



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CHAPECÓ
AGRONOMIA**

MATHIAS OTTONELLI DO NASCIMENTO

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE
ALGODÃO (*Gossypium hirsutum* L.) SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES
DE CÁDMIO**

CHAPECÓ

2023

MATHIAS OTTONELLI DO NASCIMENTO

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE
ALGODÃO (*Gossypium hirsutum* L.) SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES
DE CÁDMIO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do
grau de Bacharel em Agronomia da Universidade
Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Mariano Gislon da Silva

CHAPECÓ

2023

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Nascimento, Mathias Ottonelli do
GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE
ALGODÃO (*Gossypium hirsutum* L.) SOB DIFERENTES
CONCENTRAÇÕES DE CÁDMIO / Mathias Ottonelli do
Nascimento. -- 2023.
38 f.:il.

Orientador: Doutor Samuel Mariano Gislon da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Chapecó, SC, 2023.

I. Silva, Samuel Mariano Gislon da, orient. II.
Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MATHIAS OTTONELLI DO NASCIMENTO

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE
ALGODÃO (*Gossypium hirsutum* L.) SUBMETIDAS A DIFERENTES
CONCENTRAÇÕES DE CÁDMIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Agronomia da Universidade Federal da
Fronteira Sul (UFFS), Campus Chapecó, como
requisito para obtenção do título de Bacharel em
Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 09/02/2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr Samuel Mariano Gislon da Silva – UFFS
Orientador

Prof. Dr. Paulo Roger Lopes Alves– UFFS
Avaliador

Prof. Dr. Marco Aurélio Tramontin da Silva – UFFS
Avaliador

RESUMO

A cultura do algodoeiro ocupa uma posição expressiva no agronegócio, sendo altamente tecnificada. Desta maneira são utilizadas várias práticas, como a aplicação massiva de resíduos, fertilizantes químicos e fungicidas, sendo estas possíveis vias de aporte de cádmio e outros metais pesados. O presente trabalho teve como objetivo analisar o efeito do cádmio sobre a germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de algodão em diferentes concentrações do elemento. O experimento foi conduzido no laboratório de Sementes e grãos da Universidade Federal da Fronteira Sul- Campus Chapecó. Foi realizado ensaio de germinação sob esquema de parcelas subdivididas no tempo em delineamento experimental blocos ao acaso, com classificação cruzada e 4 repetições. As sementes foram divididas em 4 lotes de 16 repetições, contendo 50 sementes semeadas em substrato de papel Germitest previamente umedecido com um volume de água correspondente a 2,5 vezes o peso do papel. A água utilizada para embebição dos 4 lotes foi acrescida de diferentes concentrações de cloreto de cádmio (CdCl_2), de maneira que as concentrações finais de cádmio fossem 0, 25, 50 e 100 mg L^{-1} , gerando quatro diferentes tratamentos. Foram avaliadas as variáveis taxa de germinação, tamanho das raízes, tamanho da parte aérea e massa seca de plântulas, mensuradas no quinto, sexto, sétimo e oitavo dias após a semeadura. O metal interferiu no desenvolvimento do algodoeiro reduzindo a taxa de germinação, desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular e também na produção de massa seca. Para a variável taxa de germinação quanto maior a dose e avanço dos dias maior a interferência do metal, chegando a reduzir em 25% a germinação. A variável tamanho da raiz foi a mais responsiva à interferência do metal, chegando a ocorrer a redução de até 84% o tamanho do sistema radicular.

Palavras-chave: Metais pesados; Plantas cultivadas; Fitotoxicidade.

ABSTRACT

The cotton crop occupies an expressive position in agribusiness, being highly technical. In this way, various practices are used, such as the massive application of residues, chemical fertilizers and fungicides, these being ways of supplying cadmium and other heavy metals. The present work aimed to analyze the effect of cadmium on the germination and initial development of cotton seedlings in different concentrations of the element. The experiment was conducted at the Seeds and Grains laboratory at the Federal University of Fronteira Sul - Campus Chapecó. A germination test was carried out under a split-plot scheme in time in a randomized block experimental design, with cross classification and 4 replications. The seeds were divided into 4 lots with 16 repetitions, containing 50 seeds sown on Germitest paper substrate previously moistened with a volume of water corresponding to 2.5 times the weight of the paper. The water used for soaking the 4 lots was added with different concentrations of cadmium chloride (CdCl_2), so that the final concentrations of cadmium were 0, 25, 50 and 100 mg L^{-1} , generating four different treatments. The variables of germination rate, root size, shoot size and seedling dry mass were evaluated, measured on the fifth, sixth, seventh and eighth days after sowing. The metal interfered in the development of the cotton plant, reducing the germination rate, development of the aerial part and root system and also in the production of dry mass. For the germination rate variable, the higher the dose and the advance of the days, the greater the interference of the metal, reducing germination by 25%. The root size variable was the most responsive to metal interference, with a reduction of up to 84% in the size of the root system.

Keywords: Heavy metals; Cultivated Plants; Phytotoxicity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Avaliação da taxa de germinação da semente de algodão em função das diferentes doses de cádmio.....	20
Tabela 2 - Equações lineares referentes às doses de cádmio em cada dia de avaliação sobre a taxa de germinação de sementes do algodoeiro.	21
Tabela 3 - Índice de velocidade de germinação e vigor das sementes de algodão.....	22
Tabela 4 - Comprimento da raiz (cm plântula ⁻¹) de plântulas de algodão sob diferentes concentrações de Cádmio.	23
Tabela 5 - Equações polinomiais de segundo grau referente às doses de cádmio sobre o tamanho da raiz de algodão.....	24
Tabela 6- Comprimento da parte aérea (cm plântula ⁻¹) de plântulas de algodão sob diferentes concentrações de Cádmio.	26
Tabela 7 - Tamanho médio da parte aérea das plântulas do algodoeiro (cm plântula ⁻¹).....	26
Tabela 8 - Equação linear referente à média do tamanho da parte aérea das plântulas de algodão. 27	
Tabela 9 - Massa seca de plântulas de algodão sob diferentes doses de cádmio.....	28
Tabela 10 - Equação linear referente ao efeito das doses de cádmio em cada dia sobre a massa seca de plântulas de algodoeiro.	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema resumido do ensaio de germinação	18
Figura 2 - Comparação entre comprimento de raiz de plântula de algodoeiro nas diferentes doses de cádmio no oitavo dia de avaliação.	24

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exigência nutricional para produção de 1000 kg/ha de caroço de algodão.....	15
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. REVISÃO BILIOGRÁFICA	14
3.1 EXIGÊNCIA NUTRICIONAL	14
3.2 CÁDMIO	15
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1 OBTENÇÃO DAS SEMENTES	17
4.2 ENSAIO DE GERMINAÇÃO	17
4.3 TAXA DE GERMINAÇÃO	18
4.4 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO	19
4.5 MATÉRIA SECA	19
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
6. CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS	31

1. INTRODUÇÃO

Cultivado em 100 países de cinco continentes, envolvendo mais de 350 milhões de pessoas em sua produção, desde as fazendas até a logística, descaroçamento, processamento e embalagem, a média mundial de plantio do algodoeiro, nos últimos anos foi de ao redor de 35 milhões de hectares. O comércio mundial do produto movimentou, anualmente, cerca de US\$ 12 bilhões (ABRAPA, 2018).

Atualmente, o algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) tornou-se uma das principais plantas cultivadas do Brasil. Por ser uma cadeia produtiva complexa e de alto valor agregado, a cultura gera desenvolvimento nas regiões onde está presente sendo fonte de empregos e renda no campo, na indústria e em toda a cadeia produtiva (SILVA et al., 2009). Sabendo de toda essa importância econômica e social para o país percebe-se a necessidade de identificar fatores que podem ser ou se tornar limitantes para a produção de algodão. Sendo assim, este trabalho visa mostrar a influência de um destes metais presente em nosso solo.

