



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

**RODIRLEI LEMES DE SOUZA**

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

**CHAPECÓ**

**2023**

**RODIRLEI LEMES DE SOUZA**

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

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**

Souza, Rodirlei Lemes de  
GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE  
ALGODOEIRO (*Gossypium hirsutum* L.) SOB DIFERENTES  
CONCENTRAÇÕES DE COBRE / Rodirlei Lemes de Souza. --  
2023.

41 f.

Orientador: Samuel Mariano Gislon da Silva

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

1. *Gossypium hirsutum* L.. 2. Tratamento de sementes.  
3. Micronutriente cobre. I. Silva, Samuel Mariano Gislon  
da, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul.  
III. Título.

**RODIRLEI LEMES DE SOUZA**

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

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 08/02/2023.

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr Samuel Mariano Gislon da Silva – UFFS  
Orientador

---

Prof. Dr. Paulo Roger Lopes Alves– UFFS  
Avaliador

---

Prof. Dr. André Luiz Radünz – UFFS  
Avaliador

## RESUMO

A cultura do algodoeiro é uma atividade agrícola altamente tecnificada, que requer um massivo uso de fontes contendo micronutrientes. O uso excessivo de fertilizantes, bem como de dejetos suínos, pode aportar altas concentrações de cobre aos solos, causando toxicidade às plantas cultivadas. O objetivo do presente trabalho foi analisar o efeito de diferentes concentrações de cobre sobre a germinação e crescimento da parte aérea e raiz de plântulas de algodoeiro. O ensaio foi realizado em esquema parcelas subdivididas em blocos ao acaso, com classificação cruzada e 4 repetições. As sementes foram divididas em 4 lotes de 16 repetições de 50 sementes e cada repetição semeada em substrato de papel para 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  $\text{CuSO}_4$ , de maneira que as concentrações finais de cobre fossem 0,0, 100, 200 e 300,0 mg/L, gerando quatro diferentes tratamentos. Os rolos de papel foram mantidos em germinadores à temperatura constante de 25°C e fotoperíodo constante de 24 horas, sendo as avaliações realizadas em 4 repetições de cada tratamento, retiradas de forma aleatória do germinador no quinto, sexto, sétimo e oitavo dias após a semeadura. As avaliações de germinação, crescimento e massa seca foram realizadas no quinto, sexto, sétimo e oitavo dia após a semeadura. Na avaliação da germinação foram consideradas germinadas as sementes que apresentaram crescimento de radícula de 1 mm, eliminando-se as plântulas anormais e sementes duras e mortas, sendo os dados convertidos para porcentagem de plântulas normais. As avaliações de crescimento foram realizadas com o auxílio de régua milimétrica, sendo mensurado o comprimento da raiz primária e da parte aérea, sendo os resultados expressos em cm plântula<sup>-1</sup>. Para avaliar a massa seca, o material úmido foi submetido à secagem em estufa com circulação de ar forçado, a 80°C durante 24 horas, sendo após feita a pesagem do material seco. A análise de variância (teste de F a 99 %) 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 99% de confiança. O cobre afetou a taxa de germinação na maior concentração testada (300mg/L), a partir da segunda avaliação, as concentrações de 100 e 200mg/L, afetaram no quarto dia de avaliação. As diferentes concentrações não afetaram o índice de velocidade de germinação. Para a variável plântula anormal, não houve interação significativa entre os fatores dias e concentrações de cobre, mostrando que os fatores ocorrem de forma independente. O comprimento radicular foi a variável mais afetada pelo tratamento com cobre. Quanto ao comprimento da parte aérea, o metal não apresentou influência em seu tamanho. O cobre afetou a peso da massa seca das plântulas de algodão.

