

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO CAMPUS RIO VERDE
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA**

**O DESEMPENHO DA SEROTONINA NO PROCESSO
GERMINATIVO E FATORES AGRONÔMICOS DE
PLÂNTULAS DE SOJA**

FILLYPE DE CASTRO FREITAS

**Rio Verde - Goiás
2024**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO CAMPUS RIO VERDE
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÔNOMICA**

**O DESEMPENHO DA SEROTONINA NO PROCESSO
GERMINATIVO E FATORES AGRONÔMICOS DE
PLÂNTULAS DE SOJA**

FILLYPE DE CASTRO FREITAS

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof^o Dr. Adriano Jakelaitis

**Rio Verde - Goiás
2024**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

Fd

Freitas, Fillype

O DESEMPENHO DA SEROTONINA NO PROCESSO
GERMINATIVO E FATORES AGRONÔMICOS DE PLÂNTULAS DE

SOJA / Fillype Freitas; orientador Adriano
Jakelaitis; co-orientador Roniel Ávila. -- Rio
Verde, 2024.

18 p.

1. Glycine max. 2. massa. 3. serotonina. 4.
qualidade fisiológica. I. Jakelaitis, Adriano ,
orient. II. Ávila, Roniel , co-orient. III. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) Dissertação | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> (mestrado) Monografia | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro Livro |
| <input type="checkbox"/> (especialização) TCC | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |
| <input checked="" type="checkbox"/> (graduação) | <input type="checkbox"/> |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Fillype de Castro Freitas

Matrícula:

2020102200240428

Título do trabalho:

O DESEMPENHO DA SEROTONINA NO PROCESSO GERMINATIVO E FATORES AGRONÔMICOS DE PLÂNTULAS DE SOJA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 28 / 02 / 2024

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não O

documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde - GO

Local

23 / 02 / 2024

Data

Fillype de Castro Freitas

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

ADRIANO

JAKELAITIS:15874223878

Assinado de forma digital por

ADRIANO JAKELAITIS:15874223878

Data: 2024.02.22 08:06:49 -0300'



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 12/2024 - DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) **vinte** dia(s) do mês de fevereiro de 2024, às 9 horas e 30 minutos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Adriano Jakelaitis (orientador), Jardel Lopes Pereira (membro), Roniel Geraldo Avila (membro), para examinar o Trabalho de Curso intitulado “O DESEMPENHO DA SEROTONINA NO PROCESSO GERMINATIVO E FATORES AGRONÔMICOS DE PLÂNTULAS DE SOJA” do(a) estudante FILLYPE DE CASTRO FREITAS, Matrícula nº 2020102200240428 do Curso de Agronomia do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida ao estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Adriano Jakelaitis

Orientador(a)

(Assinado Eletronicamente)

Jardel Lopes Pereira

Membro

 Documento assinado digitalmente
RONIEL GERALDO AVILA
Data: 20/02/2024 17:03:36-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Roniel Geraldo Avila

Membro

Observação:

() O(a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- Jardel Lopes Pereira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/02/2024 11:50:52.
- Adriano Jakelaitis, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 20/02/2024 11:24:06.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 20/02/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 573781

Código de Autenticação: f897bb4736



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho marca o fim de uma jornada repleta de desafios e aprendizados, gostaria de expressar minha profunda gratidão a Deus, fonte inesgotável de sabedoria e fortaleza, que guiou meus passos durante esta jornada acadêmica. Ratificar minha sincera gratidão àqueles que tornaram este percurso possível e significativo. Em primeiro lugar, agradeço de coração à minha mãe e ao meu pai, fonte de inspiração e suporte. Suas palavras sábias, amor incondicional e encorajamento constante foram pilares fundamentais ao longo deste caminho acadêmico. Meus agradecimentos se estendem aos professores e orientadores que contribuíram com sua expertise e paciência, moldando não apenas meu conhecimento, mas também meu crescimento pessoal. Cada conselho e direcionamento foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Às amizades cultivadas durante este percurso, agradeço por compartilharem não apenas o fardo dos desafios, mas também as alegrias das conquistas. Por fim, agradeço a todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Este é um testemunho da colaboração e apoio que permearam minha trajetória acadêmica, e por isso, expresso minha profunda gratidão a cada um de vocês.

RESUMO

FREITAS; Fillype. de Castro. **O desempenho da serotonina no processo germinativo e fatores agronômicos de plântulas de soja.** 2024. 15 p. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia) - Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde – GO, Rio Verde, 2024.

