indução de pelo menos 5 grupos de proteínas relacionadas à patogenicidade.

Além disso, ele demonstra estar envolvido com a floração, principalmente de plantas termogênicas, como em flores ou inflorescências de Annonaceae, Araceae, Aristochiadaceae, Cyclantaceae, Nymphaeaceae e Palmae.

O ácido salicílico também é utilizado para prolongar a duração de flores de corte, por meio da imersão das hastes em solução de aspirina (ácido acetilsalicílico), que irá inibir a biossíntese do etileno, retardando a senescência (KERBAUY, 2008).

6. FITORREGULADORES VEGETAIS

Os hormônios vegetais, ou fito-hormônios são mensageiros químicos produzidos pelas plantas, que funcionam por meio de interações específicas com proteínas receptoras, a partir de onde ocorrem os processos da rota de transdução (DIAS, 2020), gerando uma resposta específica. Dessa forma, por meio da produção desses compostos, as plantas são capazes de promover, inibir ou modificar diversos dos seus processos fisiológicos e morfológicos (VIEIRA, 2001).

O termo reguladores vegetais, ou biorreguladores, inclui moléculas produzidas artificialmente, que quando exogenamente aplicadas nas plantas, provocam reações similares aos grupos de hormônios vegetais, podendo assim, induzir a inibição ou modificação dos processos fisiológicos, alterando de forma controlada processos como germinação, enraizamento, floração, frutificação e senescência (CASTRO e VIEIRA, 2001).

As moléculas biorreguladoras são classificadas de forma semelhante às naturais, podendo ser classificadas então em auxinas, giberelinas, citocininas, etileno, retardadores do crescimento e estimulante vegetal.

Retardadores do crescimento é como são classificados os compostos sintéticos que atuam retardando a alongação e a divisão celular no meristema subapical, como por exemplo o cloreto (2-cloroetil), o trimetilamônio (CCC) e o ácido succínico-2,2-dimetilhidrazida (SADH). Já os estimulantes vegetais, são misturas de reguladores vegetais, ou de um ou mais reguladores e compostos de outras naturezas bioquímicas, como aminoácidos, nutrientes, vitaminas, entre outros (CASTRO e VIEIRA, 2001).

7. IMPORTÂNCIA DOS FITORREGULADORES

Os fitorreguladores representam uma importante ferramenta, tanto para a produção agrícola, quanto para o estudo dos vegetais e seu funcionamento. O conhecimento que temos sobre os fitorreguladores, hormônios vegetais e suas interações ainda é pequeno quando vemos o potencial de exploração dessas moléculas. Ao mesmo tempo, o que sabemos impacta o dia a dia de cientistas, produtores e até mesmo dos consumidores finais dos produtos produzidos com essa tecnologia.

A tecnologia de propagação *in vitro* é exemplo de uma aplicação de tecnologia de fitorreguladores vegetais que afeta as três esferas: para a ciência, permite realizar estudos a respeito da fisiologia e bioquímica das plantas, permite a conservação de germoplasmas, facilita o melhoramento genético, etc. Para os produtores, representa uma fonte de produção em larga escala de plantas uniformes e de alta qualidade genética, sendo clones idênticos à planta mãe, com altíssima sanidade vegetal e produzidas em um curto período de tempo. Para mercados de plantas com características específicas desejáveis e baixa taxa de germinação,

como plantas ornamentais, essa tecnologia é valiosíssima. Por fim, a alta capacidade de reprodução de plantas de alta qualidade, faz com que o consumidor final consiga adquirir produtos tão geneticamente perfeitos quanto a planta mãe, por um preço menor do que seria caso essa tecnologia não existisse.

Além disso, os produtos à base dessas moléculas permitem que o produtor tenha maior controle sobre a fisiologia do seu cultivo, de modo que é possível padronizar o crescimento, sincronizar cultivos, reduzir perdas, aumentar a vida útil pós colheita, sendo possível assim aumentar a produtividade tanto indiretamente, por todas essas funções, quanto diretamente, com o aumento de tamanho e qualidade de frutos, aumento do número de hastes florais, aumento do número de vagens por planta e etc.

Quase todas as classes de fitorreguladores, de alguma forma, representam um impacto importante na vida de todos nós, “a auxina tem sido utilizada na propagação de plantas, no controle da expressão sexual e como herbicida seletivo; a giberelina, aplicada no processo de maltagem da cevada e no desenvolvimento de uvas; a citocinina, utilizada na manipulação do crescimento de plantas ornamentais e inibição da senescência, enquanto o etileno é utilizado no controle da produção de látex e modificação das características pós-colheita de frutos e flores” (KERBAUY, 2008). A descoberta desses reguladores, e seus efeitos e benefícios sobre as plantas cultivadas, contribui para solucionar problemas do sistema de produção e melhorar a produtividade das culturas qualitativa e quantitativamente (CASTRO e VIEIRA, 2001).

8. BIOSÍNTESE DOS PRINCIPAIS HORMÔNIOS VEGETAIS

O ácido indolacético está relacionado estruturalmente ao aminoácido triptofano, existindo muitas evidências de que o AIA é sintetizado a partir dele por três prováveis rotas de conversão (Figura 5). A primeira rota envolve a conversão do triptofano em ácido indolil-3-pirúvico (AIP), o AIP é então descarboxilado em indolil-3-acetaldeído (IAAld), que finalmente é oxidado em AIA. A segunda rota de síntese envolve a descarboxilação do triptofano em triptamina, que é convertida em IAAld e, depois, em AIA (G.B. Kerbauy 2008). A terceira rota ocorre apenas em plantas que produzem compostos defensivos de indolglicosinato, usando a indolacetonitrila como intermediário entre o triptofano e o AIA (figura 5). Existe ainda

a rota independente do triptofano, que já foi encontrada nos grãos de milho (TAIZ *et al.*, 2017).