Palavras-chave: Micronutrientes, Metal pesado, Toxicidade, *Gossypium hirsutum*

## ABSTRACT

Cotton cultivation is a highly technical agricultural activity, which requires massive use of sources containing micronutrients. The excessive use of fertilizers, as well as swine manure, can contribute high concentrations of copper to the soil, causing toxicity to cultivated plants. The objective of the present work was to analyze the effect of different concentrations of copper on the germination and growth of shoots and roots of cotton seedlings. The test was carried out in a split-plot scheme in randomized blocks, with cross classification and 4 replications. The seeds were divided into 4 lots of 16 repetitions of 50 seeds and each repetition was sown on paper substrate for germination, 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 CuSO<sub>4</sub>, so that the final copper concentrations were 0.0, 100, 200 and 300.0 mg/L, generating four different treatments. The paper rolls were kept in germinators at a constant temperature of 25°C and a constant photoperiod of 24 hours, and the evaluations were carried out in 4 repetitions of each treatment, randomly removed from the germinator on the fifth, sixth, seventh and eighth days after sowing. Germination, growth and dry mass evaluations were carried out on the fifth, sixth, seventh and eighth day after sowing. In the evaluation of germination, seeds that showed radicle growth of 1 mm were considered germinated, eliminating abnormal seedlings and hard and dead seeds, and the data were converted to the percentage of normal seedlings. The growth evaluations were carried out with the aid of a millimeter ruler, measuring the length of the primary root and shoot, with the results expressed in cm seedling<sup>-1</sup>. To evaluate the dry mass, the wet material was dried in an oven with forced air circulation, at 80°C for 24 hours, after which the dry material was weighed. Analysis of variance (99% F test) was used to analyze the variables. Comparisons of the mean of each repetition were performed using Tukey's multiple comparison test or regression, both at 99% confidence. Copper affected the germination rate at the highest concentration tested (300mg/L), from the second evaluation, the concentrations of 100 and 200mg/L, affected the fourth day of evaluation. The different concentrations did not affect the germination speed index. For the abnormal seedling variable, there was no significant interaction between the factors days and concentrations of copper, showing that the factors occur independently. Root length was the variable most affected by copper treatment. As for the length of the aerial part, the metal had no influence on its size. Copper affected the dry mass weight of cotton seedlings.

Keywords: Micronutrients, Heavy metal, Toxicity, *Gossypium hirsutum*

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Valores médios da taxa de germinação (%) do algodão submetidas a diferentes concentrações de cobre, em 4 dias de avaliação .....	19
<b>Tabela 2.</b> Equação polinomial sobre os efeitos das concentrações de cobre na germinação de sementes de algodão.....	20
<b>Tabela 3.</b> Índice de velocidade de germinação (IVG) de plântulas de algodão submetidas a diferentes concentrações de cobre, em 4 dias de avaliação. ....	20
<b>Tabela 4.</b> Porcentagem média entre os níveis dos fatores dia de plântulas anormais. ..	21
<b>Tabela 5.</b> Equações polinomiais referentes ao efeito das concentrações de cobre nas plântulas anormais de algodão.....	21
<b>Tabela 6.</b> Comprimento radicular de plântulas de algodão submetidas a diferentes concentrações de cobre e 4 dias de avaliações. ....	22
<b>Tabela 7.</b> Equações polinomiais referentes ao efeito das concentrações de cobre no crescimento radicular (cm/plântula <sup>-1</sup> ) de plântulas de algodão em 4 dias de avaliação. ....	22
<b>Tabela 8.</b> Comprimento médio da parte aérea (cm plântula <sup>-1</sup> ) mensurados durante os ensaios de germinação, de plântulas de algodão. ....	24
<b>Tabela 9.</b> Equação linear referente ao efeito das concentrações de cobre sobre o comprimento médio da parte aérea (cm plântula <sup>-1</sup> ) de plântulas de algodão. ....	24
<b>Tabela 10.</b> Peso (g) da massa seca de plântulas de algodão com diferentes concentrações de cobre.....	25
<b>Tabela 11.</b> Equação polinomial dos efeitos das concentrações de cobre em cada dia sobre a massa seca, de plântulas de algodão. ....	25

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1-</b> Esquema resumido do ensaio de germinação. ....	17
---	----

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>3. REVISÃO BILIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>16</b>
4.1 OBTENÇÃO DAS SEMENTES .....	16
4.2 ENSAIO DE GERMINAÇÃO .....	16
4.3 VIGOR E VIABILIDADE DAS SEMENTES .....	16
4.4 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO .....	18
4.5 MATÉRIA SECA .....	18
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	18
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>19</b>
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	<b>27</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>28</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) é uma planta dicotiledônea da família Malvaceae de grande importância comercial, sendo a cultura considerada uma importante atividade agrícola no mundo. No Brasil, na safra 2016-2017, a cadeia produtiva do algodão gerou em torno de 1,22 milhões de empregos, o que equivaleu a uma massa salarial anual estimada em US\$ 11,81 bilhões. Isso mostra a importância da cultura na parte social e econômica para o País (ABRAPA, 2018).

O Brasil é o quinto maior produtor de algodão do mundo, segundo maior exportador e o nono maior consumidor. A cotonicultura brasileira, nos últimos anos, posicionou-se como o segundo maior exportador mundial. Novas técnicas de gerenciamento do campo, investimento, pesquisa e melhor beneficiamento aumentaram a qualidade e a quantidade do algodão brasileiro (SEVERINO et al., 2019).

Os micronutrientes são tão importantes para a nutrição e produtividade do algodoeiro quanto os macronutrientes, embora sejam exigidos em menores quantidades. Nos últimos anos, o uso de fertilizantes contendo micronutrientes na cultura do algodão tem se tornado rotina no Brasil devido, principalmente, ao fato de que a maior parte da área plantada está localizada na região dos Cerrados, aonde a maioria dos solos é pobre em micronutrientes (CARVALHO, 2007).

