



**JOÃO ARTHUR DA CUNHA TEIXEIRA**

**USO DE MOLÉCULAS SINALIZADORAS PARA INDUÇÃO DE  
TOLERÊNCIA À CADMIO EM SEMENTES DE ALGODÃO**

**LAVRAS – MG**

**2021**

**JOÃO ARTHUR DA CUNHA TEIXEIRA**

**USO DE MOLÉCULAS SINALIZADORAS PARA INDUÇÃO DE  
TOLERÂNCIA À CADMIO EM SEMENTES DE ALGODÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dra. Heloísa Oliveira dos Santos  
Orientadora

Marília Mendes dos Santos Guaraldo  
Coorientadora

**LAVRAS – MG**

**2021**

**JOÃO ARTHUR DA CUNHA TEIXEIRA**

**USO DE MOLÉCULAS SINALIZADORAS PARA INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA À  
CADMIO EM SEMENTES DE ALGODÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 15 de abril de 2020.

Heloísa Oliveira dos Santos

Giovani Virgílio Tirelli

Marília Mendes dos Santos Guaraldo

UFLA

UFLA

UFLA

Profa. Dra. Heloísa Oliveira dos Santos  
Orientadora

Marília Mendes dos Santos Guaraldo  
Coorientadora

**LAVRAS- MG**

**2021**

## **Dedicatória**

Aos meus amados pais Elder de Souza Teixeira e Domingas Abrahão da Cunha (in memoriam) exemplos de vida, integridade e sabedoria, meus eternos educadores. Iluminam meu caminho ensinando que a mais importante importante de se viver é através da infidável busca pelo conhecimento.

A Ti, PAI QUERIDO.

A Ti, MÃE AMADA.

## **HOMENAGEM ESPECIAL**

“Seria possível alguém nascer, viver, sofrer, lutar, vencer, amar e morrer sem conhecer inimigos, só ter amigos. Seria alguém muito especial. Poucas pessoas tiveram o privilégio de conhecer alguém assim, pois eu conheci, minha MÃE que dedicou sua vida a família.

Um modelo de vida. Um VENCEDOR”

DOMINGAS ABRAHÃO DA CUNHA

“In memoriam”

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me guiar, amparar, acalmar e proteger.

Aos meus pais, Elder e Domingas, por serem minha base e estrutura, por acreditarem em mim e por nunca medirem esforços para que eu pudesse chegar até aqui.

Aos moradores e agregados (as) do meu apartamento, pela amizade e companhia.

Às amigadas que a agronomia me trouxe.

À turma 16/2 da agronomia por tudo, se tornou uma família.

Ao Daniel e Herick, pela irmandade contruída.

Aos amigos do Maria Isabel que me acolheram.

Aos amigos, colegas funcionários e técnicos da empresa Terras Gerais, pela experiência de estágio.

À minha orientadora profa. Dra. Heloísa Oliveira dos Santos, pela confiança, competência, compreensão e pelo conhecimento compartilhado. Por ir além do âmbito acadêmico, mostrando sua integridade, empatia e humanidade.

À minha coorientadora, Marília Mendes dos Santos Guaraldo, sempre tão solícita, pelo profissionalismo e dedicação no desenvolvimento deste trabalho.

À Cooperativa de Produtores Rurais de Catuti, pela disponibilização das sementes utilizadas na pesquisa, e a Associação Mineira dos Produtores de Algodão (AIMPA).

Aos amigos, colegas, funcionários e técnicos do laboratório de Análise de Sementes (LAS) pelo auxílio durante a condução do experimento e estágio.

Ao NEACI, NECOTON e NEPEC pelo aprendizado, crescimento pessoal e profissional.

A todos os professores que contribuíram para minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal a Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade de estudo, estrutura e investimento, pela postura e acolhimento.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para que eu conseguisse concluir essa importante etapa da minha vida.

**MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

A cultura do algodão (*Gossypium hirsutum*) possui relevante importância socioeconômica no cenário nacional e mundial, sendo a principal cultura utilizada pela indústria têxtil. Condições de estresse são cada vez mais a realidade na agricultura, principalmente os causados por ações do homem contra o meio-ambiente como ocorre no estresse através de contaminação por metais pesados, a exemplo do cádmio. Para reverter essa situação, estratégias como o condicionamento de sementes com substâncias indutoras de tolerância são cada vez mais visadas. O condicionamento osmótico é uma alternativa segura e viável para a melhoria do desempenho da germinação de sementes. Assim, o objetivo neste trabalho foi avaliar o efeito do condicionamento fisiológico em sementes de algodão submetidas a diferentes soluções condicionantes. As análises foram realizadas no Laboratório Central de Pesquisa em Sementes (LCPS), do Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras – MG. As sementes de algodão foram produzidas na safra 2020/2021, fornecidas pela Cooperativa de Produtores Rurais de Catuti, localizada na cidade de Catuti – MG. As sementes foram submetidas a duas condições de germinação, com e sem estresse a cádmio. Para o condicionamento foram utilizadas moléculas de ácido indolacético, peróxido de hidrogênio, óxido nítrico, melatonina e quitosana. Foram avaliadas a germinação, através da porcentagem da primeira contagem de germinação (4 dias após a semeadura) e germinação (7 dias após a semeadura) e teor de água das sementes após o condicionamento e após a secagem. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado (DIC), com oito repetições, em esquema fatorial (6x2), sendo seis soluções condicionantes, duas condições de germinação mais um controle (sementes sem condicionamento). As médias foram submetidas à análise de variância através do software SISVAR e aplicados testes de médias (Scott-Knott) quando significativas a 5% de probabilidade. O condicionamento fisiológico melhora o potencial fisiológico das sementes. O teor de água após a secagem, quando as sementes são tratadas com ácido indolacético, óxido nítrico, quitosana e água foi potencializado. O uso de melatonina, óxido nítrico e quitosana como solução condicionante proporciona melhor germinação (aos 4 DAS e 7 DAS) para as sementes de algodão, quando submetidas ao estresse por cádmio.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum*. Priming, Condicionamento. Osmocondicionamento. Estresses ambientais.

## SUMÁRIO

<b>1- INTRODUÇÃO .....</b>	<b>07</b>
<b>2- REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>09</b>
<b>2.1- Importância da cultura do algodão no Brasil.....</b>	<b>09</b>
<b>2.2- Contaminação por cádmio e seus efeitos .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3- Substâncias condicionantes na indução de tolerância em sementes .....</b>	<b>11</b>
<b>3- MATERIAL E METODOS .....</b>	<b>13</b>
<b>4- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>5- CONCLUSÕES .....</b>	<b>18</b>
<b>6 – REFERÊNCIAS .....</b>	<b>19</b>

## INTRODUÇÃO

A cultura do algodão é significativa no Brasil e no mundo, tornando-se um produto de alta importância socioeconômica. Sendo o Brasil a maior cadeia integrada do ocidente, a cultura é uma grande fonte de renda e empregos, utilizada em indústrias têxteis, na alimentação animal e humana, moda, entre outras (ALVES et al., 2021; AMPASUL, 2020). O Brasil atualmente é o quarto maior produtor da cultura, ficando atrás da Índia, China e Estados Unidos, respectivamente. Líder na produção em sequeiro, o país hoje ocupa o segundo lugar nas exportações mundiais, ficando atrás somente do XXXX(BRASIL, 2020).

A produção brasileira na safra de 2019/20 atingiu o volume de 2,7 milhões de toneladas, alcançando o volume recorde com uma alta de 36% em relação à safra anterior, isso, devido ao aumento de 37,8% na área cultivada, já que tiveram uma queda na produtividade média de 1,3% resultando em uma produtividade de 1,685Kg/ha (ABRAPA, 2020; AMPA, 2020). Em 2019 exportaram 1,61 milhões de toneladas de pluma, que foi o recorde, gerando R\$2,64 bilhões (CONAB, 2020).

A cultura do algodoeiro é de suma importância econômica e social, sendo assim, medidas são necessárias para aprimorar fatores como produtividade e qualidade, uma vez que a cultura é uma das mais complexas desde semeadura até a colheita (APIPA, 2020; SILVA et al., 2020). Diversos fatores influenciam na qualidade final da matéria prima, como fatores bióticos e abióticos, que podem ser extremamente limitantes para o desenvolvimento da cultura. Exemplo disso são solos contaminados com metais pesados (ASSIS et al., 2007). Devido à ação antrópica, principalmente se tratando do descarte inadequado de materiais contaminados, temos como um dos principais metais, o cádmio, que pode provocar uma redução significativa do crescimento inicial do algodão, com potencial inibitório da parte aérea de aproximadamente 50% (SANTOS et al., 2017).

A fim de mitigar esse cenário, a utilização de sementes de alta qualidade é uma solução viável, pois possibilita melhor desempenho da lavoura, uma germinação mais rápida, um *stand* mais uniforme e plântulas com um maior vigor, gerando uma melhora na produtividade (ALMEIDA et al., 2020). Algumas técnicas podem ser empregadas para garantir maior qualidade dessas sementes, como o condicionamento osmótico(BONOME et al., 2017).

O condicionamento osmótico é uma técnica de controle da hidratação da semente pelo emprego de soluções diluídas até um limite que permita a realização dos processos metabólicos pré-germinativos, sem a emergência da radícula (BRADFORD, 1986).

Assim, quando levadas a semeadura, essa semente passa a germinar mais rapidamente e de forma mais eficaz (KIKUTI et al, 2009). Moléculas como a melatonina, ácido indolacético (AIA), óxido nítrico, peróxido de hidrogênio e quitosana são exemplos de substâncias que podem ser utilizadas com este intuito, por proporcionarem melhor eficiência na atividade antioxidante enzimática de plantas, causando efeito protetor (CARDOSO et al., 2015).