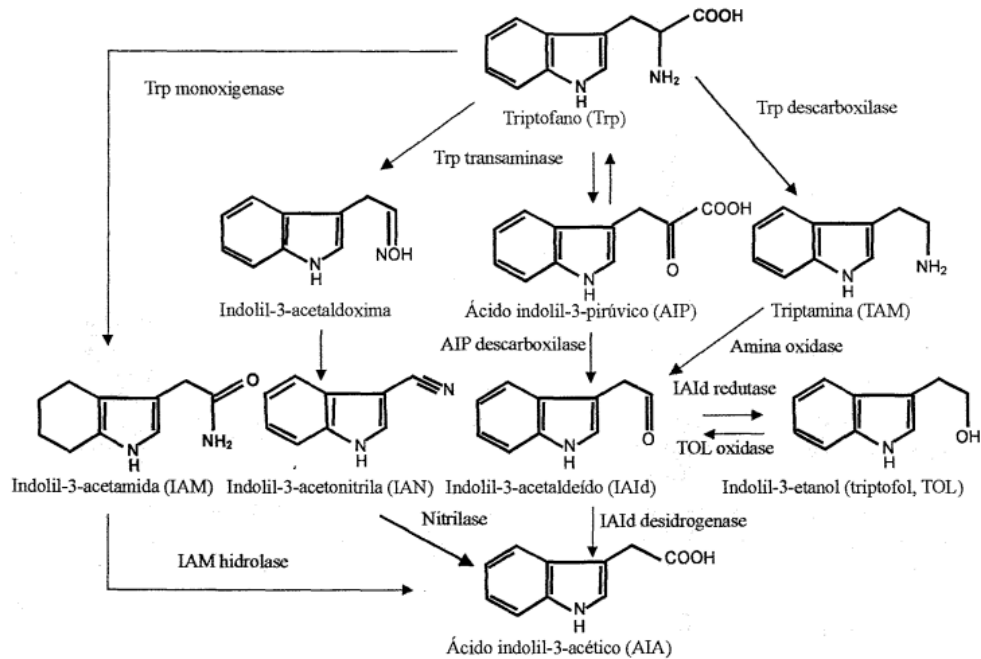


Figura 5. Rotas de AIA dependentes do Triptofano (KERBAUY, G.B., 2008).

Evidências indicam que durante certas fases do crescimento como início da embriogênese ou da germinação de sementes, em que são necessárias altas concentrações de AIA livre, a rota de síntese dependente do triptofano é ativada, enquanto a via independente predomina durante o crescimento vegetativo (NORMANLY e BARTEL, 1999), mostrando que a regulação da via de biossíntese desse hormônio varia de acordo com o estágio de desenvolvimento vegetal do mesmo.

Em concentrações celulares elevadas, a auxina é tóxica, porém ela é controlada pelo controle homeostático, além de o hormônio ativo poder ser removido permanentemente da célula por meio do seu catabolismo por conjugação a hexoses e sua degradação oxidativa. A conjugação covalente de aminoácidos ao AIA também tem a possibilidade de removê-lo permanentemente, porém, geralmente os conjugados de aminoácil servem como reserva de AIA. O ácido indol-3-butírico (AIB) ocorre naturalmente nas plantas, sendo uma fonte de AIA em alguns processos específicos do desenvolvimento. Ele é um composto altamente utilizado como

promotor do enraizamento em estacas, por ser rapidamente convertido em AIA no peroxissomo, por meio do processo de oxidação (TAIZ *et al.*, 2017).

A rota biossintética das giberelinas pode ser dividida em três fases (Figura 6). A primeira ocorre nos plastídios, com a produção do geranylgeranildifosfato (GGPP), uma molécula precursora de cadeia reta, contendo 20 átomos de carbono. O GGPP é convertido em ent-caureno. No segundo estágio, no retículo endoplasmático, o ent-caureno é oxidado à GA12-aldeído e GA12, por enzimas associadas ao RE (TAIZ *et al.*, 2017).

“Por hidroxilação no carbono 13, GA12 é convertida em GA53. No estágio 3, no citosol, GA12 e GA53 são convertidas em outras GAs, via rotas paralelas. Essa conversão prossegue com uma série de oxidações no carbono 20 (círculos vermelhos), resultando na perda final do carbono 20 e na formação de giberelinas-C19. A 3- β -hidroxilação, então, produz GA4 e GA1 como as GAs bioativas em cada rota. Depois, a hidroxilação no carbono 2 converte GA4 e GA1 nas formas inativas GA34 e GA8, respectivamente” (TAIZ *et al.*, 2017).

A regulação desse hormônio envolve vários mecanismos como: inativação por enzimas da família GA 2-oxidases, metilação via metiltransferase e conjugação a açúcares, assim como a inibição por retroalimentação. Quando aplicado de forma exógena, o GA causa downregulation dos genes GA20ox e GA3ox, que catalisam a formação da GA1 e GA4 (formas bioativas) (TAIZ *et al.*, 2017).

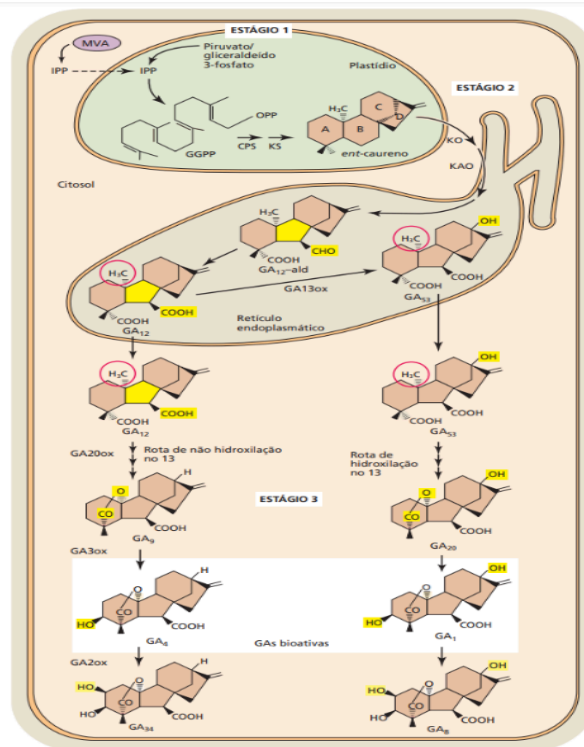


Figura 6. Esquema de biossíntese das giberelinas (TAIZ *et al.*, 2017)

A citocinas são formadas, principalmente nos plastídeos, a partir da adição de uma cadeia lateral do dimetilalildifosfato (DMAPP) à um grupo funcional de adenosina (ADP ou ATP), por meio da catalisação realizada pela isopentenil transferase (IPT) (Figura 7). A forma conjunta é o iPRTP ou iPRDP (dependendo do grupo funcional que a origina), que é convertido pela citocromo P450-monoxigenase (CYP735A) para ZTP ou ZDP, respectivamente, e então convertido em zeatina A. A zeatina pode ficar na forma de base livre, ou como ribosídeos, ribotídeos ou glicosídeos. (TAIZ *et al.*, 2017).