A serotonina nas plantas são metabólitos que funcionam como reguladores do crescimento e desenvolvimento, além de estar envolvida na produção de biomassa e modulação da germinação. Diante do exposto, objetivou-se determinar os efeitos benéficos no crescimento e vigor de plântulas de soja mediante a aplicação exógena de diferentes concentrações de serotonina em sementes. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado com dois lotes sendo os tratamentos compostos por: 0, 25, 50, 100 e 200 μM de serotonina. Cada tratamento constituiu de 5 repetições sendo cada repetição instituída de 50 sementes. Foram determinados Índice de Velocidade de Germinação (IVG), porcentagem de plantas normais, anormais e não germinadas, a massa seca da raiz, massa seca da parte aérea, massa seca do cotilédone, massa seca total de plântulas, comprimento da parte aérea, comprimento de raiz, comprimento total e quantidade de raiz. A serotonina em doses maiores (200 μM), propicia melhores resultados para as variáveis: massa seca da raiz, massa seca da parte aérea, massa seca total de de plântulas de soja. No entanto, a serotonina em doses elevadas induz a diminuição da massa seca do cotilédone.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max*; massa; serotonina; qualidade fisiológica.

ABSTRACT

Serotonin in plants are metabolites that function as regulators of growth and development, in addition to being involved in the production of biomass and modulation of germination. Given the above, the objective was to determine the beneficial effects on the growth and vigor of soybean seedlings through the exogenous application of different concentrations of serotonin in seeds. A completely randomized experimental design was used with two batches with treatments consisting of: 0, 25, 50, 100 and 200 μM of serotonin. Each treatment consisted of 5 replications, with each replication consisting of 50 seeds. Root dry mass, shoot dry mass, cotyledon dry mass, total seedling dry mass, shoot length, root length, total length and quantity of root were determined. Serotonin in higher doses (200 μM) provides better results for the variables: dry mass of the root, dry mass of the aerial part, total dry mass of seedlings of soybean seedlings. However, serotonin in high doses induces a decrease in the dry mass of the cotyledon.

KEYWORDS: *Glycine max*; pasta; serotonin; physiological quality.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Porcentagem de plântulas normais, anormais e sementes não germinadas em função de doses de serotonina (A) e Índice de velocidade de germinação (IVG) (B)..... 11
- Figura 2.** Massas secas de cotilédone (A), de parte aérea (B) de raiz (C) e do total da plântula (D) em função de doses de serotonina. *significativo pelo teste F ($p < 0,05$) 12
- Figura 3.** Comprimento de radícula (A), de parte aérea (B), do total da plântula (C) e número de raízes em função de doses de serotonina. Sem ajuste de modelo de regressão. 13
- Figura 4.** Comprimento total de plântula em escala em função de doses de serotonina 14

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	7
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
5 CONCLUSÃO.....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

1 INTRODUÇÃO

As leguminosas são uma boa fonte de alimento para o ser humano devido ao seu potencial nutricional, que é rico em proteínas, aminoácidos essenciais, carboidratos, fibras alimentares, minerais e vitaminas (DUENAS et al., 2015). As leguminosas também contêm quantidades consideráveis de fitoquímicos, como compostos fenólicos que possuem muitas funções biológicas na saúde humana (MOONGNGARM et al, 2021). A serotonina (5-hidroxitriptamina) é um dos fitoquímicos que desempenha um papel importante no corpo humano. Nas plantas, são metabólitos que funcionam como reguladores do crescimento e desenvolvimento, além de serem potentes antioxidantes na prevenção de danos celulares (ERLAND; SAXENA, 2017).

O desenvolvimento da semente envolve vias de sinalização altamente coordenadas associadas à fase de dessecação, acúmulo e mecanismos de eliminação de espécies reativas de oxigênio (ROS) e atividade diferencial de uma variedade de reguladores de crescimento (MUKHERJEE et al., 2016). WAN et al (2018) verificaram que altas concentrações de serotonina resultam em respostas de estresse ao inibir o crescimento da raiz primária através da regulação do acúmulo e distribuição de O_2 e H_2O_2 através do fator de transcrição *UPBEAT1* (*UPBI*) que regula a distribuição de H_2O_2 e O_2 nas zonas de alongamento e meristema das raízes, reprimindo a expressão gênica de peroxidases nas raízes, independente da via da auxina.

Além disso, verificaram que serotonina também reduz o acúmulo de auxina nas pontas das raízes, diminuindo a expressão de genes relacionados à biossíntese de auxina e interrompendo o transporte de auxina nas pontas das raízes. Notavelmente, essa relação da serotonina com a modulação do crescimento e arquitetura do sistema radicular precisa ser melhor investigado, pois o crescimento do sistema radicular envolve diversos outros mecanismos fisiológicos. Pergunta-se ainda, esse padrão acontece em culturas tropicais? Pois até agora esse estudo foram feitos apenas em plantas modelos de *Arabidopsis thaliana*.