Desta forma, o objetivo neste trabalho foi analisar a eficiência do uso de moléculas sinalizadoras na indução de tolerância a estresses causado por metal pesado em sementes de algodão.

## REFERENCIAL TEÓRICO

### Importância da cultura do algodão no Brasil

O algodoeiro é uma das culturas de maior importância agrícola no mundo, isto, devido a sua fibra ser a de maior relevância para a indústria mundial. O Brasil nos últimos anos se mantém entre os cinco maiores produtores mundiais, cultivando cerca de 35 milhões de hectares/ano, estando ao lado de países como China, Índia, Estados Unidos e Paquistão (CONAB, 2020). Todos os anos, uma média de 35 milhões de hectares de algodão é plantada em todo o planeta. A demanda mundial tem aumentado gradativamente desde a década de 1950, a um crescimento anual médio de 2%. O comércio mundial do algodão movimenta anualmente cerca de US\$ 12 bilhões e envolve mais de 350 milhões de pessoas em sua produção, desde as fazendas até a logística, descaroçamento, processamento e embalagem, sendo produzido por mais de 60 países, nos cinco continentes. (ABRAPA, 2020).

No Brasil, os indígenas já cultivavam o algodão e convertiam-no em fios e tecidos. Mas a produção comercial se deu em 1760, começando nos estados da Região Nordeste sendo o Maranhão o primeiro grande produtor. Até então, os produtores se dedicavam ao plantio do algodão arbóreo perene, de fibras mais longas. A cultura do algodão herbáceo, de fibras mais curtas e de ciclo anual como cultivado atualmente, teve início em meados do século XVIII, em São Paulo. Isso se deu devido à revolução industrial que acontecia na Europa, onde era usado como matéria prima para a indústria têxtil (AMAPA, 2020; AMPA, 2020; AMPASUL, 2020).

O algodão se enquadra no conceito de fibra natural (AKIL et al., 2011) e é a principal fibra vegetal, classe que incorpora ainda fibras provenientes de caule como o linho e cânhamo e fibras provenientes de folhas como o sisal (OLIVEIRA, 1997). Os produtos obtidos do algodoeiro são pluma, línter, fibrilha, fios, tecidos, malhas, caroço, torta e farelo, óleo bruto e biodiesel. Porém, a produção nacional de algodão é, prioritariamente, destinada à indústria têxtil (ANUÁRIO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2019).

Atualmente, a indústria têxtil se encontra em declínio no cenário nacional e, desconsiderando-se as transações de fibras, em 2019 as importações superaram as exportações em 873,2 mil toneladas, equivalentes a um déficit de US\$ 3,6 bilhões (BRASIL, 2020). Como vantagem, o Brasil se posiciona hoje como o quarto maior produtor e segundo maior exportador mundial desta cultura (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2019).

Por permanecer mais tempo no período vegetativo quando comparado a outras culturas como a soja e ao milho, o algodoeiro necessita de técnicas que englobem as primeiras fases de desenvolvimento para garantir seu desempenho em campo (MATTIONI et al., 2012). Assim, fatores que influenciam positivamente o desempenho das plantas como uniformidade de germinação e o rápido desenvolvimento radicular nesta fase de estabelecimento da lavoura são cada vez mais visados.

### **Contaminação por cádmio e seus efeitos**

O cádmio (Cd) é encontrado naturalmente em solos, geralmente em concentrações baixas, sendo encontrado na proporção de 0,15 – 0,2 mg kg<sup>-1</sup> em rochas magmáticas e sedimentares, possuindo densidade de 8,65 cm<sup>-3</sup> (PERNÍIA et al., 2012). Porém a contaminação do solo por metais pesados como o Cd é geralmente relacionada a ações antrópicas como a mineração, vazamentos de resíduos industriais, fertilizantes e agroquímicos em geral do meio agrícola (MALAVOLTA, 1994). No cerrado brasileiro, em latossolos derivados de rochas básicas é possível encontrar um teor médio de 10 mg kg<sup>-1</sup> de Cd (BIZARRO, 2007). Comumente, são consideradas condições normais de concentração de Cd em solos teores menores que 1 mg kg<sup>-1</sup>, contudo na Europa e em outros continentes, são permitidos que solos agrícolas apresentem até 3 mg kg<sup>-1</sup> (OLIVEIRA, 2002).

Nas plantas, a intoxicação por cádmio pode alterar as condições de trocas gasosas e, conseqüentemente, a diminuição de pigmentos fotossintéticos como as clorofilas e carotenoides (AKHTAR et al., 2016). Além disso, a presença do Cd compete na absorção e transporte de alguns macro e microelementos na membrana transportadora, como potássio, cálcio, magnésio, ferro, manganês, cobre, zinco e níquel (DAS et al., 1997). Outra consequência da toxidez pelo Cd é a redução da atividade das enzimas  $\alpha$  e  $\beta$  amilases, o que afeta a respiração e inibe o crescimento do embrião e das radículas (GUIMARÃES et al., 2008).