Além disso, por meio da família LONELY GUY (LOG), das enzimas citocinina nucleosídeo 5'-monofosfato fosfohidrolases, o ribotídeo pode se formar trans-zeatina, assim como ribotídeo e o ribosídeo podem se interconverter entre si. As citocininas di-hidrozeatina (DHZ) também podem ser produzidas, usando como base diversas formas de trans-zeatina (TAIZ *et al.*, 2017).

A inativação de citocininas para a regulação do hormônio pode ocorrer mediada por glicosilação, ou diminuída catabolicamente mediante clivagem irreversível por citocininas oxidase (TAIZ *et al.*, 2017).

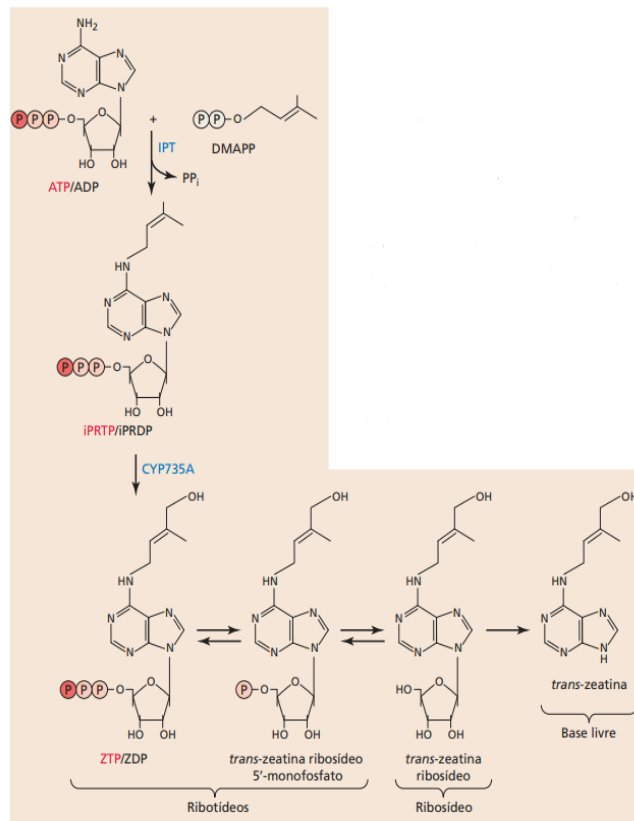


Figura 7. Esquema de biossíntese das citoclininas (TAIZ *et al.*, 2017)

A biossíntese do etileno ocorre através do ciclo de Yang, por meio do aminoácido precursor metionina e do intermediário S-adenosilmetionina, que é então convertido pela enzima ACC-sintase em ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), na etapa limitante da taxa na rota, que é, enfim, convertido pelas enzimas ACC-oxidases no produto final, o etileno, em um processo que requer a presença de oxigênio (TAIZ *et al.*, 2017) (Figura 8).

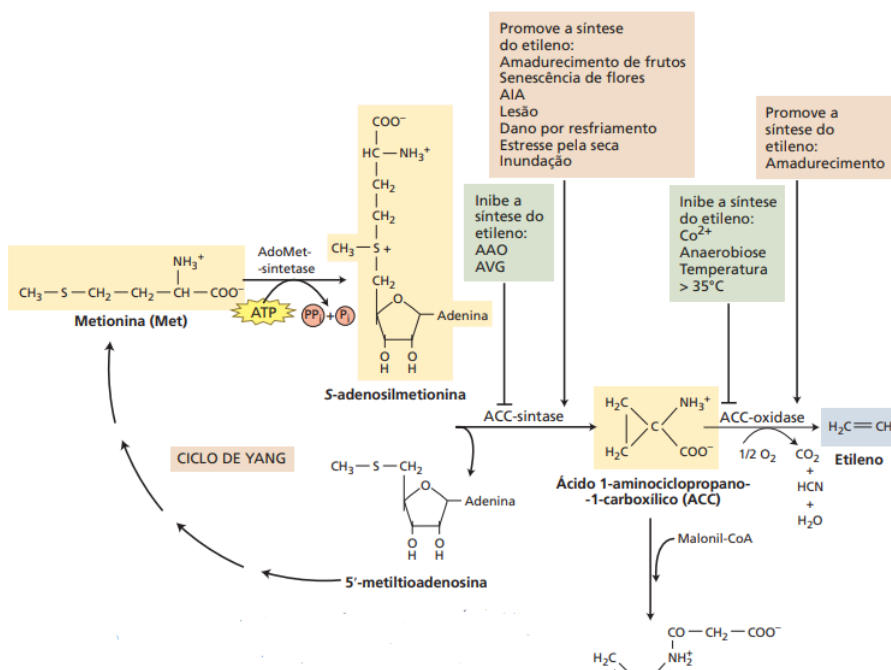


Figura 8. Esquema de biossíntese do Etileno (TAIZ et al., 2017)

A rota de biossíntese do ácido abscísico começa nos plastídios, onde o isopentenildifosfato (IPP) é convertido na xantofila zeaxantina (C₄₀), que é, posteriormente, modificada para o carotenoide 9-cis-neoxantina. Esse carotenoide é então clivado pela enzima NCED (9-cis-epoxicarotenoide dioxigenase), em uma etapa altamente regulada na síntese do ABA, sendo limitante da taxa. O produto da clivagem é o inibidor C₁₅, xantoxina, que se move para o citosol, onde sofre diversas reações oxidativas, para finalmente formar o ácido abscísico (TAIZ et al., 2017) (Figura 9).

A desativação desse hormônio pode ocorrer por meio de uma oxidação feita por ABA-8'-hidroxilases, ou por conjugação, sendo esse segundo processo, permanente (TAIZ et al., 2017).