Diante do exposto, objetivou-se determinar os efeitos benéficos no crescimento e vigor de plântulas de soja mediante a aplicação exógena de diferentes concentrações de serotonina em sementes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A serotonina é considerada um regulador de crescimento vegetal não tradicional com atividade semelhante à citocinina, capaz de melhorar o desenvolvimento das raízes laterais de maneira dose-dependente, estimulando o desenvolvimento de botões radiculares laterais

preexistentes. Está envolvido em diversos processos de crescimento, organogênese e padronização de raízes e brotos, divisão e diferenciação celular, produção de biomassa e modulação da germinação, embriogênese somática e senescência (ERLAND et al., 2016).

A serotonina foi relatada pela primeira vez em animais na década de 1930 por VIALLI e ERSPAMER, (1937) ao estudarem moléculas capazes de promover a contração muscular. Nesse momento, entretanto, foi denominada de enteramina. Dez anos depois, ao ser estudada em laboratórios distintos, foi finalmente denominada de serotonina (ERSPAMER; ARSERO, 1952). Nas plantas, a serotonina foi relatada pela primeira vez em 1954 por BOWDEN et al., (1954), os quais estudavam as substâncias que continham nos tricomas das vagens de *Mucuna pruriens* (L.) D.C., visto que essas substâncias quando em contato com a pele causava irritação. Em 1957 já se sabia que a serotonina poderia ser oxidada por reação enzimática (CLARKE; MANN, 1957) e que, sua molécula é análoga à molécula de auxina (WOOLLEY, 1957).

Entre 1950 e 1960 iniciou-se um período de grande procura da serotonina nas plantas, uma vez conhecido o seu vital papel em humanos e seu valor comercial (BOWDEN et al., 1954). Os pesquisadores queriam saber se essa substância neurotransmissora em animais, estava presente em todas as plantas, e ainda, em qual parte da planta poderia ser encontrada em maiores quantidades. Para tanto, WAALKES et al. (1958), descrevem a presença de serotonina em diferentes variedades de bananas e WILKINS, (1958) em raízes de *Rauvolfia serpentina*. Em 1959, UDENFRIEND et al. (1959), identificaram em abacate, berinjela, tomate e ameixa em concentrações de 10, 2, 12 e 10 $\mu\text{g g}^{-1}$ de matéria fresca, respectivamente. Foi constatado ainda que essas concentrações de serotonina podem variar de acordo com os estádios de maturação dos frutos bem como com o tipo de tecido (UNDENFRIEND et al., 1959).

FELLOWS e BELL (1970), verificaram que os níveis de serotonina variam discrepantemente entre os órgãos das plantas de *Griffonia simplicilia*, sendo essa variação de 0,007 $\mu\text{g g}^{-1}$ de folhas frescas para 2,000 $\mu\text{g g}^{-1}$ em sementes, sugerindo, portanto, que a serotonina poderia desempenhar um papel importante no desenvolvimento de sementes. Isso foi confirmado pelos estudos de BERGMANN, GROSSE e RUPPEL, (1970), pois ao estudarem a dinâmica da serotonina em sementes de *Juglans regia*, os autores verificaram que a formação de serotonina no embrião é uma via de desintoxicação de amônia em que a amônia liberada na degradação amino-proteica é incorporada na serotonina via triptofano. Além disso, tais autores, verificaram que triptofano é o precursor da serotonina, uma vez que a biossíntese de serotonina em cotilédones isolados em meio de cultura é aumentada pelo fornecimento exógeno desse aminoácido.

Os efeitos morfogenéticos da serotonina foram investigados na planta medicinal *Hypericum perforatum* (L.). Altos níveis de serotonina foram associados ao aumento da produção de brotos, e a inibição dos receptores de serotonina levou a uma inibição na produção de brotos. A serotonina também foi considerada eficaz na promoção da produção de brotos em *Mimosa pudica* L. Onde o tratamento com serotonina aumentou significativamente o número de brotos, a altura dos brotos, o número de raízes e o peso fresco total de explantes cultivados in vitro (ERLAND et al., 2016).