Para se fazer uma adubação equilibrada com micronutrientes é necessário considerar os diversos aspectos referentes ao comportamento dos mesmos no solo e na planta, envolvendo: conhecimento das exigências da cultura, diagnose visual e foliar, análise de solo, características das fontes e modos de aplicação mais eficientes (CARVALHO, 2007).

O cobre (Cu), um dos micronutrientes essenciais à nutrição das plantas, está relacionado ao crescimento, fazendo parte estrutural de algumas enzimas. Quando em quantidades elevadas no solo esse componente, considerado metal pesado, pode desencadear efeitos tóxicos tanto às plantas quanto à biota (ZORTÉA et al., 2016). Pode ter sua origem do próprio processo de intemperismo do material de origem do solo. Porém, a atividade antrópica tem sido apontada como a principal fonte de contaminação do solo e da água, destacando-se fontes primárias, como a adição de fertilizantes e pesticidas, resíduos de animais e humanos e secundárias como a atividade industrial e de mineração (Basso et al., 2012).

Mattias (2006), destaca que a prática de aplicação dos dejetos como fertilizante em solos, pode em algumas situações ser problemática. SCHERER et al. (1996) salienta que o tamanho médio das propriedades nas regiões produtoras de suínos não comporta o volume de

dejetos gerados, o que acarretaria em aplicações simultâneas nas mesmas áreas, bem acima da capacidade do solo em ciclar o descarte.

O presente trabalho apresenta dados de germinação, plântulas anormais, crescimento da parte aérea, raiz e matéria seca de plântulas de algodoeiro (*Gossypium hirsutum*), submetidas as diferentes concentrações de cobre.

Apesar de existir um número considerável de investigações dos efeitos citotóxicos e mecanismos de estresse causados pelos metais pesados nos sistemas biológicos, os dados referentes aos efeitos destes metais na germinação das plantas cultivadas ainda são escassos e pouco esclarecedores. Ainda há a necessidade de elucidar vários aspectos metabólicos, justificando a utilização destas plantas e dos metais para o aprofundamento dos conhecimentos existentes a respeito até o momento.

## **2. OBJETIVOS**

Os objetivos são divididos em geral e específicos.

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Determinar a influência do cobre (Cu) na germinação e no crescimento inicial de plântulas de algodão.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Avaliar o efeito de doses de cobre sobre a germinação e desenvolvimento de plântulas de algodão, utilizando os parâmetros de germinação, plântulas anormais, velocidade da germinação, tamanho da raiz, tamanho da parte aérea e matéria seca.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O algodoeiro é conhecido desde os tempos mais remotos, sendo que Incas e outras civilizações antigas já o utilizavam a cerca de 4.500 a.C. Sua domesticação ocorreu no sul da Arábia e as primeiras referências históricas do algodão estão no Código de Manu, do século VII a.C., que é considerado a legislação mais antiga da Índia (AMPA – ASSOCIAÇÃO MATO GROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO, 2022).

A cultura do algodoeiro é uma das que mais geram empregos, principalmente na China e na Índia, onde existem mais de cinco milhões de hectares cultivados com algodão híbrido, com flores polinizadas manualmente, empregando cerca de 70 pessoas por hectare (BELTRÃO, 2006).

No Brasil, à época do seu descobrimento, os indígenas já transformavam o algodão em fios e tecidos rudimentares. Foi em 1750, no Nordeste, o começo da exploração comercial da cultura no país. A partir dessa época e até meados de 1980, o Brasil chegou a ser um dos maiores produtores e exportadores mundiais de algodão (AMIPA – ASSOCIAÇÃO MINEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO, 2022).

A cultura do algodoeiro herbáceo teve, nos últimos anos, desenvolvimento extraordinário, com ganhos significativos na produtividade e em seus componentes, além da percentagem de fibra e da própria qualidade intrínseca desta, com destaque para as características resistência e finura. O algodoeiro é apontado como uma das principais culturas em produtividade nos cerrados, a qual em regime de sequeiro apresenta média superior a 1.100kg de fibra/hectare, com elevado rendimento industrial (BELTRÃO, 2006).

Nos cerrados a cotonicultura é bastante avançada, com uso intensivo de insumos modernos, em especial defensivos agrícolas, fertilizantes, reguladores de crescimento e maturadores. Adicionalmente, os produtores, a maioria com alto nível de conhecimento, sabem usar os métodos de cultivo e extrair o máximo da cultura (BELTRÃO, 2006).