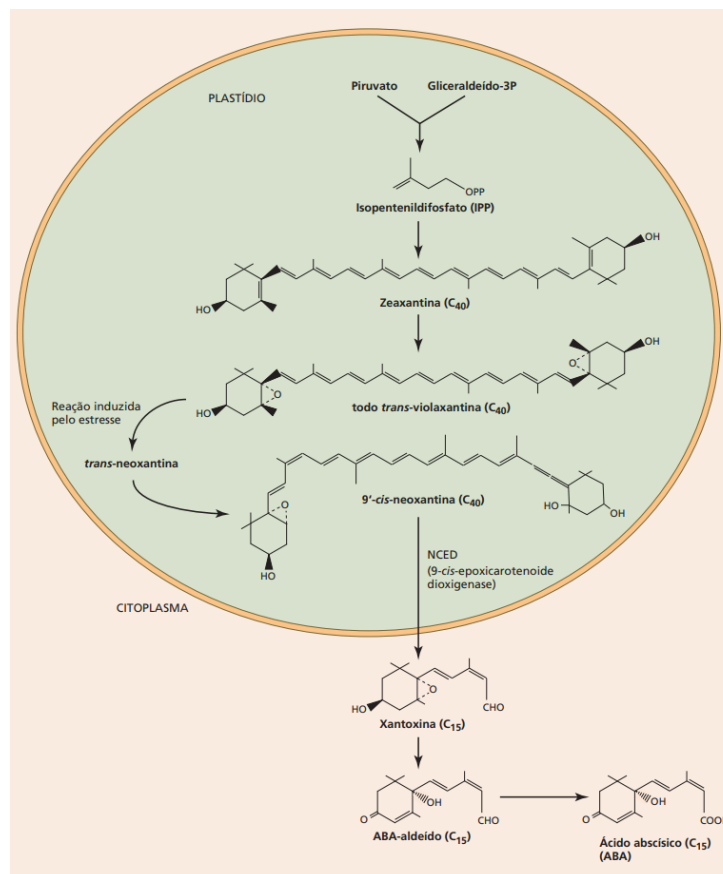


Figura 2. Esquema de biossíntese do Ácido Abscísico (TAIZ et al., 2017)

9. MEIOS DE UTILIZAÇÃO

O meio de aplicação dos reguladores vegetais pode variar de acordo com a finalidade do uso e o grupo do regulador. Uma ampla gama desses produtos funciona com base na pulverização no órgão vegetativo alvo, sejam folhas, frutos ou flores, como por exemplo, a pulverização de plantas de azaléia (*Rhododendron pulchrum* e *R. scabrum*) com 500 mg/l de AG3, provoca a quebra da dormência de suas gemas florais (KERBAUY, 2008).

Uma hipótese para o funcionamento de moléculas de aplicação foliar, é de que essas substâncias penetram o órgão pelos espaços intercelulares da cutícula externa, pela rota da pectina, por meio da absorção de água contendo as substâncias polares. Nesse processo, a pectina aumenta seu volume, provocando o afastamento das placas de cutina, permitindo a entrada das substâncias, as quais seguem a rota lipoidal e se translocam por difusão facilitada, até chegar à parede celular, atingindo os vasos condutores do xilema, ou indo para a membrana plasmática (simplasto) e, então, protoplasma e floema (RODRIGUES, 2009).

Muito frequentemente, esses produtos vêm em forma de estimulante, isso é, com a mistura de dois ou mais grupos químicos, como é o caso do Stimulate, um regulador de crescimento vegetal produzido pela Stoller, o qual é composto de um grupo citocinina (cinetina 0,09 g/ L), um grupo giberelina (ácido giberelico 0,05 g/ L), e um grupo ácido indolalcanóico (ácido 4-indol-3ilbutírico 0,05 g/ L). O Stimulate vem em forma de concentrado solúvel (SL).

Os produtos solúveis podem vir em forma líquida, como os concentrados solúveis, ou em forma sólida para a dissolução, como em pó ou grânulos dispersíveis em água (WG), como o redutor do crescimento Viviful (Proexadiona cálcica), produzido pela Ihara e comercializado em formato de grânulos dispersíveis em água, o qual, quando diluído em proporção de 72 a 145g / 100L e pulverizado nas culturas do Crisântemo, Kalanchoe e Poinsetia, causa uma redução do crescimento excessivo dos internódios, conferindo à planta uma arquitetura compacta, além de promover uma floração mais uniforme.

Além da pulverização, produtos líquidos podem ser utilizados para outros fins, como aplicação local, no sulco no plantio, ou no tratamento de sementes para a quebra de dormência, como por exemplo, a aplicação de uma solução contendo 100 mg/L de AG em sementes de *Koeleruteria paniculaw* com dormência endógena e

exógena, resultou em uma taxa de germinação de 60%, enquanto 0% do controle germinaram (KERBAUY, 2008).

Além de diluídos, diversos reguladores de uso tópico são comercializados para a utilização em forma de pó puro, ou diluídos em talco ou em gel, como é o caso de muitos enraizadores à base de AIA e AIB, já que para essa utilização, a quantidade de fitohormônios para cada explante é pequena e sua aplicação é especificamente localizada no local do corte, como no enraizamento de estacas.

10. MODO DE AÇÃO

10.1 Auxinas

As auxinas participam da divisão, crescimento e diferenciação celular dos vegetais, assim, são largamente empregadas no mercado de propagação de plantas, tanto para propagação por estacas, quanto in vitro, no qual as auxinas e as citocininas estimulam a proliferação da grande maioria de tipos de células vegetais, de forma que diversos tecidos, como de folhas, raízes ou caules, podem ser cultivados na presença desses dois hormônios em concentrações apropriadas, formando calos, gemas ou raízes (KERBAUY, 2008).

A relação das auxinas com o crescimento vegetal, faz dela um excelente estimulador do enraizamento, visto que, mesmo sem tratamento algumas folhas e estacas de diversas plantas, ao serem colocadas em água ou substrato úmido, formam raízes adventícias ao redor do corte, em função do acúmulo de ácido indolacético (AIA) na porção imediatamente superior ao corte, já que esse interrompe o transporte polar de auxinas (KERBAUY, 2008).

Esse processo pode ser intensificado ao tratar a superfície do corte com uma solução de auxina, onde ela será absorvida, convertida e agirá como o sinal para a inicialização da divisão celular e formação de novos meristemas (KERBAUY, 2008). Segundo Loss et al. (2008), a auxina ácido indolbutírico (AIB) é considerado um dos melhores estimuladores do enraizamento, pois apresenta maior estabilidade e menor solubilidade que a auxina endógena ácido indolacético (AIA).

Em plantas com frutos, as auxinas são, não exclusivamente, responsáveis pelo aumento na expansão celular. Sua aplicação no início do estabelecimento do fruto, causa aumento da síntese do etileno, causando abscisão de frutos ainda

jovens, permitindo o raleio, enquanto a aspersão tardia tem o efeito oposto, prevenindo a queda madura dos frutos (KERBAUY, 2008).