Algumas plantas são mais tolerantes ao estresse causado pelo Cd, como algumas cultivares de milho (RIZWAN et al, 2012), contudo quando não tolerantes apresentam redução do comprimento das raízes e da parte aérea, branqueamento das folhas, alterações dos cloroplastos e pigmentos foliares (GUIMARÃES et al., 2008). Em milho, concentrações entre 100  $\mu$ M e 250  $\mu$ M de Cd foram consideradas tóxicas, enquanto para o feijão aplicar 50 a 200  $\mu$ mol L<sup>-1</sup> diminuiu a emergência, o índice de velocidade de emergência e o crescimento, além de reduzir o teor de clorofila (SANTOS et al., 2013).

### **Substâncias condicionantes na indução de tolerância em sementes**

A germinação é um conjunto de eventos morfológicos que desencadeiam a transformação do embrião em plântula e é um ponto crucial no sucesso da implementação e produção das culturas (STEFANELLO et al., 2020). Esta fase é totalmente influenciável pelas condições externas, como disponibilidade de água, temperatura, luz e condições de estresse. Essas condições de estresse podem diminuir a velocidade de emergência, atrasando a germinação e atrapalhando o desenvolvimento pleno da plântula (BRANCALION; NOVENBRE; RODRIGUES, 2010).

O uso de sementes de qualidade é a base para a garantia de bons resultados na cotonicultura uma vez que boas sementes trazem atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que irão garantir benefícios em seu uso (BELTRÃO & AZEVEDO, 2008). O uso de tratamentos pré-semeadura tem sido estudado como alternativa para proporcionar a germinação de sementes e a emergência mais rápida e uniforme de plântulas no campo (TUNES et al., 2020). Dentre as vantagens do uso de sementes tratadas podemos citar: uma maior eficácia na emergência das plântulas, bem como a formação de raízes mais vigorosas; melhor germinação reduzindo o replantio, uma maior uniformidade no stand, resistência a doenças e pragas que acometem a plântula na fase inicial, maximização de todo potencial produtivo e tolerância a diferentes vias de estresse (BELTRÃO, 2006).

Utilizar substâncias promotoras de tolerância, principalmente a estresses ambientais diversos é uma alternativa mais sustentável, prática e viável, principalmente se tratando de condicionamento de sementes. Em trabalhos mais recentes, é possível observar que em algumas culturas como o milho, o uso de primes condicionantes já é realidade na indução de tolerância a estresses (MARTINS, 2016). Dentre as inúmeras moléculas que podem ser utilizadas para este fim, algumas vêm ganhando notoriedade como a quitosana e fontes de óxido nítrico (TANADA-PALMU et al., 2005; KAISER et al., 2016). Outras, são moduladas nas plantas, como o ácido indolacético, a melatonina e o peróxido de hidrogênio, contudo a ação conhecida dessas moléculas se dá de forma endógena (BONOME et al., 2017). Desta forma, avaliar o potencial dessas substâncias quando aplicadas de forma exógena permite novas possibilidades na agricultura.

A quitosana é um derivado desacetilado da quitina sendo estruturalmente similar (BADAWY & RABEA, 2011). Pode ser proveniente de fungos da classe *Zygomycetes* (LEITE, 2014) ou de resíduos da indústria pesqueira (FAI et al., 2008). Quando aplicada em sementes, aumenta a atividade antioxidante enzimática e promove a estabilização da membrana celular (BERGER; STAMFORD; STAMFORD, 2011). O óxido nítrico pode ser classificado como

um fitohormônio, contudo se destaca como molécula sinalizadora de diversas funções fisiológicas nas plantas, além de melhorar a atividade das enzimas antioxidantes e promover maior captação de macronutrientes (POPOVA & TULAN, 2010; ATAÍDE et al., 2015). Na germinação de sementes, tanto sob condições normais, quanto sob estresse, o uso de óxido nítrico favorece a quebra de dormência e atua promovendo o alongamento e formação das raízes adventícias (SOUZA, 2007).

O ácido indolacético (AIA) faz parte dos grupos das auxinas, normalmente promotora do enraizamento em plantas. Sua utilização de forma exógena tem aprimorado o rendimento em safras comerciais, aumenta a atividade da enzima glutatona e modula os níveis de EROs nas plantas (CATANEO et al., 2003; ASHRAF; AZHAR; HUSSAIN, 2006). A melatonina, derivada do triptofano, é uma molécula que também exerce funções fisiológicas diversas nas plantas por vias endógenas, como floração, fotossíntese, germinação e enraizamento e resposta a estresses abióticos (TAN, 2015). Ao aplicá-la, Wang e colaboradores (2018) observaram que a melatonina aumenta o teor de clorofila, teor relativo de água e melhora o estado redox das plantas. O peróxido de hidrogênio, por sua vez, também é uma espécie reativa de oxigênio (EROS), moderadamente reativo que em altas concentrações, pode causar danos celulares severos, mas em baixas concentrações, funciona como molécula sinalizadora e ativa respostas ao estresse (SILVA et al, 2019).