Os metais pesados também são conhecidos como elementos traço, por serem encontrados naturalmente no ambiente em concentrações de poucas partes por milhão. O cádmio (Cd) é classificado como metal pesado, uma vez que se encontra no grupo dos elementos com densidade maior que 5 g/cm³, sendo considerado um dos principais contaminantes do ambiente e um dos mais tóxicos (BIZARRO, 2007).

O cádmio contamina os solos através da ação antrópica que ocorre pela adição de resíduos da fabricação do cimento, pelas cinzas produzidas pela queima de combustíveis fósseis e lixo urbano, desgaste de pneus, rejeitos de mineradoras e fundições, utilização de fertilizantes fosfatados (fosfatos simples, triplos e/ou termofosfatos), uso de dejetos suínos como fertilizantes, lixo de esgoto, entre outras formas (SALGADO, 1996). Outras maneiras de entrada dos metais pesados nas áreas de produção são a aplicação de inseticidas, fungicidas, fertilizantes e práticas de correção de solo (FREITAS, et al. 2009).

Com todo esse grande cenário da entrada de metais pesados nas lavouras de produção no nosso país, é importante que se conheçam os efeitos destes componentes em uma cultura de grande importância, como a do algodoeiro. Este trabalho apresenta

dados obtidos da avaliação de plântulas de algodoeiro submetidas a diferentes concentrações, tóxicas e subtóxicas, de cádmio, em quatro diferentes dias de avaliação.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar a influência do metal cádmio na germinação e no crescimento inicial de plântulas de algodoeiro.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o efeito do cádmio sobre a cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) utilizando os parâmetros germinação, velocidade da germinação, tamanho da raiz, tamanho da parte aérea e matéria seca.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma dicotiledônea da família Malvaceae de grande importância comercial. É uma planta bastante rústica e adaptativa, que apresenta alta produtividade. É cultivada em mais de 100 países no mundo, e sua matéria prima é utilizada em mais de 150 países dos 205 existentes (BELTRÃO, 2006).

O algodoeiro já é conhecido e difundido pelo homem a milhares de anos. Sua domesticação ocorreu a mais de 4000 anos, tendo início no sul da Arábia, encontrando-se relatos da cultura no Código Manu (legislação mais antiga da Índia), do século VII a.C (AMPA, 2021).

No Brasil, o algodão já era utilizado pelos índios desde antes do descobrimento do país, sendo os fios aproveitados para confecção de redes e cobertores e a planta utilizada para curar feridas. Contudo, a produção comercial somente se iniciou a partir de 1760 na Região Nordeste, onde um produtor do Maranhão exportou as primeiras sacas para a Europa (AMPA, 2021).

O Brasil é o quarto produtor mundial e o segundo exportador de algodão. É o único país que pode crescer em área plantada e produtividade, sendo cada vez mais importante no mercado mundial (SEVERINO, 2009). No Brasil o algodoeiro é amplamente cultivado na região Centro-Oeste. A partir do início da década de 1990, a adaptação de tecnologias para explorar as grandes extensões de terras planas mecanizáveis e o clima favorável, possibilitaram um rápido crescimento da produção de algodão naquela região. Os maiores estados produtores são: Mato Grosso, Bahia, Minas Gerais, Goiás, e Mato Grosso do Sul. Só a produção do Mato Grosso representa 2,7 vezes a soma da produção das demais regiões do País (COELHO, 2021).

A fibra é destacadamente o principal produto do algodoeiro, mas seus co-produtos (caroço, óleo e torta) contribuem com o valor agregado da cadeia. A fibra de algodão alimenta uma cadeia complexa, que inclui a indústria têxtil (fição e tecelagem), design, confecção e comércio (SEVERINO, 2009).

3.1 EXIGÊNCIA NUTRICIONAL

O sistema de produção no Brasil é bastante diverso. No Mato Grosso o algodoeiro é cultivado após a soja, crescendo no período de redução no regime de chuvas, favorecendo assim a qualidade da fibra. Esse sistema intensivo de produção requer

muito do solo, necessitando de uma alta aplicação de fertilizantes (FRANCISCO e HOOGERHEIDE, 2013).

De acordo com Ferreira et al. (2004), o algodoeiro tem alta resposta de produtividade e crescimento ao aumento de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) adicionado ao solo. Entretanto, a resposta pode variar de acordo com o solo, clima e a cultivar.

Para a produção de 1000 kg/ha de algodão em caroço, por exemplo, a planta do algodoeiro extrai do solo, em média, as quantias contidas no quadro abaixo (Quadro 1).

Quadro 1 - Exigência nutricional para produção de 1000 kg/ha de caroço de algodão.

Macronutrientes	Micronutrientes
N → 59 a 85 kg	B → 22 a 33 g
P ₂ O ₅ → 13 a 25 kg	Cu → 6 a 8 g
K ₂ O → 47 a 69 kg	Fe → 10 a 500 g
Ca → 18 a 40 kg	Mn → 10 a 42 g
Mg → 8 a 31 kg	Zn → 11 a 45 g
S → 4 a 7 kg	

Fonte: Adaptado de STAUT, 1996; STAUT E KURIHARA, 2001; THOMPSON, 1999; FURLANI JUNIOR, et al., 2001; FERREIRA, 2005.

3.2 CÁDMIO

O cádmio é um metal não essencial, que pode ser considerado uma substância tóxica proveniente de um descarte inadequado de rejeitos no meio ambiente. A biodisponibilidade do metal pesado corresponde à medida do potencial que este tem para ser absorvido pelos seres vivos. Pode-se encontrar o metal em diferentes compartimentos de um ecossistema, mas em função da forma química como ele está presente, tem-se uma maior ou menor absorção por parte do meio (LIMA e MERÇON, 2011).

O cádmio está presente também em fertilizantes fosfatados e sua concentração nestes varia de acordo com a rocha de que ele é extraído. Os adubos fosfatados apresentam quantidades significativas de cádmio em sua composição, sendo que os teores mais elevados foram encontrados nas amostras de fosfato natural, de fosfato monoamoniado e de superfosfato triplo (BIZARRO et al. 2008).

O cádmio afeta negativamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas, sendo um elemento tóxico mesmo quando presente em baixas concentrações (GUIMARÃES et al., 2008). Sua fitotoxicidade tem impacto nas plantas, retardando várias atividades fisiológicas, morfológicas, bioquímicas e moleculares. É facilmente absorvido pelas raízes, causando graves danos em seu sistema. Pode causar a morte quando em altas concentrações ou induzir a produção de proteínas de estresse e outros metabolitos secundários quando em baixas concentrações (PRADHAN, JALI e DAS, 2016).

A maioria das plantas tem baixa tolerância ao cádmio e a exposição dessas a níveis tóxicos do metal pode ocasionar problemas na absorção, no transporte e no uso de macronutrientes e de água, entre outros. Os efeitos da toxicidade desse elemento podem ser observados desde a germinação (MADEIRA, 2014).

Sintomas visíveis de toxicidade variam para cada espécie e até mesmo para as plantas individuais, mas os mais comuns e inespecíficos sintomas são pontos cloróticos ou marrons nas folhas e margens das folhas, e raízes marrons e atrofiadas (KABATA-PENDIAS, 2011).

4. MATERIAL E MÉTODOS

A seguir serão apresentados os materiais e métodos, que foram utilizados para a realização deste trabalho.

4.1 OBTENÇÃO DAS SEMENTES

O experimento foi conduzido com sementes de algodão da cultivar FM 906 GLT, desenvolvida e registrada pela empresa FiberMax® da BASF. As sementes foram obtidas através da doação de um produtor rural do estado do Mato Grosso.