Em algumas espécies vegetais, como nos morangos, a pulverização de auxina em flores não polinizadas, pode induzir a produção de frutos partenocarpicos, ou seja, sem sementes (TAIZ *et al.*, 2004). Segundo Kerbauy, o mesmo ocorre com plantas das famílias Solanaceae, Curcubitaceae e em Citrus.

As auxinas também desempenham um papel importante no processo de controle da abscisão foliar, onde o hormônio etileno representa o sinal primário que dirige esse processo, enquanto a auxina reduz a sensibilidade das células da zona de abscisão ao etileno, dessa forma prevenindo ou retardando a abscisão. A aspersão do AIA nos estágios iniciais da abscisão foliar, tende a atrasar a queda da folha, enquanto em estágios avançados, ela acaba acelerando esse processo, provavelmente pela indução da síntese de etileno (KERBAUY, 2008).

Por fim, existe o efeito tóxico que as auxinas podem ter quando aplicadas exogenamente, concedendo a elas a possibilidade de ser utilizadas como herbicidas, como é o caso da auxina sintética ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D). Essas auxinas sintéticas são menos sujeitas ao controle homeostático do que as moléculas naturais, fazendo com que sejam herbicidas mais eficazes (TAIZ *et al.*, 2017).

Culturas como o milho e outras monocotiledôneas tem a capacidade de inativar rapidamente as moléculas de auxinas sintéticas por conjugação, sendo assim, elas são muito utilizadas nesses cultivos para o controle de dicotiledôneas invasoras, podendo ser também utilizadas em jardins ou cultivos de grama, para o controle de invasoras como dente-de-leão e margaridas em gramados (TAIZ *et al.*, 2004).

10.2 Citocininas

As citocininas, como o próprio nome sugere, desempenham um papel crucial na regulação da citocinese, também conhecida como divisão celular. Elas regulam a atividade de ciclinas, proteínas que controlam a divisão celular, atuando em etapas específicas do ciclo celular. Além disso, estão relacionadas à diferenciação das células, principalmente na formação de gemas caulinares, as quais requerem um alto aporte nutricional para se formarem, já que novas brotações funcionam como drenos nas plantas (KERBAUY, 2008).

O estabelecimento de drenos também é influenciado pelas citocininas, que controlam duas proteínas necessárias para o descarregamento apoplástico do floema, a invertase e o transportador de hexoses (KERBAUY, 2008).

Recentemente, foi descoberto que a fotomorfogênese é outro evento controlado pelas citocininas, visto que um de seus reguladores de resposta, ARR4, impede que a versão ativa do fitocromo B (a forma que absorve luz na faixa do vermelho extremo), reverta para a forma inativa, mostrando que, provavelmente, o fitocromo B media alguns dos seus efeitos, como o desestiolamento (inibição do crescimento no escuro) e diferenciação de cloroplastos (FANKHAUSER, 2002).

A citocinina também está envolvida no retardamento da senescência de folhas, visto que estudos realizados com a aplicação de cinetina, mostram que a área foliar que entra em contato com esses reguladores, sofre indução da síntese de proteínas e RNA, além da mobilização de metabólitos para seu interior, mantendo-a verde por mais tempo. Essa descoberta reforçou a hipótese de que o “fator” que mantém vivas as folhas que sofrem enraizamento, são as citocininas que são produzidas nas raízes e transportadas ao limbo (KERBAUY, 2008).

Na cultura *in vitro*, a citocinina atua em sinergismo com a auxina para a estimulação da divisão celular, sendo que os efeitos antagônicos uma da outra, trabalham juntos (a auxina induz a diferenciação de raízes e a citocinina favorece a diferenciação de gemas caulinares) resultando em um meio de cultura equilibrado para a multiplicação celular (SKOOG e MILLER, 1957).

10.3 Giberelinas

Existem fortes evidências de que as giberelinas, assim como as auxinas, atuam no alongamento celular, através dos efeitos causados na parede celular. De acordo com Kerbauy, 2008, as evidências mais conclusivas, mostram que esses hormônios agem em áreas diferentes das plantas, onde enquanto a auxina promove a extensão celular, as giberelinas atuam preferencialmente no meristema, promovendo a divisão e o alongamento celular em células jovens.

A aplicação de giberelinas, estimula o crescimento em plantas intactas, especialmente plantas de hábito nanizante ou plantas bianuais em estágio de roseta, sendo que a maioria das dicotiledôneas e algumas monocotiledôneas e coníferas, têm seu crescimento acelerado quando tratadas com esse regulador, sendo que a

sua aplicação exógena permite que mutantes anões de milho cresçam tanto quanto as variedades normais (KERBAUY, 2008).

As ciclinas (CDKs) são necessárias pelas proteínas cinases, que regulam a transição entre as diferentes fases do ciclo celular. Experimentos em arroz inundado, demonstraram, que a aplicação exógena de AG, aumenta o nível de expressão de um dos genes que codifica as CDKs, sugerindo que o aumento dos níveis de uma proteína cinase específica do ciclo de divisão celular (Cdc2), bem como de ciclinas M necessárias para a entrada em mitose, é a base da ação de estímulo do AG á divisão celular (KERBAUY, 2008).

As giberelinas também têm uma relação direta com o fotoperiodismo, de forma que plantas de dias longos, como o espinafre (*Spinacia oleracea*), apresentam níveis baixos de AG em dias curtos, se mantendo em forma de roseta, enquanto em dias longos ocorre o aumento das giberelinas da rota 13-hidroxilada, sendo que o aumento de cinco vezes nos níveis de uma dessas giberelinas (AGi), é capaz de causar o alongamento do caule que antecede a floração. Dessa forma, a aplicação exógena de giberelinas é capaz de substituir a indução fotoperiódica em plantas de dias longos que crescem na forma de roseta quando sob dias curtos (KERBAUY, 2008).

A aplicação desses reguladores, é capaz de regular a juvenelidade das plantas em ambos os sentidos, dependendo da espécie, sendo que em *Hedera helix* o AG3 pode causar a reversão de maturidade para juvenilidade, enquanto, em algumas coníferas, o tratamento com AG4 + AG7, tem o efeito inverso. Em plantas monóicas (que possuem flores masculinas e femininas ou hermafroditas), o AG tem influência na determinação do sexo, como em milho, em que o aumento de níveis de AG no pendão, aumentam a proporção de flores femininas, o que se opõe em algumas dicotiledôneas, como *Cucumis sativus*, *Spinacia oleracea* e *Cannabis sativa*, onde o AG exógeno induz a formação de flores estaminadas (KERBAUY, 2008; METZGER, 1995).