CSABA e PÁL (1982), trataram sementes de cevada com serotonina exógena e verificaram que após a germinação as plântulas de cevada exibiam um incremento no comprimento de raízes, peso seco de raízes e peso seco do hipocótilo. Além disso, os autores sugeriram pela primeira vez, a existência de receptores de serotonina em plantas, como já bem elucidado em animais. GROBE (1982) reafirma a importância da síntese de serotonina como uma via de desintoxicação de amônio durante o desenvolvimento das sementes. LEMBECK e SKOFISTSCH (1984), relatam que o aumento na síntese de serotonina que ocorre no cotilédone embrionário e na casca da semente, durante a maturação, pode ser um mecanismo adaptativo de defesa contra fatores bióticos.

KANG et al. (2007), realizaram a caracterização da triptamina 5-hidroxilase em plantas de arroz, e verificaram que a maior atividade da enzima é observada em raízes. Além disso, foi verificado que a enzima tem a atividade aumentada na presença de triptamina e reduzida na presença de altas concentrações de triptofano.

PELAGIO-FLORES et al. (2011), verificaram que a serotonina é capaz de modular a arquitetura do sistema radicular, de modo que quando suas concentrações nos tecidos radiculares estão entre 10 a 160 μM , ocorre a formação de raízes laterais. Entretanto, concentrações superiores a essas, inibem a formação de raízes laterais, induzem o crescimento da raiz principal, e ainda, promove aumentos na quantidade de pelos absorventes.

WAN et al (2018), verificaram que serotonina também reduz o acúmulo de auxina nas pontas das raízes, diminuindo a expressão de genes relacionados à biossíntese de auxina e interrompendo o transporte de auxina nas pontas das raízes. Notavelmente, essa relação da serotonina com a modulação do crescimento e arquitetura do sistema radicular precisa ser melhor investigado, pois o crescimento do sistema radicular envolve diversos outros mecanismos fisiológicos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de plantas daninhas e sementes do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, com as coordenadas geográficas 17° 48' 15.9" S – 50° 54' 19,5" W.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com dois lotes contendo tratamentos cada um deles compostos por: 0, 25, 50, 100 e 200 μM de serotonina. Cada tratamento constituiu de 5 repetições sendo cada repetição instituída de 50 sementes. Cada semente foi considerada uma unidade experimental.

As sementes foram colocadas para germinar durante o período de 7 dias nas soluções dos diferentes tratamentos. Para isso, a cultivar de sementes de soja utilizada foi a DM73i75IPRO. Em seguida, deu-se início ao processo de montagem e distribuição das sementes no papel germitest umedecidos a 2,5 vezes massa do papel seco onde foram dispostas em rolos seguindo os padrões da RAS (Regra de Análise de Sementes), 2009.

Após, foram embebidas em solução (dosagem serotonina μM + água destilada) seguindo suas respectivas dosagens. Dessa maneira, as amostras foram devidamente levadas em germinador do tipo BOD e submetidas a temperatura de 25°C com controle de fotoperíodo 12h-12h à temperatura de 25 °C. As sementes foram amostradas do primeiro ao oitavo dia após a semeadura. Aquelas com protrusão da radícula foram consideradas germinadas. No oitavo dia, a germinação total foi avaliada, levando em consideração as porcentagens de sementes que formaram plântulas normais (plântulas com desenvolvimento normal do hipocótilo e radícula), além de plântulas anormais e mortas. O índice de velocidade de germinação foi calculado de acordo com Maguire (1962), onde $GSI = E1/N1 + E2/N2 + \dots + En/Nn$. Onde: E1, E2 e En representam o número de plântulas normais contadas no primeiro, segundo e último monitoramento, respectivamente. N1, N2 e Nn representam o número de dias após a implementação do teste.

A obtenção da biomassa da matéria seca média (g / plântula) das plântulas foi realizada após a retirada das amostras da BOD. Primeiramente, foram identificadas e separadas 20 plântulas normais de cada tratamento em cotilédone, raiz e parte aérea e assim, colocada em sacos de papel devidamente classificadas, em estufa, com circulação de ar forçada, ajustada a 65°C, por período de 24 h e, então, realizada a pesagem em balança analítica (0,001 g) (Nakagawa, 1999). No segundo momento, da mesma forma o outro lote foi identificado e separado 20 plântulas normais aleatoriamente, medindo-se o comprimento (parte aérea, raiz e total) de cada tratamento. Os resultados foram expressos em centímetros (cm).