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Central de Pesquisa em Sementes (LCPS), do Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras – MG. Foram utilizadas sementes de algodão (*Gossypium hirsutum*) produzidas na safra 2020/2021, fornecidas pela Cooperativa de Produtores Rurais de Catuti, localizada na cidade de Catuti, região norte do estado de Minas Gerais.

O teor de água das sementes foi determinado conforme metodologia descrita pela RAS - Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), pelo método de estufa a 105°C. Para o peso de mil sementes, foram contadas aleatoriamente, dez repetições de 100 sementes cada, as quais foram pesadas em balança com sensibilidade de 0,001g, segundo a RAS (BRASIL, 2009), e os resultados expressos em gramas.

As sementes foram submetidas ao condicionamento fisiológico em soluções aeradas de ácido indo acético (100 µM), peróxido de hidrogênio (100 µM), quitosana (0,75 mM), melatonina (0,2mM), nitroprussiato de sódio (100µM) e condicionamento em água, ou hidrocondicionamento, a temperatura de 20°C, por período de 24hrs.

Após o condicionamento, as sementes foram lavadas em água corrente e secas, em estufa com circulação forçada de ar regulada a 25 °C, por 24hrs. Ressalta-se que as sementes sem condicionamento (tempo 0) também foram colocadas na estufa, a fim de uniformizar o teor de água entre as sementes de todos os tratamentos. Após esse procedimento o teor de água das sementes submetidas aos diferentes tratamentos foi determinado.

As sementes condicionadas e não condicionadas (controle), foram submetidas a estresse por cádmio, concentração de 250µM (FAROOG et al, 2013).

No teste de germinação foram utilizadas oito repetições de 25 sementes. A semeadura foi realizada sobre duas folhas de papel germitest e sobrepostas com mais uma folha, as quais foram umedecidas com volume de solução de cádmio, equivalente a 2,5 vezes o peso seco do papel. Permaneceram em germinador tipo Mangelsdorf regulado a temperatura de 25°C, com luz constante. A primeira contagem da germinação foi realizada aos 4 dias e a avaliação final ao sétimo dia após a semeadura, os resultados foram expressos em porcentagem segundo a RAS (BRASIL, 2009).

Para as análises estatística das sementes de algodão foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado DIC, com oito repetições, em esquema fatorial (6x2), sendo seis soluções condicionantes, duas condições de germinação mais um controle (sementes sem

condicionamento). As médias foram submetidas à análise de variância através do software SISVAR e aplicados testes de médias (Scott-Knott) quando significativas a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O uso de moléculas sinalizadoras como indutoras de tolerância à estresses abióticos em sementes de algodão resultaram em diferenças significativas quando avaliada a porcentagem de plântulas normais na primeira contagem de germinação (Tabela 1). Quando essas sementes foram tratadas, mas conduzidas sem estresse em condições ideais de germinação, o tratamento prévio das sementes com melatonina (71%) e ácido indolacético (75%) demonstraram-se menos eficientes se igualando ao tratamento controle (sem condicionantes). Já quando submetidas ao estresse por cádmio, observou-se que o tratamento de sementes com melatonina (86%), óxido nítrico (88%) e quitosana (91%) foram os mais eficientes na contagem após o quarto dia da semeadura.

Ao avaliar as substâncias condicionantes, observou-se que a melatonina (71%) foi o tratamento com pior desempenho quando as sementes foram avaliadas em condições sem estresse. Para as avaliações após estresse por cádmio, além do peróxido de hidrogênio (65%), o tratamento sem condicionamento (68%) também se mostrou menos eficaz.

**Tabela 1:** Porcentagem de plântulas normais na primeira contagem de germinação em sementes de algodão, em condições ideais de germinação e em estresse por cádmio, por diferentes condicionantes.

	Primeira contagem da germinação	
	Sem estresse	Cádmio
Controle	68 Ab	75 Ab
AIA	75 Ab	72 Ab
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	85 Aa	65 Bb
Água	82 Aa	68 Bb
Melatonina	71 Bb	86 Aa
NO <sub>3</sub>	83 Aa	88 Aa
Quitosana	87 Aa	91 Aa
CV (%)	11,31	

Medias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O tratamento com óxido nítrico e a quitosana apresentaram melhores resultados para ambas as condições (Tabela 1). Pires e colaboradores (2016) observaram que em sementes de gergelim, o uso de solução doadora de óxido nítrico diminuiu os danos causados por altas concentrações de cádmio, devido ao aumento da atividade das enzimas antioxidantes, o que evidenciou um sistema de eliminação das espécies reativas de oxigênio em resposta à exposição

a este metal pesado. Da mesma forma, Dousseau e colaboradores (2015) observaram que a aplicação exógena de quitosana ativou de maneira eficiente o sistema antioxidante em jaborandi, na qual a catalase teve maior participação no sequestro de radicais livres. É possível que neste ensaio a aplicação desses elicitores tenha agido de forma semelhante, potencializando o sistema de enzimas antioxidantes das sementes tratadas de algodão.