A relação das giberelinas com a fixação de frutos, também se difere muito de acordo com a espécie, visto que em macieiras (*Malus domestica*), a aplicação de GA4 + GA7, em combinação com uma citonina e uma benziladenina, promove o crescimento longitudinal dos frutos, enquanto em *Vitis vinifera*, na Itália, o raleio dos frutos é feito com a aplicação de GA3 pós-floração (Guerra et al., 1981), além de

induzir a apirenia parcial ou total (frutos com poucas sementes ou nenhuma) nesses frutos (KERBAUY, 2008).

As giberelinas também podem ser uma alternativa no tratamento de sementes para a quebra de dormência, sendo que sua influência, provavelmente ocorre de forma a promover a germinação, agindo de forma a superar o estímulo de manutenção da dormência, controlado pelo ácido abscísico (BEWLEY, 1997).

Em combinação com as citocininas, elas são capazes de substituir o estímulo de diversos sinais ambientais, minimizando os efeitos do ABA e promovendo a germinação. As sementes de lavanda (*Lavandula angustifolia* Miller), quando embebidas em solução de AG3, apresentaram um índice de germinação de 89,9%, em comparação a 22,6% para o controle. Além de semente, a aplicação de GA3 em plantas de azaléia (*Rhododendron pulchrum* e *R. scabrum*), é capaz de acelerar a quebra de dormência de suas gemas florais (KERBAUY, 2008).

A aplicação de GA em plantas folhosas é capaz de aumentar o tempo em que elas mantêm sua coloração após o corte, sendo um atributo muito interessante para o mercado de ornamentais (KERBAUY, 2008).

Na cultura de tecidos, a presença de giberelinas no meio de cultura, promove aumento significativo da taxa de germinação de embriões somáticos, como é o caso da 'goiabeira serrana' (*Acca sellowiana*), que se encontra em processo de domesticação. Os embriões somáticos da goiabeira cultivados sem a presença de AG3, apresentam taxa de cerca de 50% de germinação, enquanto, no meio com o regulador, a taxa foi de 100% (GUERRA *et al.*, 1997).

10.4 Ácido abscísico

O ácido abscísico ainda possui poucas aplicações comerciais. Sua função está relacionada à resposta da planta a situações de estresse, sendo um de seus efeitos mais comuns, a inibição do crescimento vegetativo e a manutenção da dormência de sementes e gemas.

Em situação de stress hídrico, as raízes das camadas superiores do solo percebem a falta d'água e estimulam a síntese de ABA, que é transportado para a parte aérea da planta, onde desencadeia o fechamento estomático, reduzindo a perda de água. O aumento desse hormônio irá inibir o alongamento do caule e manter o crescimento do sistema radicular (KERBAUY, 2008).

10.5 Etileno

A aplicação dos hormônios auxina e citocinina, tem efeito positivo na produção de etileno, sendo o uso de estimulantes vegetais a base dos dois compostos, altamente eficaz na estimulação da produção desse hormônio. A aplicação de Ethrel, um precursor do etileno, pode causar reações variadas, dependendo do tecido vegetal, podendo induzir a autocatálise ou a auto-inibição desse hormônio (KERBAUY, 2008).

Ele pode ter efeito de inibição do crescimento, pois causa uma redução do alongamento longitudinal e incremento na expansão lateral das células, podendo deixar o caule mais curto e espesso. Ao contrário, em plantas aquáticas, como *Regnellidium diphyllum*, o crescimento de caules, pedolos e pedúnculos de frutos é estimulado pelo teor de etileno (KERBAUY, 2008).

Um pequeno número de espécies, destacando-se as Bromeliaceae, como o abacaxi, apresentam promoção da floração pelo etileno, sendo amplamente utilizada a aplicação de Ethrel ou de auxinas no cultivo de abacaxi por esse motivo (KERBAUY, 2008).

O etileno é o hormônio mais responsável pela senescência, enquanto a citocinina faz o efeito oposto. Tratamentos com Ethrel e ACC aceleram a senescência foliar, enquanto as citocininas retardam o envelhecimento. O uso de substâncias inibidoras do etileno, como o AVG (aminoetoxivinilglicina) e íons cobalto retardam a senescência (KERBAUY, 2008).

Certos frutos possuem um processo de amadurecimento com um aumento rápido e intenso da taxa respiratória, chamado de climatério. Nesses frutos, ocorre a produção de etileno, o que acelera o amadurecimento por meio de hidrólise de amido, síntese de pigmentos etc. O tratamento desses frutos, como abacate, maçã, banana, entre outros, com etileno, acelera o processo de amadurecimento (KERBAUY, 2008). Enquanto nos frutos não climatéricos, como morangos, cerejas, uvas e cítricos, o etileno não desempenha papel tão impactante no amadurecimento.

11. SITUAÇÕES PARA UTILIZAÇÃO DE FITOREGULADORES NA CADEIA PRODUTIVA DE PLANTAS ORNAMENTAIS

Diversos grupos de fitorreguladores já estão entremeados à cadeia produtiva de plantas ornamentais, seja em sua reprodução, manejo ou no pós-colheita. O grupo das auxinas, é um dos mais utilizados na reprodução dessas plantas, tanto na

promoção do enraizamento de estacas herbáceas, semi-lenhosas e lenhosas, quanto, juntamente com citocininas e giberelinas, na micropropagação de plantas, técnica muito utilizada na cadeia de ornamentais por muitas dessas espécies possuem sementes muito pequenas, com taxa de germinação baixíssima.

Um exemplo dessa situação é a reprodução de orquídeas, a qual pode ocorrer sexuadamente, pela formação de sementes, gerando seedlings, ou por divisão de pseudobulbos (PETRY *et al.*, 2008). O desenvolvimento vegetativo das orquídeas é muito lento, o que torna inviável a reprodução vegetativa por pseudobulbos. Além disso, apenas cerca de 5% das sementes produzidas em uma cápsula chegam a germinar (REINERT e BAJAJ, 1977). Em 1909, foi descoberto que para as sementes de orquídeas germinarem, elas dependem de uma relação simbiótica com fungos, principalmente do gênero *Rhizoctonia*, que fornecem nutrientes e minerais às sementes pequenas e com pouca reserva das orquídeas. Em 1922, foi descoberto que era possível germinar sementes de orquídeas por micropropagação, o que facilitou imensamente a produção comercial dessas plantas (PETRY *et al.*, 2008).