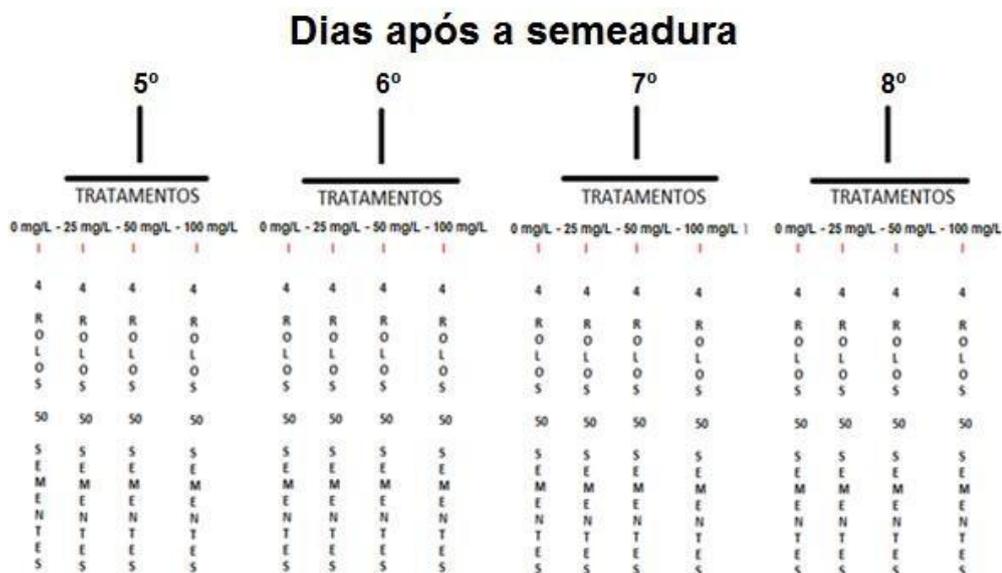
4.2 ENSAIO DE GERMINAÇÃO

O experimento foi conduzido no laboratório de Sementes e Grãos situado na Universidade Federal da Fronteira Sul *campus* Chapecó. O ensaio foi realizado sob esquema de parcelas subdivididas no tempo em delineamento experimental blocos ao acaso, com classificação cruzada e 4 repetições (ARES & GRANATO, 2014; PIMENTEL-GOMES, 2000). Para tal, as sementes foram divididas em 4 lotes de 16 repetições de 50 sementes e cada repetição semeada em substrato de papel de germinação previamente umedecido com um volume de água correspondente a 2,5 vezes o peso do papel.

A água utilizada para a embebição dos 4 lotes foi acrescida de diferentes concentrações de cloreto de cádmio (CdCl_2), de maneira que as concentrações finais de cádmio fossem 0, 25, 50 e 100,0 mg/L, gerando quatro diferentes tratamentos. Os rolos de papel foram então mantidos em germinador à temperatura constante de 25°C e fotoperíodo constante de 24 horas (BRASIL, 2009; SÁ et al, 2011).

As avaliações foram realizadas em 4 repetições de cada tratamento, retiradas de forma aleatória do germinador no quinto, sexto, sétimo e oitavo dias após a semeadura. Tal esquema pode ser observado na Figura 1.

Figure 1 - Esquema resumido do ensaio de germinação



Fonte: Adaptado de NASCIMENTO, 2021.

4.3 TAXA DE GERMINAÇÃO

As avaliações da germinação foram realizadas no quinto, sexto, sétimo e oitavo dias após a sementeira, sendo quantificada a porcentagem de plântulas normais. A contagem realizada no quinto dia depois da sementeira, serve como indicativo do vigor das sementes, já a contagem final, no oitavo dia do teste, é um indicativo para a viabilidade (BRASIL, 2009).

Seguindo a metodologia proposta por SÁ et al, (2011), a % de germinação foi determinada utilizando a seguinte fórmula:

$$\% \text{ Germinação} = \left(\frac{Pn}{N} \right) \times 100$$

Onde: Pn = plântulas normais

N = número total de sementes colocadas para germinar

Ainda seguindo a metodologia proposta por SÁ et al, (2011), determinou-se o índice de velocidade de germinação utilizando a seguinte fórmula:

$$IVG = \frac{G1}{N1} + \frac{G2}{N2} + \dots + \frac{Gn}{Nn}$$

Onde: IVG = índice de velocidade de germinação

G1, G2, Gn = número de plântulas normais contadas na primeira, segunda, terceira e quarta contagem.

N1, N2, Nn = número de dias da sementeira à primeira, segunda, terceira e quarta contagem.

4.4 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO

A avaliação do crescimento foi realizada no quinto, sexto, sétimo e oitavo dias após a semeadura, eliminando-se as plântulas anormais e as sementes mortas. Com auxílio de uma régua milimétrica, foi mensurado o comprimento da raiz primária e comprimento da parte aérea e os resultados médios expressos em cm plântula⁻¹ (BRASIL, 2009; SÁ et al, 2011).

4.5 MATÉRIA SECA

Após a determinação do comprimento de plântulas no oitavo dia, as mesmas foram colocadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa com circulação de ar forçado, a 65° C durante 72 horas e posteriormente realizada a sua pesagem em mg por repetição total em balança digital de precisão (NAKAGAWA, 1999).

A matéria seca de plântulas foi determinada utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Matéria seca em mg.plântula}^{-1} = \frac{\text{Psn}}{\text{N}} \times 1000$$

Onde: Psn = peso seco de plântulas normais naquela repetição

N = número de plântulas normais naquela repetição

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise de variância (teste de F a 1 %) foi utilizada para analisar as variáveis. As comparações da média de cada repetição foram feitas pelo teste de comparações múltiplas de Tukey ou regressão, ambos a 1% de confiança (PIMENTEL-GOMES, 2000; ZIMMERMANN, 2004).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o teste de variância (teste de F), existe interação significativa entre os fatores dia de avaliação e doses de cádmio em relação à variável taxa de germinação (Tabela 1), indicando a existência de dependência entre os fatores.

Através do desdobramento do efeito da interação, pela realização de nova análise de variância (teste de F), onde os níveis do fator doses de cádmio foram comparados dentro dos níveis do fator dia de avaliação (e vice-versa), foi possível observar efeito significativo para o fator dia de avaliação dentro de cada dose de cádmio nas doses, sendo que a comparação de médias entre os níveis deste fator é representada na Tabela 1.

Tabela 1 Avaliação da taxa de germinação da semente de algodão em função das diferentes doses de cádmio.

Dia de Avaliação	Dose de Cádmio (mg L ⁻¹)			
	0	25	50	100
QUINTO	91,50B	85,50B	86,00A	78,00A
SEXTO	95,00AB	90,50A	82,00A	76,50AB
SÉTIMO	95,60AB	91,50A	80,50B	73,50B
OITAVO	98,00A	91,50A	81,50AB	73,00B
		CV ¹ (A) = 1,8%	CV ¹ (B) = 15,0%	

Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna, a 1% de confiança.

(¹) Coeficiente de Variação

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela nos mostra que já no primeiro dia de avaliação houve redução na germinação, quando comparada à testemunha, em todas as doses testadas. Observa-se também que conforme o aumento da dose, menor foi a taxa de germinação, sendo que na dose de 100 mg L⁻¹ houve uma redução de aproximadamente 14,75% em relação a testemunha, já no primeiro dia de avaliação.

Com o avanço dos dias e assim maior tempo de exposição das sementes ao metal, houve uma redução significativa na taxa de germinação. Na dose de 100 mg L⁻¹, por exemplo, no oitavo dia de avaliação a taxa de germinação foi reduzida em 25,5% quando comparada a testemunha. Sendo assim, quanto maior dose e maior o tempo de exposição da semente ao cádmio, conseqüentemente, menor a taxa de germinação.

Foi possível observar efeito significativo para o fator doses de cádmio dentro de cada dia, isto é, no quinto, sexto, sétimo e oitavo dias, sendo que este efeito pode ser observado através das estimativas das equações lineares apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 - Equações lineares referentes às doses de cádmio em cada dia de avaliação sobre a taxa de germinação de sementes do algodoeiro.