Quando realizada a contagem da taxa germinação após sete dias, houve diferenciação na porcentagem de plântulas normais germinadas quando submetidas ou não ao estresse por cádmio (Tabela 2). Na ausência de condições de estresse não houve diferenças significativas dos tratamentos. Os tratamentos com melatonina (87%), óxido nítrico (90%) e quitosana (91%) foram os que se diferenciaram positivamente em relação ao tratamento controle quando as sementes permaneceram em estresse por cádmio.

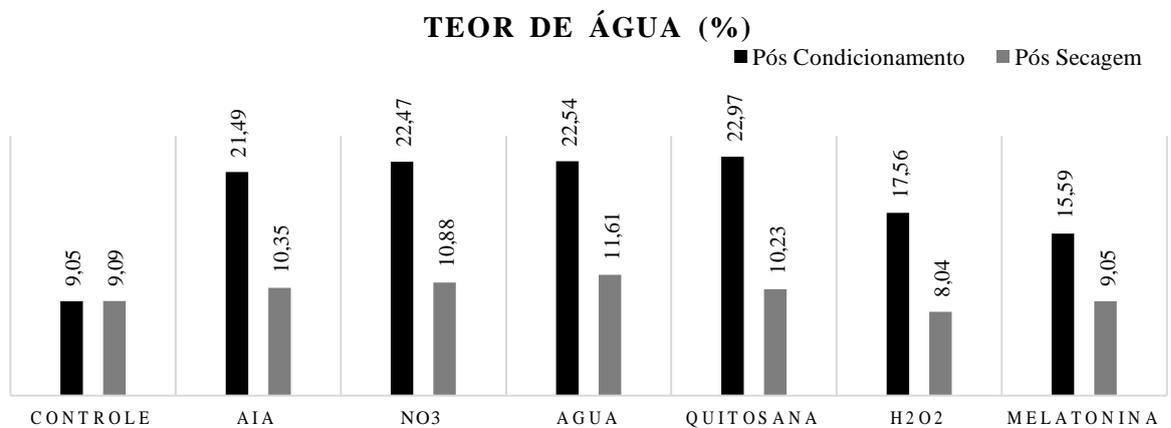
Avaliando as substâncias condicionantes, observou-se que em condições favoráveis, o tratamento com melatonina (79%) proporcionou menor taxa germinativa. Em condições de estresse por cádmio, assim como ocorreu na primeira contagem de germinação, os tratamentos de semente com melatonina (87%), óxido nítrico (90%) e quitosana (91%) foram os mais eficazes. É possível que os tratamentos com ácido indolacético e peróxido de hidrogênio tenham sido menos eficientes na germinação de sementes de algodão sob estresse por cádmio devido a dosagem utilizada, uma vez que essas moléculas são também encontradas nas plantas de forma endógena.

**Tabela 2:** Porcentagem de plântulas normais no teste de germinação em sementes de algodão, em condições ideais de germinação e em estresse por cádmio, por diferentes condicionantes.

	Germinação (%)	
	Sem estresse	Cádmio
Controle	79 Aa	80 Ab
AIA	83 Aa	73 Bb
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	87 Aa	78 Bb
Água	86 Aa	73 Bb
Melatonina	79 Ba	87 Aa
NO <sub>3</sub>	86 Aa	90 Aa
Quitosana	89 Aa	91 Aa
CV (%)	10,33	

Medias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O teor de água nas sementes após o condicionamento foi diferente entre o tratamento controle em relação ao teor encontrado nas sementes após o tratamento (Figura 1). O tratamento com quitosana proporcionou a maior média (22,97%) enquanto a testemunha apresentou a menor (9,05%). Após a secagem, o tratamento controle se manteve estável, apresentando o teor de água de 9,09%. Para os outros tratamentos, a diferença após a secagem variou de 6% a 12%, sendo a menor diferença obtida em sementes tratadas com melatonina e a maior nas tratadas com quitosana.



**Figura 1:** Teor de água em sementes de algodão após o condicionamento fisiológico em diferentes condicionantes e após o processo de secagem.

Segundo Dutra (1996), as sementes de algodão devem ser colhidas com teor abaixo de 11% de água para manter sua viabilidade e vigor elevados. Para Marur (1993), o teor de água de 10% nas sementes de algodão seria o ideal. Sendo assim, após a secagem, o teor de água encontrado neste estudo para os tratamentos com ácido indolacético, óxido nítrico, quitosana e sem condicionante (água) estão próximos e compatível com valores encontrados na literatura e proveriam um armazenamento mais seguro.

## CONCLUSÕES

A utilização de moléculas condicionantes em sementes submetidas ao estresse por cádmio e ausência de estresse favorece a primeira contagem de germinação, porcentagem de germinação e teor de água em sementes de algodão.

O tratamento com melatonina, óxido nítrico e quitosana foram destaque se tratando do potencial germinativo das sementes de algodão submetidas ao estresse por cádmio, portanto, o estudo de doses destas substâncias pode gerar resultados ainda mais efetivos.