No manejo das plantas ornamentais, podem ser aplicados redutores de crescimento, de forma a facilitar o manejo, ou a obter plantas menores e mais atraentes ao mercado consumidor. Um exemplo é o mencionado Viviful (*Proexadiona* cálcica), que além da redução do crescimento nas culturas do Crisântemo, *Kalanchoe* e *Poinsettia*, também promove uma floração mais uniforme.

Na pós colheita de plantas de corte, é possível utilizar soluções denominadas de “pulsing”, as quais podem variar de composição, mas em geral, inclui açúcares, ácidos orgânicos, inibidores da síntese ou ação do etileno e/ou bactericidas, de forma a aumentar a vida útil dessas plantas. O acondicionamento nessas soluções é feito após o corte, por no máximo 48 horas (DIAS-TAGLIACOZZO e MOSCA, 2007). As substâncias inibidoras do etileno presentes nessas soluções, são em geral, íons prata, ou inibidores da síntese do etileno a partir da metionina (KERBAUY, 2008). FINGER *et al.* (2001) relataram que o ‘pulsing’ com solução com 1 mM de tiosulfato de prata (STS) e 5% de sucralose, foi capaz de elevar a longevidade de flores de *Consolida ajacis* em 9.2 dias em relação ao controle.

12. APLICAÇÃO DE FITORREGULADORES EM ESPÉCIES ORNAMENTAIS

Mishra demonstrou que plantas de *Tagetes erecta* (conhecida popularmente no Brasil como Rojao), respondem a uma dose de 300 ppm de GA3, com a abertura precoce do botão floral, abertura precoce da primeira flor, maior duração da floração e maior número de flores por planta. A aplicação de Ethrel também já demonstrou efeitos positivos, com aumento no número de flores por planta, no diâmetro das flores, no peso fresco da flor e na produção de flores por planta. Além disso, essa espécie demonstrou ótima resposta ao tratamento com as auxinas enraizadoras AIB e ANA (KUMAR *et al.*, 2010; BHATT e CHAUHAN, 2012).

Ao serem tratadas com aplicação foliar de GA3, 150 ppm, as plantas de *Chrysanthemum* apresentaram maior número de rebentos, máximo número de flores cortadas com caule mais longo e maior tamanho de flores, além de maior crescimento de raízes quando a estaca é tratada com AIB (SHARIFUZZAMAN *et al.*, 2011; SINGH e CHETTRI, 2013)

O gladiolo ou palma-de-Santa-Rita (*Gladiolus x grandiflorus Hort.*), da família Iridaceae, é uma importante flor de corte, que tem sua propagação realizada por meio de bulbos sólidos, chamados cormos (TOMBOLATO *et al.*, 2005). Representando, segundo Khan *et al.* (2002), uma das mais importantes flores de corte do mundo. Essas plantas parecem responder bem aos tratamentos com fitorreguladores, principalmente giberelinas e citocininas; Foi reportado por Khan *et al.* (2013) que o tratamento de cormos de gladiolo em solução a 125 ppm de BA (benziladenina), do grupo químico das citocininas, promoveu o aumento da taxa de florações múltiplas por planta, resultado replicado por Sajjad *et al.* (2015), na concentração de 150 ppm. O tratamento de cormos com GA3, a 200 ppm, também demonstrou resultados positivos, reduzindo o número de dias para a emergência e o número de dias para a iniciação da espiga (AIER *et al.*, 2015). Segundo Sarkar (2014), a aplicação de ácido giberélico em cormos, promoveu o aumento do seu peso após o ciclo vegetativo. A aplicação de etileno nos bulbos, é capaz de aumentar a formação de hastes florais em gladiolo, narciso e íris (KERBAUY, 2008).

O cravo ou craveiro (*Dianthus caryophyllus*), é uma importante flor ornamental de vaso ou corte. Estudos relacionados à aplicação de fitorreguladores nessas plantas, demonstraram que a aplicação de GA3 promoveu o adiantamento do florescimento (KASTURI e SEKHAR, 2017).

Dawa *et al.*, 2013, demonstrou que estacas de rosas da cultivar 'First Red', tratadas com AIB a 1500 ppm, demonstraram produção de raízes precoce (22.55 dias), maior comprimento de raízes (76,67%), maior número de raízes primárias (12.57) e maior taxa de sobrevivência no campo. Além disso, Monteiro *et al.*, em 2001, demonstrou que o tratamento exógeno de ácido abscísico em mini rosas de vaso (*Rosa hybrida* L.) durante a primavera/verão, diminuiu as taxas de respiração e perda d'água, aumentando o tempo de vida das flores.

13. CONCLUSÃO

Os hormônios vegetais são moléculas produzidas pelas plantas, capazes de controlar diversos aspectos do seu crescimento, desenvolvimento e adaptação ao ambiente. Seus semelhantes sintéticos, os fitorreguladores, são capazes de induzir os mesmos efeitos nas plantas, representando uma importante ferramenta no seu cultivo. Apesar de mais de um século de pesquisa acerca dessas substâncias, se torna claro que ainda há muito a descobrir sobre suas interações entre si, com diferentes espécies, com diferentes substâncias, suas funções, seu modo de ação, etc.

O uso dessas substâncias tem importância significativa na cadeia de plantas ornamentais, principalmente em sua propagação e pós-colheita, deixando, porém, um potencial inexplorado na fase de manejo, onde seu uso pode induzir florações, aumentar o tamanho do botão floral, aumentar o número de flores por planta, diminuir o porte da planta, evitar a queda de folhas, entre tantas outras aplicações que praticamente não são aplicadas na cadeia produtiva de diversas espécies com potencial.