Dia de Avaliação	Equação linear	R ²
QUINTO	$y = -0,1246x + 90,7$	0,9199
SEXTO	$y = -0,1897x + 94,3$	0,9486
SÉTIMO	$y = -0,2297x + 95,3$	0,9469
OITAVO	$y = -0,2537x + 97,1$	0,9684

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados apresentados na tabela 2 demonstram severa redução do percentual germinativo quando aumentam as concentrações de cádmio. O comportamento linear evidencia o efeito tóxico conforme o aumento de tempo da semente em contato com o metal.

O estudo realizado por Chugh e Sawhney (1996), avaliando os efeitos do cádmio na germinação, amilases e taxa de respiração de sementes de ervilha, também demonstra os efeitos deletérios do metal para a germinação destas sementes. Os autores observaram que a taxa de respiração das sementes foi afetada consideravelmente pelo cádmio, mesmo em pequenas doses, enquanto a fase de desenvolvimento rápido e linear da atividade respiratória durante a germinação foi quase completamente suprimida em concentrações mais altas do metal, afetando assim a taxa de germinação das sementes resultando na inibição do crescimento do eixo embrionário e da radícula (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2000).

Da mesma maneira, Bhardwaj, Chaturvedi e Prasad (2009) testaram concentrações de cádmio em solo, e concluíram que a taxa de germinação de sementes de feijão diminuiu com o aumento da concentração do metal, sendo que na concentração de 3,0 g kg⁻¹ a germinação foi completamente inibida.

O efeito do cádmio na germinação das sementes depende da capacidade do metal atingir os tecidos embrionários através das barreiras fisiológicas, como os do revestimento das sementes (AKINCI & AKINCI 2010, KO, 2012). Uma vez vencida esta etapa, o metal pode afetar a absorção da água, a atividade enzimática, o transporte e

uso de alguns elementos como cálcio, fósforo, potássio afetando assim a germinação e estabelecimento da plântula. (de MELO COGO. et al 2020).

O índice de velocidade de germinação pode ser observado na tabela 3. Os dados apresentados na tabela mostram que houve um pequeno declínio na velocidade de germinação quando comparamos a testemunha e a dose de 25 mg L⁻¹ com as doses de 50 mg L⁻¹ e 100 mg L⁻¹,

Segundo Chugh e Sawhney (1996) quando sementes são postas para germinar em ambiente com altos níveis de cádmio, a atividade das α e β amilases é reduzida, comprometendo a respiração, afetando diretamente na velocidade de germinação das sementes.

Guilherme (2016), trabalhando com sementes de trigo e diferentes concentrações de cádmio, demonstrou o decréscimo do índice de velocidade de germinação das sementes, revelando seu potencial tóxico a nível celular.

Tabela 3 - Índice de velocidade de germinação e vigor das sementes de algodão.

	Doses de Cádmio (mg L ⁻¹)			
	0,0	25	50	100
	6,52	6,52	6,47	6,47

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com o teste de variância, (teste de F), existe interação significativa entre os fatores dia de avaliação e doses de cádmio em relação à variável comprimento das raízes (Tabela 4), indicando a existência de dependência entre os fatores.

Através do desdobramento do efeito da interação, pela realização de nova análise de variância (teste de F), em que os níveis do fator doses de cádmio foram comparados dentro dos níveis do fator dia de avaliação (e vice-versa), foi possível observar efeito significativo para o fator dias dentro de cada dose de cádmio nas doses 0 e 100 mg L⁻¹, sendo que a comparação de médias entre os níveis deste fator é representada na Tabela 4.

Conforme os dados apresentados na tabela 4 é possível notar a alteração que o cádmio gera no comprimento da raiz da plântula, sendo que mesmo na menor dose (25 mg L⁻¹) já há uma grande redução de tamanho da raiz. No oitavo dia de avaliação, a menor dose a redução representa aproximadamente 65,4% de redução

quando comparado à testemunha, já na maior dose (100 mg L⁻¹) o efeito é bem significativo, chegando a aproximadamente 84,5% de redução no sistema radicular.

Oliveira et al., (2001) observaram alterações no modo de crescimento, na morfologia e na arquitetura do sistema radicular de *salvília* sob altas doses de cádmio, o que levou à inibição do crescimento e engrossamento das raízes. O cádmio pode causar o efeito de inibição no crescimento de raízes, danificando os pelos radiculares e as pontas das raízes por modificar a composição lipídica da membrana plasmática, aumentando os níveis de peroxidação de lipídeos (Zuli e Zhonghong, 2010).

An (2004) em seu trabalho com plantas sensíveis a cádmio descreveu que o crescimento das raízes expostas ao metal é afetado negativamente nos solos cultivados e que há uma alta mobilização do metal nas raízes. Ressaltou também que a gravidade da resposta foi diretamente relacionada ao aumento das concentrações do metal. O mesmo efeito foi documentado para a cultura do milho, com uma severa restrição no crescimento das raízes, que atingiu 94% (CUNHA et al. 2008).

Tabela 4 - Comprimento da raiz (cm plântula⁻¹) de plântulas de algodão sob diferentes concentrações de Cádmio.

Dia de Avaliação	Doses de Cádmio (mg L ⁻¹)			
	0	25	50	100
QUINTO	4,39B	1,18C	0,94NS ²	0,63NS
SEXTO	5,16A	1,37BC	1,03NS	0,63NS
SÉTIMO	5,49A	1,56B	1,02NS	0,87NS
OITAVO	5,56A	1,92A	1,11NS	0,86NS
	CV ¹ (A) = 4,8%	CV ¹ (B) = 18,61 %		

(¹) Coeficiente de variação

(²) Não significativo a 1% de confiança.

Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna, a 1% de confiança.

Fonte: Elaborado pelo autor.

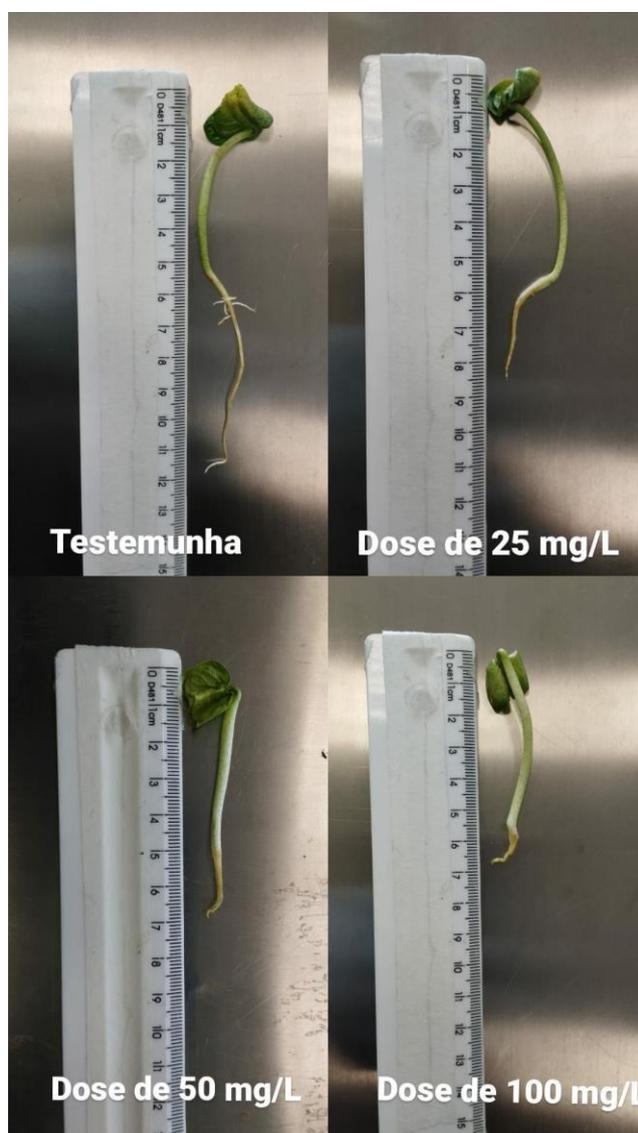
Também foi possível observar efeito significativo para o fator doses de cádmio dentro de cada dia, isto é, no quinto, sexto, sétimo e oitavo dias, sendo que este efeito pode ser observado através das estimativas das equações polinomiais de ordem 2 apresentadas na tabela 5. Nessa tabela se pode perceber a redução do sistema radicular quando aumentada as concentrações de cádmio.