Após a obtenção dos dados, esses foram submetidos a testes estatísticos preliminares para adequação ou não dos resultados para posterior análise de variância (ANOVA) utilizando o programa estatístico SISVAR. O efeito dos tratamentos foi verificado, pelas variáveis quantitativas analisadas pela regressão linear.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

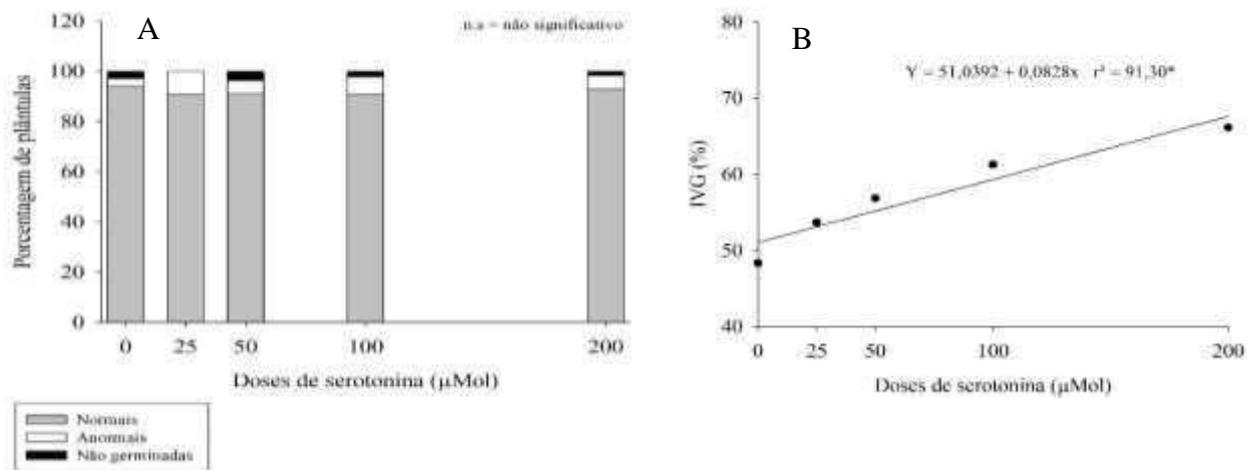


Figura 1. Porcentagem de plântulas normais, anormais e sementes não germinadas (A) e índice de velocidade de germinação (IVG) (B) em função de doses de serotonina. “A” - sem ajuste de modelo de regressão. “B” - *significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Não foram observadas diferenças nas porcentagens de plântulas normais, anormais e sementes não germinadas em relação às diferentes doses de serotonina. As médias registradas foram de 92,0%, 6,0% e 2,0%, respectivamente (Figura 1A). O índice de vigor de germinação (IVG) apresentou resposta linear ascendente com aumento do IVG de 0,083% para cada µMol de serotonina testado (Figura 1B). O ponto mais elevado foi com a dose de 200 µMol (67,59%), enquanto a testemunha (0 µMol), exibiu o valor reduzido, atingindo 51,03% (Figura 1B).

A serotonina também mostrou um efeito positivo na produção de raízes em diversas espécies, incluindo mimosa, noz (*Juglans nigra* L. x *Juglans regia* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), cevada (*Hordeum vulgare* L.) e a planta modelo *Arabidopsis thaliana* (RAMAKRISHNA et al., 2009; PELAGIO-FLORES et al., 2001; GATINEAU et al., 1997).

Observou-se também que, embora a serotonina aumentasse o número de raízes, isso não se devia à formação de raízes de novo, mas sim à promoção do crescimento e desenvolvimento dos primórdios existentes. Os autores, portanto, propuseram que a serotonina, em vez de aumentar o conteúdo ou a ação da auxina, foi considerada antagônica à função normal da auxina no desenvolvimento da raiz (PELAGIO-FLORES et al., 2016).

Em relação à massa seca do cotilédone, o valor mais expressivo foi registrado na dose de 75 μMol de serotonina, atingindo 1,902g, e o menor valor na dose de 200 μMol , totalizando 1,584g (Figura 2A). Quanto à massa seca da parte aérea, o valor mais elevado foi registrado na dose de 200 μMol , atingindo 0,435g, enquanto o valor mais baixo foi observado na dose de 87 μMol , totalizando 0,225g (Figura 2B). No que se refere à massa seca de raiz, destacou-se o maior valor na dose de 87 μMol , alcançando 0,225g, ao passo que o menor valor foi observado na dose de 0 μMol , totalizando 0,125g (Figura 2C). A massa seca total, apresentou-se significativamente superior na dose de 200 μMol , registrando 0,628g, ao passo que o valor mais baixo foi constatado na dose de 86 μMol , totalizando 0,329g (Figura 2D).