REFERÊNCIAS

- AIER, Shisarenla *et al.* Influence of GA3 and BA on morphological, phenological and yield attributes in gladiolus cv. Red Candyman. **Journal of Agriculture and Veterinary Science**, v. 8, n. 6, p. 37-42, 2015.
- BEWLEY, J. Derek. Seed germination and dormancy. **The plant cell**, v. 9, n. 7, p. 1055, 1997.
- BHATT, S. T.; CHOUHAN, N. M. Effect of auxin on rooting of African Marigold (*Tegetes erecta* L.). **Advanced Res. J. of Crop Improvement**, v. 11, n. 3, p. 69-70, 2012.
- CROCKER, W.; ZIMMERMAN, P.W.; HITCHCOCK, A. E. 1935. Similarities in the Effects of Ethylene and the Plant Auxins. *Contrib. Boyce Thompson Inst.* 7: 231-248.
- DAWA, Sonam *et al.* Influence of growth regulators on rhizogenesis in semi-hardwood cuttings of some cut flower roses. **Applied Biological Research**, v. 15, n. 2, p. 1-7, 2013.
- DIAS, João Paulo Tadeu. **Usos e aplicação de reguladores vegetais**. Belo Horizonte: Ed. UEMG, 2020.
- DIAS-TAGLIACOZZO, Gláucia Moraes; MOSCA, José Luiz. Pós-colheita de flores e folhagens: Manutenção da qualidade. **Ornamental Horticulture**, v. 13, p. 1979-1989, 2007.
- FANKHAUSER, Christian. Light perception in plants: cytokinins and red light join forces to keep phytochrome B active. **Trends in Plant Science**, v. 7, n. 4, p. 143-145, 2002.
- FINGER, F.L., *et. al.* Pulsing with sucrose and silver thiosulfate extend the vase life of *Consolida ajacis*. **Acta Horticulturae**, v.543, p.63-67, 2001.
- FRANKENBERGER J.R., William T.; ARSHAD, Muhammad. **Phytohormones in soils microbial production & function**. CRC Press, 2020.
- GUERRA, M. P.; BARCELLOS, F. M.; KOLLER, O. C. Influência do ácido giberélico, aplicado em floração e pós-floração, sobre as características do cacho da videira

Itália (*Vitis vinifera* L.). *In*: **CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA**. 1981. p. 1278-1286.

HAAGEN-SMIT, A. J.; LEECH, W. D.; BERGEN, W. R. Estimation, isolation and identification of auxins in plant material. **Science**, v. 93, n. 2426, p. 624-625, 1941.

HARTMANN, Hudson Thomas *et al.* **Plant propagation: principles and practices**. Prentice-Hall, 1975.

KASTURI, Ashwani; SEKHAR, R. Chandra. Effect of plant growth regulators on vegetative growth of Carnation (*Dianthus caryophyllus* L.) cv. Domingo in second season crop. **Plant Archives**, v. 17, n. 2, p. 113-116, 2017.

KERBAUY, Gilberto Barbante. **Fisiologia vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

KHAN, F. N. *et al.* Effect of Time of Corm Lifting on Gladiolus Production. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 5, n. 9, p. 903-905, 2002.

KHAN, F. N.; RAHMAN, M. M.; HOSSAIN, M. M. Effect of benzyladenine and gibberellic acid on dormancy breaking, growth and yield of gladiolus corms over different storage periods. **Journal of Ornamental Plants**, v. 3, n. 1, p. 59-71, 2013.

KUMAR, Mithilesh; SINGH, A. K.; KUMAR, Ashok. Effect of plant growth regulators on growth and flowering characters of African marigold (*Tagetes erecta*). **Current Advances in Agricultural Sciences (An International Journal)**, v. 7, n. 1, p. 85-87, 2015.

LOSS, Arcângelo *et al.* Enraizamento de estacas de *Allamanda cathartica* L. tratadas com ácido indolbutírico (AIB). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 4, p. 313-316, 2008.

METZGER J.D. Hormones and reproductive development. *In*: Davies P.J. **Plant Hormones: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology**. Kluwer, Boston, 1995.

MONTEIRO, José A.; NELL, Terril A.; BARRETT, James E. Postproduction of potted miniature rose: Flower respiration and single flower longevity. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 126, n. 1, p. 134-139, 2001.

NORMANLY J; BARTEL B. Redundancy as a way of life - IAA metabolism. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 2, p. 207-231, 1999.

PAULILO, Maria Terezinha Silveira; VIANA, Ana Maria; RANDI, Áurea Maria. **Fisiologia vegetal**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

PETRY C. *et. al.* **Plantas ornamentais aspectos para a produção**. Passo Fundo: EDIUPF, 2008.

RAVEN, Peter H.; EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. Biologia vegetal. *In: Biologia vegetal*. 2007.

REINERT, Jakob.; BAJAJ, Yashpal P.S. **Applied and fundamental aspects of plant cell, tissue and organ culture**. Berlin; New York: Springer-Verlag, 1977.

RODRIGUES, J. D. Absorção e transporte de solutos nas plantas. **Velini, ED; MESCHEDE, DK; CARBONARI, CA; TRINDADE, MLB Glyphosate**. Botucatu: Editora Fepaf, p. 31-112, 2009.

SAJJAD, Yasar et al. Pre-plant soaking of corms in growth regulators influences the multiple sprouting, floral and corm associated traits in *Gladiolus grandiflorus* L. **International Journal of Biology**, v. 7, n. 9, p. 173, 2015.

SARKAR, M. A. H. *et al.* Vegetative, floral and yield attributes of gladiolus in response to gibberellic acid and corm size. **Scientia Agriculturae**, v. 7, n. 3, p. 142-146, 2014.

SHARIFUZZAMAN, S. M. *et al.* Effect of GA3, CCC and MH on vegetative growth, flower yield and quality of chrysanthemum. **Int. J. Expt. Agric**, v. 2, n. 1, p. 17-20, 2011.

SINGH, Poonam; CHETTRI, Roshan. A new propagation method for rapid multiplication of *Chrysanthemum* under in vivo conditions. **International Journal of Conservation Science**, v. 4, n. 1, 2013.

SKOOG, Folke. Chemical regulation of growth and organ formation in plant tissue cultured in vitro. *In: Symp. Soc. Exp. Biol.* 1957. p. 118-131.

TAIZ, L. *et al.* Fisiologia vegetal. 3 edição. **Porto alegre—Artmed**, 2004.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TOMBOLATO, Antonio Fernando Caetano et al. Melhoramento genético do gladíolo no IAC: novos cultivares 'IAC Carmim' e 'IAC Paranapanema'. **Científica**, v. 33, n. 2, p. 142-147, 2005.

VIEIRA, E. L. e CASTRO P.R.C. **Aplicações de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba, BR: Editora Agropecuária, 2001.

VIEIRA, Elvis Lima. **Ação de bioestimulante na germinação de sementes, vigor de plântulas, crescimento radicular e produtividade de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e arroz (*Oryza sativa* L.)**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/2c79/cdc13edf4f9574ea9bffa10533c716f76eb.pdf>. Acesso em 26/06/2023.