Tabela 5 - Equações polinomiais de segundo grau referente às doses de cádmio sobre o tamanho da raiz de algodão.

Dia de Avaliação	Equação polinomial de ordem 2	R ²
QUINTO	$y = 0,0008x^2 - 0,1129x + 4,1461$	0,9239
SEXTO	$y = 0,0009x^2 - 0,1344x + 4,8822$	0,9296
SÉTIMO	$y = 0,001x^2 - 0,1461x + 5,2378$	0,9460
OITAVO	$y = 0,001x^2 - 0,1414x + 5,3681$	0,9676

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 2 - Comparação entre comprimento de raiz de plântula de algodoeiro nas diferentes doses de cádmio no oitavo dia de avaliação.



Fonte: Fotografia registrada pelo autor (2022).

Na figura 2 pode-se notar com clareza a diferença na raiz das plântulas conforme o aumento das doses de cádmio. Houve visível redução do crescimento, com

diminuição do tamanho e da quantidade das raízes laterais, principalmente nas plântulas expostas à maior dose do metal. As raízes apresentavam-se maiores, mais desenvolvidas e mais claras nas plantas crescidas nas soluções sem cádmio, enquanto nas soluções onde o metal estava presente a raiz sofreu redução, necroses e atrofiamento. Comparando a testemunha com a dose de 100 mg^{-1} fica ainda mais evidente o efeito deletério do metal, diminuindo para praticamente metade do tamanho da raiz.

Um dos sintomas mais visíveis da intoxicação foi o aparecimento de necroses nos ápices radiculares da raiz principal, impedindo seu desenvolvimento e funcionamento, assim como observado por Madeira (2014). Este autor relatou que as raízes apresentavam coloração escura, tornando-se parda escura com o aumento da concentração deste metal e o tempo de exposição das plantas.

Importante ressaltar que o sistema radicular é fundamental no desenvolvimento inicial de qualquer planta, e quando algum fator impede que a raiz exerça suas funções de forma plena há consequências para a planta como um todo. Os metais pesados por sua vez, impedem o desenvolvimento regular do sistema radicular, como observado no presente trabalho, onde com a elevação das concentrações de cádmio, houve um decréscimo do tamanho do sistema radicular.

De acordo com o teste de variância (teste de F), não existe interação significativa entre os fatores dia de avaliação e doses de cádmio em relação à variável comprimento da parte aérea (tabela 6). No entanto, foi possível observar efeito significativo para os fatores doses de cádmio e época de avaliação isoladamente, demonstrando que os efeitos entre estes fatores ocorrem de forma independente.

A comparação de médias entre os níveis do fator dia de avaliação é representada na tabela 7, enquanto que a comparação de médias entre os níveis do fator doses de cádmio é representada através da estimativa da equação linear apresentado na tabela 8.

Tabela 6- Comprimento da parte aérea (cm plântula⁻¹) de plântulas de algodão sob diferentes concentrações de Cádmio.

Dia de Avaliação	Doses de cádmio (mg L ⁻¹)			
	0	25	50	100
QUINTO	3,98NS ²	3,48NS	3,17NS	2,88NS
SEXTO	5,13NS	4,83NS	4,47NS	4,09NS
SÉTIMO	5,88NS	5,37NS	5,00NS	4,13NS
OITAVO	6,24NS	5,35NS	5,36NS	4,76NS
		CV ¹ (A) = 3,4%	CV ¹ (B) = 14,02 %	

(¹)Coeficiente de Variação

(²) Não significativo a 1% de confiança.

Fonte: elaborado pelo autor.

Na tabela 6 pode-se notar que não houve diferença estatística significativa para o comprimento da parte aérea, porém o desenvolvimento da estrutura foi prejudicado conforme a elevação das doses de cádmio nota-se isso pela redução nos números apresentados. Essa redução no crescimento nas doses maiores pode se dar pelo fato de que o cádmio poder afetar a abertura estomática, o que acarreta menor disponibilidade de carbono para a fotossíntese, ocasionando redução das taxas de crescimento (GUIMARÃES et al., 2008).

Tabela 7 - Tamanho médio da parte aérea das plântulas do algodoeiro (cm plântula⁻¹).

Dia de Avaliação	Tamanho da parte aérea
QUINTO	3,37D
SEXTO	4,63C
SÉTIMO	5,10B
OITAVO	5,43 ^a

Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna, a 1% de confiança.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na tabela acima é possível avaliar o desenvolvimento da parte aérea através do tamanho médio das plântulas, através do fator dia de avaliação. Nota-se que de forma isolada o cádmio não apresentou grande interferência no desenvolvimento da estrutura.

O trabalho de Benavides, Gallego e Tomaro (2005) mostra que são várias as formas encontradas pelas plantas de evitar a toxicidade de metais pesados, seja operando em nível de raiz onde o mesmo é imobilizado por meio da parede celular e carboidratos extracelulares (mucilagem, calos) ou pela ação da membrana plasmática a qual representaria o melhor mecanismo de defesa.

Corroborando com este dado, o trabalho de Souza et al. (2014) mostrou que o metal se transloca muito pouco na planta, dada a diferença expressiva do contaminante encontrada na raiz e na parte aérea da planta de pinhão-manso, sendo que na ocasião o acúmulo de cádmio nas plantas de pinhão-manso obedeceu a seguinte ordem: raiz > caule > folha.

Tabela 8 - Equação linear referente à média do tamanho da parte aérea das plântulas de algodão.

	Equação linear	R ²
Média do tamanho da parte aérea	$y = -0,0129x + 5,1934$	0,9651

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 8 mostra a média da redução da parte aérea quando aumentada a concentração do metal pesado. Obtém assim o valor do R², explicativo à (0,93) para a média do tamanho da parte aérea.

A literatura nos mostra, que esta redução no desenvolvimento pode ser resultado da redução da fotossíntese e pela deficiência de alguns elementos (SOUZA, 2003), e pela substituição do átomo de magnésio presente na clorofila por átomos do metal pesado, afetando as funções fotossintéticas, reduzindo as trocas gasosas pela indução do fechamento dos estômatos (KUPPER et al 1996).

Segundo de Melo Cogo et al (2020) na parte aérea das plantas o cádmio pode levar a efeitos morfológicos como clorose internerval e generalizada, pontos, nervurase, manchas roxas, encarquilhamento e necrose, além da inibição de processos importantes, tais como a fotossíntese e a respiração. Analisando estes trabalhos, é possível notar que sempre haverá problemas no desenvolvimento da parte aérea da planta quando esta for exposta a concentrações do metal.

De acordo com o teste de variância, (teste de F), existe interação significativa entre os fatores dia de avaliação e doses de cádmio em relação à variável massa seca de plântula (tabela 9), indicando a existência de dependência entre os fatores.

Através do desdobramento do efeito da interação, pela realização de nova análise de variância (teste de F), em que os níveis do fator doses de cádmio foram comparados dentro dos níveis do fator dias (e vice-versa), foi possível observar efeito significativo para o fator dias dentro de cada dose de cádmio na dose 0 e 25 mg L⁻¹,

sendo que a comparação de médias entre os níveis deste fator é representada na tabela 10.

Também foi possível observar efeito significativo para o fator doses de cádmio dentro de cada dia, isto é, no quarto, quinto, sexto e sétimo dias, sendo que este efeito pode ser observado através das estimativas das equações lineares apresentadas na tabela 10.