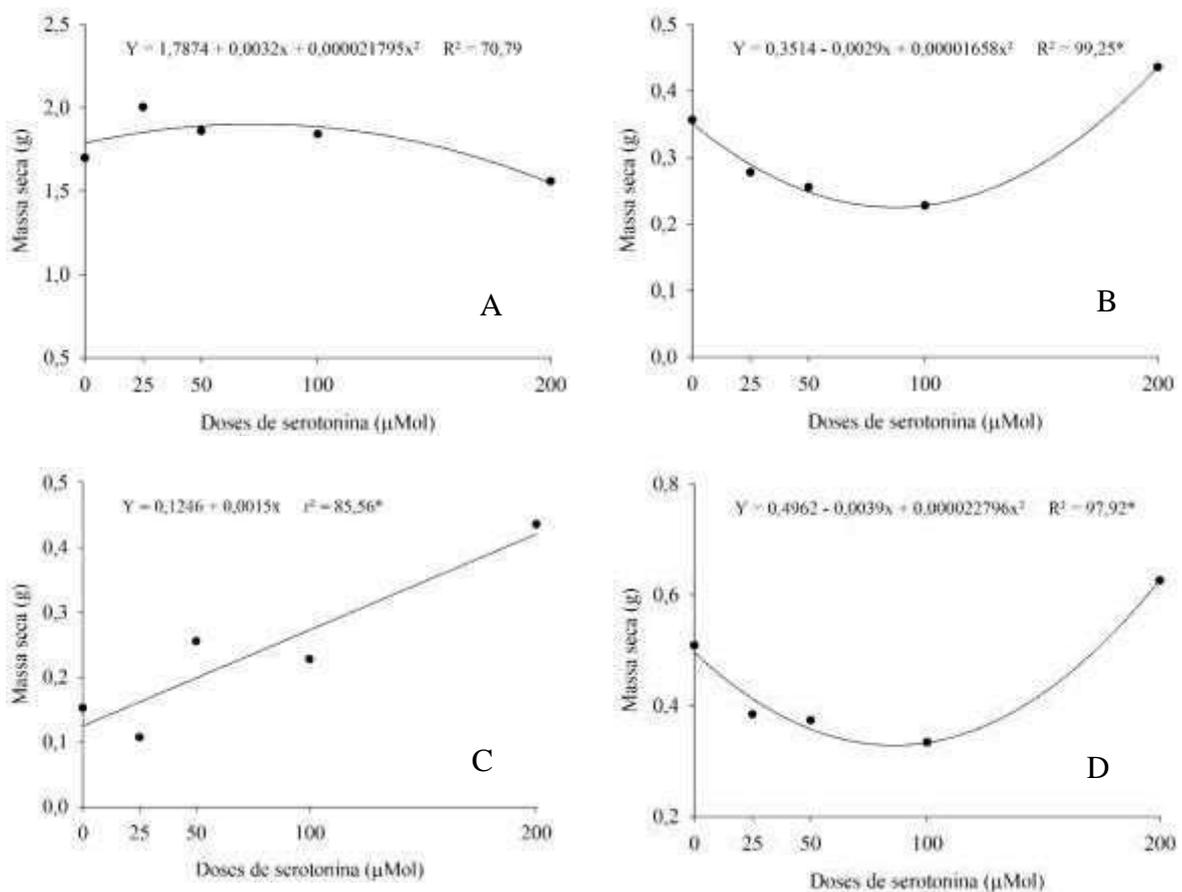


Figura 2. Massas secas de cotilédone (A), de parte aérea (B) de raiz (C) e do total da plântula (D) em função de doses de serotonina. *significativo pelo teste F ($p < 0,05$).

Para as variáveis comprimento de radícula, comprimento da parte aérea, comprimento total da planta (figura 4) e número de raízes foram observadas diferenças estatísticas, porém não foi possível ajustar modelo estatístico significativo que explicasse o comportamento em função das doses de serotonina (Figura 3A, B, C e D). Foram observados que os menores

valores foram encontrados para a dose de 25 μMol com valores de 4,19; 3,76 e 7,96 cm, respectivamente, enquanto na dose de 200 μMol foram observados os maiores valores (Figura 3A, B, C e D).

Estudos anteriores mostraram que concentrações moderadas de serotonina induzem marcadamente a formação de raiz, enquanto altas concentrações de serotonina ($>300 \mu\text{M}$) inibem o crescimento da raiz primária (PELAGIO-FLORES et al., 2012; WANG et al., 2016). Esses estudos mostraram ainda que altas concentrações de serotonina inibem o transporte e acúmulo de auxina nas raízes, reduzindo assim o crescimento de raízes.

Da mesma forma que a serotonina é capaz de promover o crescimento e o desenvolvimento de flores, sementes e micrósporos, também foi descoberto que ela promove a germinação das sementes, aumenta o peso do coleóptilo e promove o alongamento do hipocótilo durante a germinação do embrião, o que equivale a um aumento geral na biomassa de plântulas (ROSHCHINA, 2001).