Após a secagem, o teor de água das sementes tratadas com ácido indolacético, óxido nítrico, quitosana e sem condicionante (água) sugeriu eficácia no armazenamento de sementes de algodão.

## REFERÊNCIAS

- ABRAPA – Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. Disponível em: <<https://www.abrapa.com.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em fevereiro de 2021
- ALMEIDA, M. F. de et al. Especificidade e sensibilidade de um par de primer na detecção de *Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides* em sementes de algodão pela técnica de PCR. **Journal of Seed Science**, v. 42, 2020.
- AKHTAR, Tasneem et al. Photosynthesis and growth response of maize (*Zea mays* L.) hybrids exposed to cadmium stress. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 6, p. 5521-5529, 2017.
- AKIL, H. M. I. et al. Kenaf fiber reinforced composites: A review. **Materials & Design**, v. 32, n. 8-9, p. 4107-4121, 2011.
- ALVES, L. R. A. et al. Cadeia agroindustrial e transmissão de preços do algodão ao consumidor brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 3, 2021.
- AMPA. Associação Mato-grossense dos Produtores de Algodão. História do Algodão. Disponível em: <<https://ampa.com.br/historia-do-algodao/>> Acesso em: 21 mai. 2020.
- AMPASUL. Associação Sul-Matogrossense dos Produtores de Algodão. Histórico. Disponível em: <<http://www.ampasul.org.br/var/www/html/ampasul.org.br/web/historico>>. Acesso em 21 mai. 2020.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE ALGODÃO. 2019. Disponível em: <http://www.editoragazeta.com.br/anuario-brasileiro-do-algodao-2019/>. Acesso em fevereiro de 2021.
- APIPA. Associação Piauiense dos Produtores de Algodão. Histórico do Algodão *Gossypium Hirsutum* no Estado. Disponível em: <<http://apipa.com.br/cartilhas-e-folders/>>. Acesso em: 21 mai. 2020.
- ASHRAF, M. Y.; AZHAR, N.; HUSSAIN, M. Indole acetic acid (IAA) induced changes in growth, relative water contents and gas exchange attributes of barley (*Hordeum vulgare* L.) grown under water stress conditions. **Plant Growth Regulation**, v. 50, n. 1, p. 85, 2006.
- ASSIS, T. , et al. Algodoeiro Cultivado Em Solo Tratado Com Calcário, Lodo De Esgoto E Cádmio. **Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal** .1 74-87. 2007
- ATAÍDE, Glauciana M. et al. Óxido nítrico na germinação de sementes de baixo vigor de *Dalbergia nigra*. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 3, p. 438-444, 2015.
- BADAWY, Mohamed EI; RABEA, Entsar I. A biopolymer chitosan and its derivatives as promising antimicrobial agents against plant pathogens and their applications in crop protection. **International Journal of Carbohydrate Chemistry**, v. 2011, 2011.
- BELTRÃO, N. E. M. Fisiologia da produção do algodoeiro. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006. 8 p. (Embrapa Algodão. Circular técnica, 94).
- BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. de O Agronegócio do Algodão no Brasil. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. Volume 2. p. 570.

- BERGER, L. R. R. ; STAMFORD, T. ; STAMFORD, N. P. Perspectivas para o uso da quitosana na agricultura. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 12, n. 4, p. 195-215, 2011.
- BIZARRO, V. G. Teor e biodisponibilidade de cádmio em fertilizantes fosfatados. 2007.
- BONOME, L. T. S.; GUIMARÃES, R. M.; OLIVEIRA, J. A.; DOUSSEAU, S. Osmoconditioning of *Urochloa brizantha* seeds to reduce pelleting negative effects. **Brazilian Journal of Agriculture**, Piracicaba, v. 92, n. 2, p. 87-100, 2017.
- BRADFORD, K. J. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress. **HortScience**, v. 21, n. 5, 1986.
- BRANCALION, P. H. Santin; NOVENBRE, A. D. L. C.; RODRIGUES, R. R. Temperatura ótima de germinação de sementes de espécies arbóreas brasileiras. **Rev. Bras. Sementes**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 15-21, 2010
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.
- BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços – MDIC. (2020). Comex Stat. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em fevereiro de 2021.
- CARDOSO, E. D. et al. Qualidade fisiológica e composição química de sementes de *Brachiaria brizantha* em função do condicionamento osmótico. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 2, n. 2, p. 42-48, 2015.
- CATANEO, A. C. et al. Glutathione S-transferase activity on the degradation of the herbicide glyphosate in maize (*Zea mays*) plants. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 307-312, 2003.
- CONAB- -Compainha Nacional de Abastecimento, 2020. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-algodao/item/13006-algodao-analise-mensal-janeiro-2020>. Acesso em jul/2020.
- DAS, P.; SAMANTARAY, S.; ROUT, G.R. Studies on cadmium toxicity in plants: a review. **Environmental Pollution**, v.98, p.29- 36, 1997
- DOUSSEAU, Sara et al . Aplicação exógena de quitosana no sistema antioxidante de jaborandi. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 1, p. 191-197, Jan. 2016 .
- DUTRA, A.S. Qualidade da semente de algodão herbáceo, em função do teor de umidade, condições de armazenamento e da embalagem na sua conservação. 1996. 76f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Mossoró: ESAM, 1996
- FAI, A. Potencial biotecnológico de quitosana em sistemas de conservação de alimentos. **Revista iberoamericana de polímeros**, v. 9, n. 5, p. 435-451, 2008.
- FAROOQ, O.; RATRA, B. Hubble parameter measurement constraints on the cosmological deceleration-acceleration transition redshift. **The Astrophysical Journal Letters**, v. 766, n. 1, p. L7, 2013.
- GUIMARÃES, M. de A. et al. Toxicidade e tolerância ao cádmio em plantas. **Revista Trópica-Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 2, p. 58-68, 2008.