Tabela 9 - Massa seca de plântulas de algodão sob diferentes doses de cádmio.

Dia de Avaliação	Doses de Cádmio (mg L ⁻¹)			
	0	25	50	100
QUINTO	47,91C	47,01A	44,35NS ²	21,67NS
SEXTO	56,87B	46,47AB	45,1NS ⁴	23,15NS
SÉTIMO	58,17B	44,55BC	44,18NS	21,78NS
OITAVO	63,55A	42,29C	42,76NS	22,78NS
		CV ¹ (A) = 2,7 %	CV ¹ (B) = 19,6%	

(¹)Coeficiente de variação

(²) Não significativo á 1% de confiança.

Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna, a 1% de confiança.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 10 - Equação linear referente ao efeito das doses de cádmio em cada dia sobre a massa seca de plântulas de algodoeiro.

Dia de Avaliação	Equação linear	R ²
QUINTO	$y = -0,2708x + 52,084$	0,8605
SEXTO	$y = -0,3247x + 57,111$	0,9555
SÉTIMO	$y = -0,3436x + 57,204$	0,9475
OITAVO	$y = -0,3702x + 59,043$	0,9013

(¹)Dias após a semeadura

Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

A massa seca de plântulas é uma importante variável para verificar se há diferentes desempenhos iniciais de plântulas em função dos tratamentos utilizados. Os resultados obtidos no presente experimento demonstram que o efeito fitotóxico do cádmio também reflete nesta variável, pois houve uma redução na massa seca das plantas de acordo com o aumento das doses de cádmio, sendo a maior que a maior dose (100 mg L⁻¹) apresentou uma redução de aproximadamente 64,15% em relação a testemunha, no último dia de avaliação.

Marques et al. (2000) constataram que a produção de matéria seca da parte aérea das espécies arbóreas estudadas foi influenciada pela contaminação do solo com cádmio, comprometendo o crescimento. Da mesma forma, Cupertino (2006) observou que seringueira (*Hevea brasiliensis*), cultivada na presença de cádmio, apresentou inibição do crescimento da raiz e da parte aérea, redução na produção de massa seca em todos os órgãos da planta, queda na taxa de fotossíntese e na resistência estomática.

Segundo diversos autores (Hernandez et al., 1996; Das et al., 1997; Kurdziel et al., 2004; Kabata-Pendias, 2011) a redução na produção de matéria seca pode ocorrer ainda devido aos efeitos negativos do cádmio sobre a absorção, transporte e uso de nutrientes essenciais ao metabolismo da planta, como fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, manganês, ferro e nitrato, bem como da água

6. CONCLUSÃO

Os dados e análises comprovam a toxicidade do cádmio na planta do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) em relação as variáveis estudadas.

Houve uma redução na taxa de germinação, percebendo-se que conforme o aumento da dose do metal e avanço dos dias, menor a taxa de germinação.

Em relação à variável comprimento das raízes, foi possível observar que o cádmio causou uma grande redução no tamanho e quantidade das raízes laterais, além de necrose e atrofiamento.

Em relação à variável comprimento da parte aérea não houve relação entre os fatores de avaliação, porém isoladamente notou-se que quanto maior a dose de cádmio, menor o desenvolvimento da parte aérea.

Em relação à variável massa seca houve foi possível observar uma redução no índice conforme aumento da dose de cádmio e avanço dos dias de avaliação.

REFERÊNCIAS

- ABRAPA, **Associação Brasileira dos Produtores de Algodão**. Disponível em: <<https://www.abrapa.com.br/Paginas/Dados/Algod%C3%A3o%20no%20Brasil.aspx>> Acesso em: 20 nov 2022.
- AKINCI IE & AKINCI S. 2010. **Effect of chromium toxicity on germination and early seedling growth in melon (*Cucumis melo L.*)**. African Journal of Biotechnology 9: 4589-4594;
- AMPA - ASSOCIAÇÃO MATO-GROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO (Mato Grosso). **História do Algodão**. Disponível em: <https://ampa.com.br/historia-do-algodao/>. Acesso em: 27 nov. 2022.
- AN, Y.-J. **Soil ecotoxicity assessment using cadmium sensitive plants**. Environmental Pollution, South Korea, v. 127, p. 21 - 26, 2004.
- ARES, G.; GRANATO, D. **Mathematical and statistical methods in food science and technology**. Nova Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2014. 514p.
- BELTRÃO, N. E. de M. Fisiologia da Produção do Algodoeiro. **Embrapa Algodão, Campina Grande**, v. 1, n. 94, p. 1-8, ago. 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPA/18294/1/CIRTEC94.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2022.
- BENAVIDES, M. P.; GALLEGO, S. M.; TOMARO, M. L. **Cadmium toxicity in plants**. Braz. J. Plant Physiol, [s.i.], v. 7, n. 1, p.21-34, 2005.
- BHARDWAJ, CHATURVEDI, A.K. AND PRASAD, P. **Effect of Enhanced Lead and Cadmium in Soil on Physiological and Biochemical Attributes of (*Phaseolus vulgaris L.*)**. National Scientific, 7, 63-75, 2009.
- BIZARRO, V. G. **Teor e biodisponibilidade de cádmio em fertilizantes fosfatados**, Porto Alegre - RS, p. 1-77, abril, 2007.
- BIZARRO, V. G.; MEURER, E. J.; TATSCH, F. R. P. **Teor de cádmio em fertilizantes fosfatados comercializados no Brasil**. Ciências Rurais, Santa Maria - RS, v. 38, n. 1, p. 247-250, janeiro - fevereiro, 2008. ISSN 0103-8478.
- BRASIL (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Regras para análise de sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009, 399p.
- CHAVES, L.H.G et al. **Crescimento, distribuição e acumulação de cádmio em plantas de *Jatropha curcas***. Revista de Ciências Agrárias, 2014,37(3): 286-291.
- CHUGH, L. K.; SAWHNEY, S. K. **Effect of cadmium on germination, amylases and rate of respiration of germinating pea seeds**. Environmental pollution, Hisar - India, v. 92, n. 1, p. 1-5, october, 1996. ISSN 0269-7491.
- COÊLHO, D.T. **Algodão: Produção e Mercados**. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE, Maio 2021. Disponível em: <

https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/808/1/2021_CDS_166.pdf
Acesso em: 01 nov 2022.

CUNHA, K. P. V. D. et al. **Disponibilidade, acúmulo e toxidez de Cádmio e Zinco em milho cultivado em solo contaminado**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Recife - PE, v. 32, n. 2, p. 1319-1328, maio/junho, 2008. ISSN 1806-9657.

CUPERTINO, I.C.F.S. **Respostas morfofisiológicas e nutricionais de plantas jovens de seringueira *Hevea brasiliensis* [Willd. Ex. Adr. de Juss.] Muell.-Arg.] cultivadas na presença de alumínio, cádmio, níquel e zinco**. 116 f. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

de MELO COGO, M. R., MAZOY LOPES, A., & Giordani Vielmo, P. (2020). **Capacidade De Absorção, Distribuição E Efeitos Morfológicos Causados Por Cádmio Em Plantas**. *Revista Multidisciplinar De Educação E Meio Ambiente*, 1(1), 56,

FERREIRA, G.B.; CARVALHO, M.C.S. **Adubação do algodoeiro no Cerrado: Com resultados de pesquisa em goiás e Bahia**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. 71 p. (Documentos, 138).

FRANCISCO, E.; HOOGERHEIDE, H. C. **Manejo de nutrientes para o algodoeiro de alta produtividade**. Piracicaba: IPNI. Informações agronômicas. 2013.

FREITAS, E. V. de S. et al. **Disponibilidade De Cádmio E Chumbo Para Milho Em Solo Adubado Com Fertilizantes Fosfatados**. Revista Brasileira Ciência do Solo, [recife], p.1899-1907, 2009.