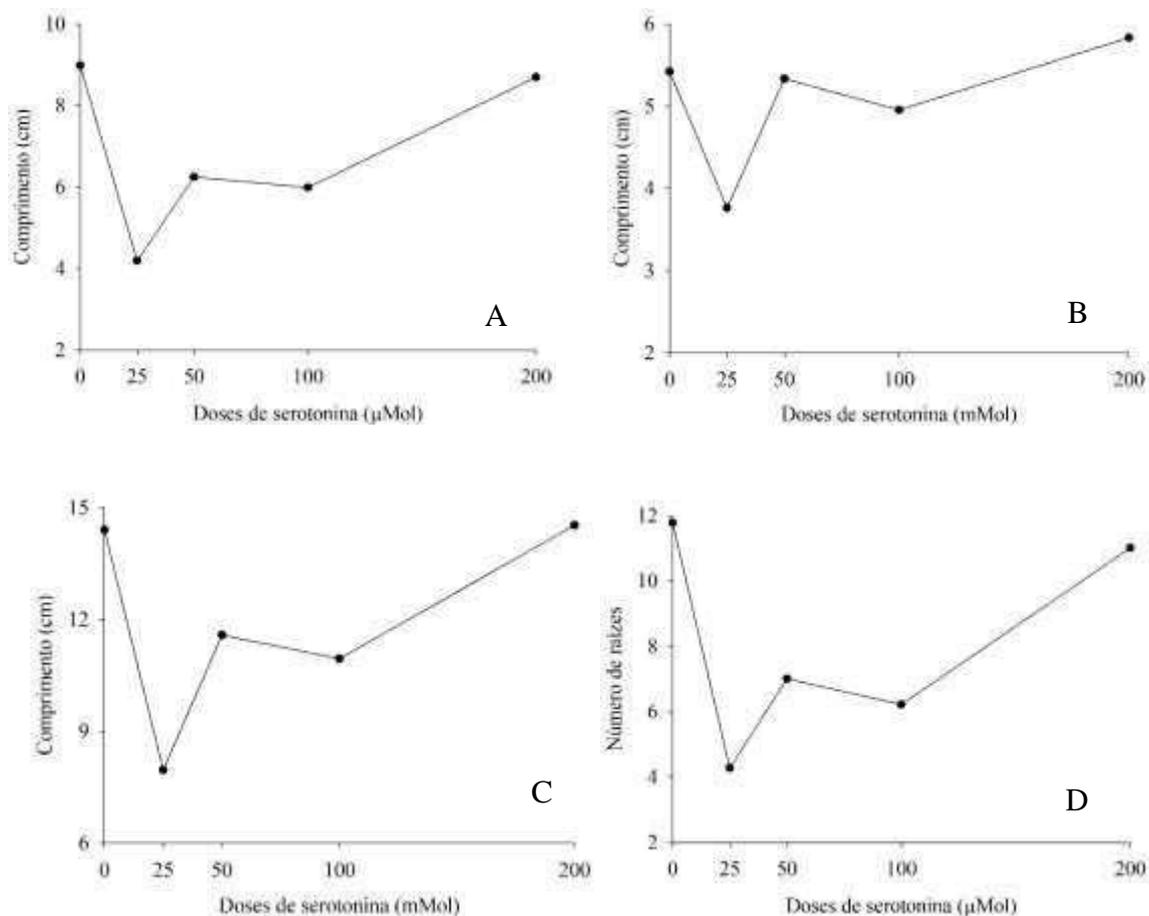


Figura 3. Comprimento de radícula (A), de parte aérea (B), do total da plântula (C) e número de raízes (D) em função de doses de serotonina. Sem ajuste de modelo de regressão.



Figura 4. Comprimento total de plântula de soja em função de doses de serotonina (μMol).

5 CONCLUSÃO

A serotonina em doses maiores ($200\mu\text{M}$) propicia melhores resultados para as variáveis: índice de velocidade de germinação, massa seca de parte aérea, massa seca total, comprimentos de raiz, de parte aérea e do total de plântulas de soja. No entanto, a serotonina em doses elevadas induz a diminuição da massa seca do cotilédone.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERGMANN, L.; GROSSE, W.; RUPPEL, H. G. The formation of serotonin in *Juglans regia* L. **Planta**, v. 94, n. 1, p. 47-59, 1970.

BOWDEN, K.; BROWN, BARBARA G.; BATTY, JEAN E. 5-Hydroxytryptamine: its occurrence in cowhage. **Nature**, v. 174, n. 4437, p. 925, 1954.