KAISER, I. S. et al. Efeito de liberadores de óxido nítrico na qualidade fisiológica de sementes de repolho sob salinidade. **Revista Ceres**, v. 63, n. 1, p. 39-45, 2016.

KIKUTI, A. L. P. et al. Condicionamento fisiológico de sementes de couve-flor. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 240-245, 2009.

LEITE, M. V. Quitosana produzida por *Syncephalastrum racemosum* UCP 1302 usando resíduos agroindustriais: caracterização e aplicação. 2014.

MALAVOLTA, E. Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados: mitos, mistificação e fatos. São Paulo: **Produquímica**, 1994.

MARTINS, M. **Aplicação da quitosana em milho transgênico e não transgênico**. 2016. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2016.

MARUR, C.J. Recomendações para a cultura do algodoeiro no Paraná. IN: Crescimento E Desenvolvimento Do Algodoeiro. Londrina: IAPAR,. p.2-7. 1993

MATTIONI, F. et al. Vigor de sementes e desempenho agrônômico de plantas de algodão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 1, p. 108-116, 2012.

OLIVEIRA, M. H. de. Principais matérias-primas utilizadas na indústria têxtil. 1997.

OLIVEIRA, R. de C. Avaliação do movimento de cádmio, chumbo e zinco em solos tratado com resíduo-calcário. UFL. Tese de Doutorado. Dissertação de mestrado, Lavras-MG. 2002.

PERNÍA, B. et al. Biomarcadores de contaminación por cadmio en las plantas. **Interciencia**, v. 33, n. 2, p. 112-119, 2008.

PIRES, Raquel Maria de Oliveira et al. Ação do óxido nítrico em sementes de gergelim (*Sesamum indicum* L.) submetidas a estresse por cádmio. *J. Seed Sci.*, Londrina, v. 38, n. 1, pág. 22-29, março de 2016

POPOVA, L.; TUAN, T. Nitric oxide in plants: properties, biosynthesis and physiological functions. **Iranian Journal of Science & Technology**, Transaction A, v, 34, No. A3, 2010.

RIZWAN, M. et al. Effect of silicon on reducing cadmium toxicity in durum wheat (*Triticum turgidum* L. cv. Claudio W.) grown in a soil with aged contamination. **Journal of hazardous materials**, v. 209, p. 326-334, 2012.

SANTOS, A. P. et al. Influência de doses de cádmio na emergência e no crescimento do feijoeiro. **Cerrado Agrociências**, v. 4, n. 1, p. 1-8, 2013.

SANTOS, P. S. et al. Efeito Do Cádmio No Crescimento Inicial De Algodão. **Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 3, 2017.

SILVA, A. A. R. da et al. Trocas gasosas e crescimento de mudas de maracujazeiro sob estresse salino e peróxido de hidrogênio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, 2019.

SILVA, F. D. dos S. et al. Cenários Climáticos e Produtividade do Algodão Nordeste do Brasil. Parte II: Simulação Para 2020 a 2080. **Rev. bras. meteorol.**, São Paulo, v. 35, n. spe, p. 913-929, 2020

SOUZA, Y.A. - Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) submetidas à condições de estresse: ação do óxido nítrico. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Universidade Estadual Paulista. Botucatu. 2007

STEFANELLO, R. et al. Germination of chia seeds submitted to saline stress. **Brazilian Journal of Biology**, v. 80, n. 2, p. 285-289, 2020.

TAN, Dun-Xian. Melatonin and plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 3, p. 625-626, 2015.

TANADA-PALMU, P. S. et al. Recobrimento de sementes de brócolos e salsa com coberturas e filmes biodegradáveis. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 291-297, 2005

TUNES, L. V. M. et al. Metodologia alternativa para o teste de germinação em sementes de soja tratada. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 41223-41240, 2020.

UNITED STATES DEPARTMENT OF Agriculture – USDA. (2019). Foreign Agricultural Service. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/home>. Acesso em fevereiro de 2021.

WANG, Y.; REITER, R. J.; CHAN, Z.. Phytomelatonin: a universal abiotic stress regulator. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 5, p. 963-974, 2018.