FURLANI JUNIOR, E.; SILVA, N.M.; BUZETTI, S.; SÁ, M.E.; ROSOLEM, C.A.; CARVALHO, M.A.C. **Extração de macronutrientes e crescimento da cultivar IAC 22**. *Cultura Agronômica*, v.1, p.27-43, 2001.

GUILHERME, M. D. F. D. S. Toxicidade de Cádmio na germinação de sementes e no crescimento de mudas de trigo (*Triticum aestivum*), Patos - PB, p. 38, maio, 2016.

GUIMARÃES, M. A.; SANTANA.T. A.; SILVA, E. V.; ZENZENI. L.; LOUREIRO, M. E. **Toxicidade e tolerância ao cádmio em plantas**. *Revista trópica-Ciências Agrárias e Biológicas*. N. 3, v. 1, p. 58, 2008.

HERNÁNDEZ L.E., CÁRPENA-RUIZ R, GARATE A. **Alterations in the mineral nutrition of pea seedlings exposed to cadmium**. *J. Plant Nutr.* 19: 1581-1598, 1996.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4th ed. 2011.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. The Anthroposphere. In:(org). **Trace Elements in Soils and Plants**. 3rd ed. CRC Press, London, 2000. p.123 – 167.

KUPPER, H.; KUPPER, F and SPILLER, M. **Environmental relevance of heavy metal-substituted chlorophylls using the example of water plants**. *Journal of Experimental Botany*. v. 47, n. 295, p. 259-266, 1996.

LIMA, V. F.; MERÇON, F. **Metais pesados no ensino de química**. *Química Nova na Escola*, Duque de Caxias - RJ, v. 33, n. 4, p. 199-205, novembro, 2011.

MADEIRA, N. N. **Toxicidade de cádmio em plantas transgênicas de soja e de tabaco expressando os genes Bip e Aldeído Desidrogenase**, Viçosa - MG, p. 1-45, maio, 2014.

MARQUES, T.C.L.L.S.M.; MOREIRA, A.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, n. 1, p. 121-132, 2000.

NAKAGAWA, A. J. **Testes de vigor baseados no desempenho de plântulas**. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. **Vigor de Sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. 218p

NASCIMENTO, F. M. **Germinação de sementes e crescimento de plântulas de aveia preta sob diferentes concentrações de cobre**. Chapecó: Universidade Federal da Fronteira Sul, 2021, 23p.

OLIVEIRA, A. A., CAMBRAIA, J., CANO, M. A. O., JORDÃO, C. P. **Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de aguapé e salvínia**. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, 13(3): 329-341, 2001

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14^a ed, Piracicaba: Livroceres, 2000, 480p.

PRADHAN, C.; JALI, P.; DAS, A. B. **Effects of Cadmium toxicity in plants: A review Article**. Scholars Academic Journal of Bioscience (SAJB), Odisha - India, v. 12, n. 4, p. 1074-1081, 2016. ISSN 2321-6883.

SÁ, M. E.; OLIVEIRA, S. A.; BERTOLIN, D. C. **Roteiro prático da disciplina de produção e tecnologia de sementes: análise da qualidade de sementes** São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2011, 112p.

SALGADO, P. E. T. **Toxicologia dos Metais** In: OGA, S. Fundamentos de toxicologia. São Paulo: Atheneu Editora, 1996. p.153-172.

SEVERINO, L. S. et al. **Produto: ALGODÃO - Parte 01: Caracterização e Desafios Tecnológicos**. EMBRAPA: SÉRIE DESAFIOS DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO (NT3). 2019. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1109655/1/SerieDesafiosAgronegocioBrasileiroNT3Algodao.pdf>> Acesso em: 05 dez 2022;

SILVA, P. S. L.; SILVA, J. C. V.; CARVALHO, L. P.; SILVA, K. M. B.; FREITAS, F. C. L. **Weed control via intercropping with gliricidia**. I. Cotton crop. Planta Daninha, v. 27, n.1, p. 97-104, 2007.

SOUZA, J. F. **Efeito de metais pesados no desenvolvimento de plântulas de milho (*Zea mays* L.) e rabanete (*Raphanus sativus* L.)**. 2003. 138p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.

STAUT, L.A. **Fertilização fosfatada e potássica nas características agronômicas e tecnológicas do algodoeiro na região de Dourados, MS. Jaboticabal**, 1996. 124 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

STAUT, L.A.; KURIHARA, C.H. **Calagem e adubação**. In: EMBRAPA AGROPECUÁRIA OESTE. **Algodão: tecnologias de produção**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; 2001. p.103-123.

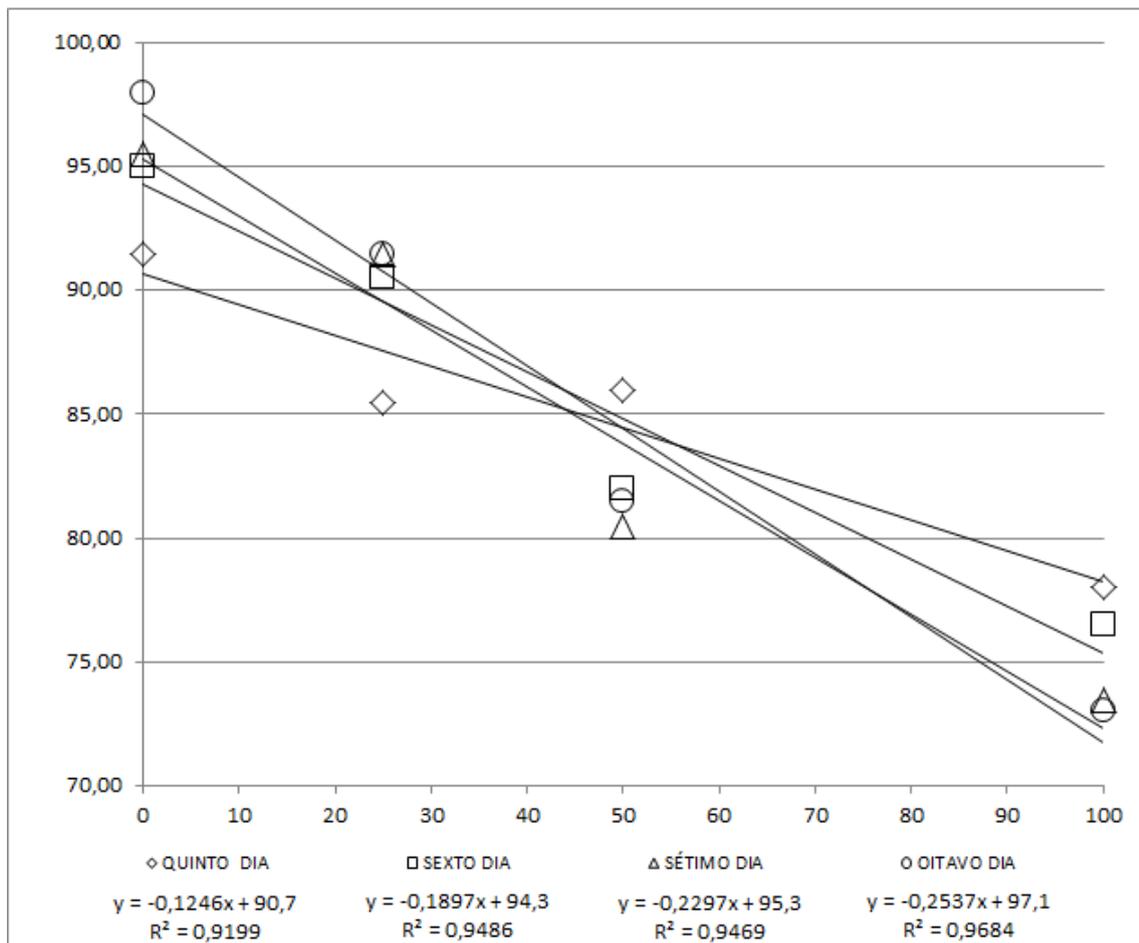
THOMPSON, W. R. **Fertilization of cotton for yields and quality**. In: CIA, E.; FREIRE, E. C.; SANTOS, W. J. Cultura do algodoeiro. Piracicaba: Potafós, 1999. p.94.

ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2004, 402p.

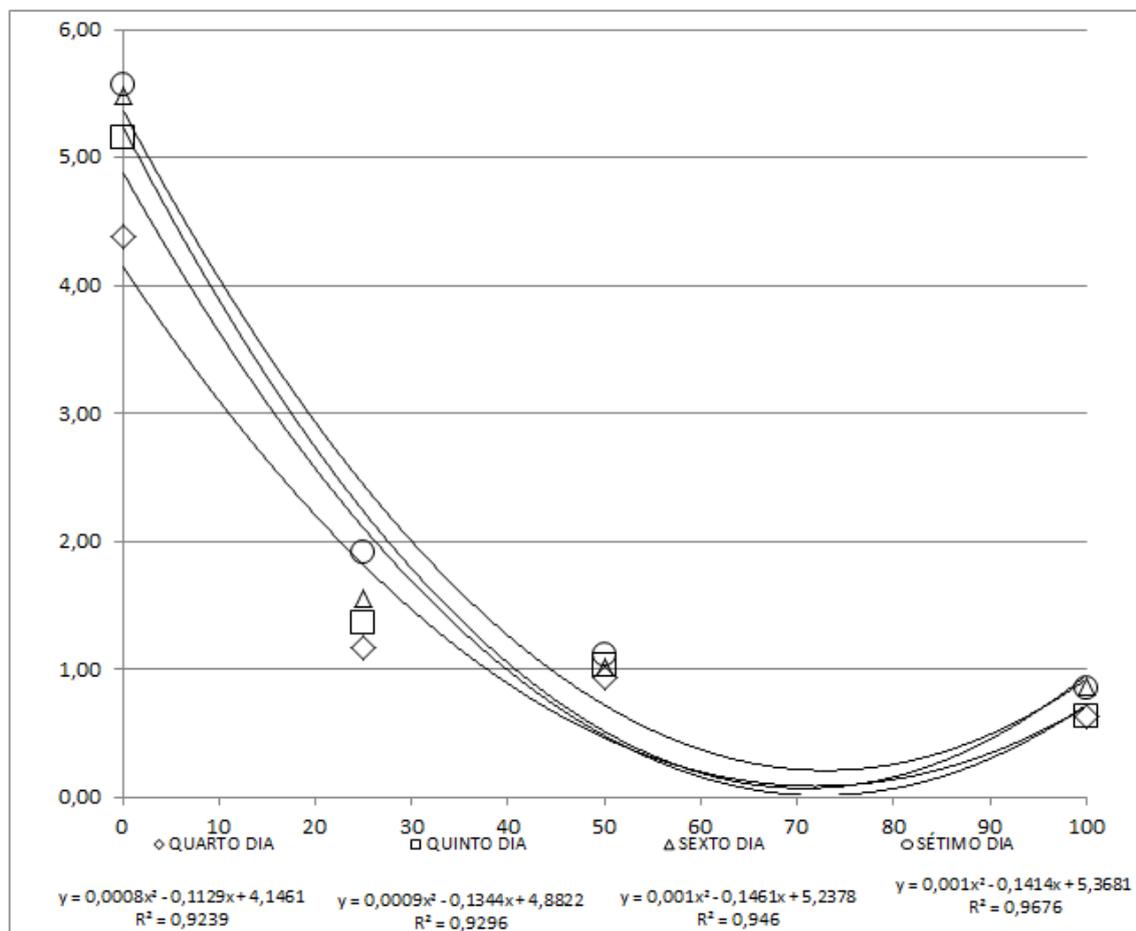
ZULI, Y., ZHONGHONG, W., **Effect of cádmium on antioxidative capability and phytohormone level in tobacco roots**. Acta Ecológica Sinica, 30(15): 4109-4118. 2010.

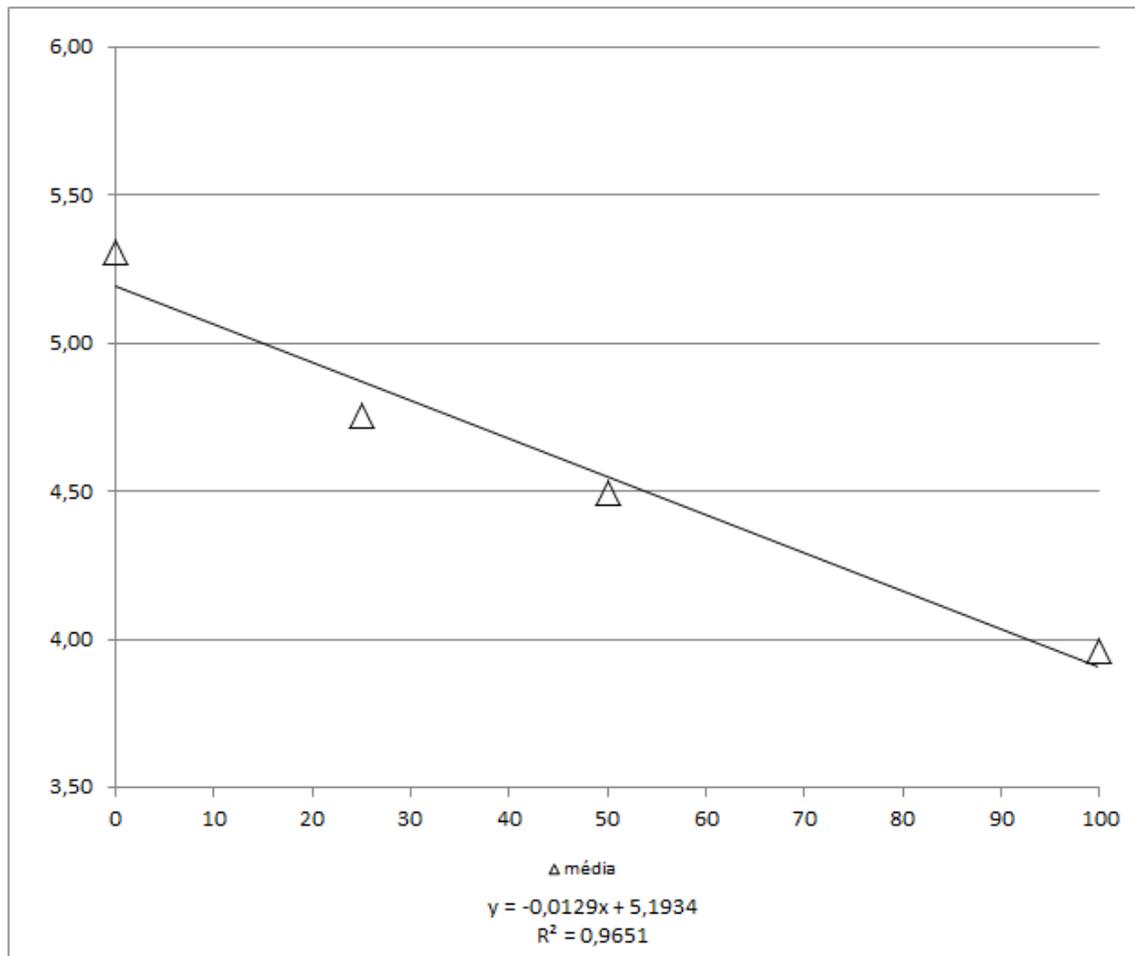
APÊNDICES

APÊNDICE A – Equações lineares referente às doses de cádmio sobre a taxa de germinação.



APÊNDICE B– Equações polinomiais de segundo grau referente às doses de cádmio sobre o tamanho da raiz.



APÊNDICE C– Equação linear referente às doses de cádmio sobre o tamanho da parte aérea.

APÊNDICE D – Equações polinomiais de segundo grau referente às doses de cádmio sobre a matéria seca plântula