CLARKE, A. Jo; MANN, P. J. G. The oxidation of tryptamine to 3-indolylacetaldehyde by plant amine oxidase. **Biochemical Journal**, v. 65, n. 4, p. 763, 1957.

CSABA, G.; PÁL, K. Effects of insulin, triiodothyronine, and serotonin on plant seed development. **Protoplasma**, v. 110, n. 1, p. 20-22, 1982.

- DUENAS, M., MARTÍNEZ-VILLALUENGA, C., LIMON, R. I., PEÑAS, E., & FRIAS, J. (2015). Effect of germination and elicitation on phenolic composition and bioactivity of kidney beans. **Food Research International**, 70, 55-63.
- ERLAND, L. A., TURI, C. E., & SAXENA, P. K. (2016). Serotonin: An ancient molecule and an important regulator of plant processes. **Biotechnology Advances**, 34(8), 1347-1361.
- ERSPAMER, V; ASERO, B. Identification of enteramine, the specific hormone of the enterochromaffin cell system, as 5-hydroxytryptamine. **Nature**, v. 169, n. 4306, p. 800, 1952.
- FELLOWS, L. E.; BELL, E. A. 5-Hydroxy-L-tryptophan, 5-hydroxytryptamine and L-tryptophan-5-hydroxylase in *Griffonia simplicifolia*. **Phytochemistry**, v. 9, n. 11, p. 2389-2396, 1970.
- GROBE, W. Function of serotonin in seeds of walnuts. **Phytochemistry**, v. 21, n. 4, p. 819-822, 1982.
- KANG, S. et al. Characterization of tryptamine 5-hydroxylase and serotonin synthesis in rice plants. **Plant cell reports**, v. 26, n. 11, p. 2009-2015, 2007.
- LEMBECK, F; SKOFITSCH, G. Distribution of serotonin in *Juglans regia* seeds during ontogenetic development and germination. **Zeitschrift für Pflanzenphysiologie**, v. 114, n. 4, p. 349-353, 1984.
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Sci.* v. 2, p. 176–177, 1962.
- MOONGNGARM, A; CHOTTANOM, P; NONTASAN, S. (2021). Melatonin, its precursors, total phenolic content and antioxidant activity in legumes germinated under normal and saline conditions. **Journal of Sustainability Science and Management**. 16. 53-66. 10.46754/jssm.2021.02.007.
- MUKHERJEE, S. et al. Salt stress-induced seedling growth inhibition coincides with differential distribution of serotonin and melatonin in sunflower seedling roots and cotyledons. **Physiologia plantarum**, v. 152, n. 4, p. 714-728, 2016.
- PELAGIO-FLORES, R. et al. Serotonin, a tryptophan-derived signal conserved in plants and animals, regulates root system architecture probably acting as a natural auxin inhibitor in *Arabidopsis thaliana*. **Plant and Cell Physiology**, v. 52, n. 3, p. 490-508, 2011.
- PELAGIO-FLORES R, MUNOZ-PARRA E, ORTIZ-CASTRO R, LOPEZ-BUCIO J. Melatonin regulates *Arabidopsis* root system architecture likely acting independently of auxin signaling. **J Pineal Res**. 2012; 53:279–88.
- UDENFRIEND, S; LOVENBERG, W; SJOERDSMA, A. Physiologically active amines in common fruits and vegetables. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 85, n. 2, p. 487-490, 1959.
- VIALLI, M; ERSPAMER, V. Ricerche sul secreto delle cellule enterocromaffini. **Zeitschrift für Zellforschung und Mikroskopische Anatomie**, v. 27, n. 1, p. 81-99, 1937.

WAALKES, T. P. et al. Serotonin, norepinephrine, and related compounds in bananas. **Science**, v. 127, n. 3299, p. 648-650, 1958.

WAN, et al. Involvement of reactive oxygen species and auxin in serotonin-induced inhibition of primary root elongation. **Journal of plant physiology**, v. 229, p. 89-99, 2018.

WANG Q, AN B, WEI Y, et al. Melatonin regulates root meristem by repressing auxin synthesis and polar auxin transport in *Arabidopsis*. **Front Plant Sci.** 2016; 7:1882.

WILKINS, R. W. From Snake Root to Serotonin. **Journal of the American Geriatrics Society**, v. 6, n. 2, p. 81-86, 1958.

WOOLLEY, D. W. Probable evolutionary relationship of serotonin and indoleacetic acid and some practical consequences therefrom. **Nature**, v. 180, n. 4587, p. 630-633, 1957.