O quarto levantamento da safra 2022/23 aponta que a produção de algodão em pluma deverá atingir 2,98 milhões de toneladas, crescimento de 16,7% em relação à safra 2021/22. De acordo com dados do Ministério da Economia, o total de exportações no ano de 2022 totalizou 1.803,6 mil toneladas, quase 100 toneladas abaixo do esperado para o ano de 2022. A principal razão para tanto foi a redução das vendas para a China devido às medidas restritivas de “Covid zero”. Porém, o setor está otimista para 2023, e espera-se exportar 1.978 mil toneladas neste ano (CONAB, 2023).

O algodoeiro é uma planta oleaginosa, exigente em relação à qualidade do solo, de larga adaptação no que se refere as condições edáficas, podendo ser cultivada em diversos tipos de solos, desde que sejam feitas as correções, de forma que este passe a apresentar características suficientes para atender seu desenvolvimento (NOGUEIRA JÚNIOR; BARBOSA, 2005).

Para a produção de 1.000 kg/ha de algodão em caroço, a planta do algodoeiro extrai em média do solo 59 a 85 kg de nitrogênio, 13 a 25 kg de pentóxido de difósforo ( $P_2O_5$ ), 47 a 69 kg de óxido de potássio ( $K_2O$ ), 18 a 40 kg de cálcio, 8 a 31 Kg de magnésio, 4 a 7 kg de enxofre. Em relação a micronutrientes, a planta necessita de 22 a 33 g de boro, 6 a 8 g de cobre, 10 a 500 g de ferro, 10 a 42 g de manganês e 11 a 45 g de zinco (STAUT, 1996; STAUT E KURIHARA, 2001; THOMPSON, 1999; FURLANI JUNIOR, et al., 2001; FERREIRA et al., 2005; ZANCAN, 2021).

O algodoeiro é uma das melhores culturas para remediar terras agrícolas contaminadas com metais pesados, devido ao fato de as plantas de algodão possuírem uma alta capacidade de absorver metais e produzir uma grande biomassa (LI et al., 2021).

Os micronutrientes, entre eles o cobre, embora exigidos em pequenas quantidades, são essenciais para a planta completar seu ciclo vegetativo e, suas deficiências provocam diminuição na produtividade. O fornecimento de cobre às culturas pode ser feito diretamente no solo (na forma de adubos), na planta (através de adubação foliar) ou por tratamento de sementes (LUCHESE et al., 2004).

Nos solos, o cobre aparece em quantidades variáveis, dependendo, em grande parte da natureza da rocha da qual se originou, com quantidades que variam de 2 a 100 mg  $kg^{-1}$ . O cobre ocorre como sulfetos que se intemperizam, liberando o íon  $Cu^{+2}$  e seus complexos (PEREIRA, 2010).

O cobre está diretamente relacionado ao crescimento das plantas (ZORTÉA et al., 2016). No entanto, quando presente em excesso no solo, pode causar redução da taxa fotossintética, ocorrência de clorose foliar, redução da emissão de raízes finas, como os pelos radiculares, reduzindo a absorção de água e nutrientes, causando redução no crescimento das plantas (LEQUEUX et al., 2010; CAMBROLLÉ et al., 2014; BASSO, 2015).

No solo, esse elemento pode ser retido por frações da matéria orgânica do solo (MOS), óxidos de ferro, óxidos de alumínio, óxidos de manganês e minerais da fração argila, através de ligações físico-químicas, onde a energia de ligação do cobre depende da natureza do ligante e, principalmente, do pH do solo. Assim, o incremento de cobre no solo pode

aumentar a quantidade de frações mais lábeis e potencializar sua disponibilidade em formas acessíveis para as plantas (BASSO, 2015).

O crescente desenvolvimento agrícola tem resultado em problemas ambientais decorrentes da geração de resíduos contendo elementos potencialmente tóxicos. Práticas agrícolas inadequadas também podem levar a uma acumulação de cobre, decorrente da utilização de corretivos, fertilizantes, defensivos e fungicidas a base do metal na camada arável. Além disso, aplicações repetidas de dejetos de animais podem levar a uma acumulação de cobre, uma vez que este elemento está incluído na dieta de suínos e aves, como um promotor de crescimento (ZORTÉA et al., 2016).

Na China, as terras agrícolas contaminadas com metais pesados excedem 20 milhões de ha (LI et al., 2021). A toxidez por cobre em plantas, podem ser expressados por meio de alterações bioquímicas, fisiológicas e estruturais. Modificações acontecem como estratégia de defesa da planta para resistir ao estresse, de modo a garantir a sua sobrevivência e desenvolvimento. Em caso de estresse severo, essas alterações no organismo vegetal podem não ser suficientes para combater o agente estressante. Neste caso, os sintomas da toxidez podem evoluir para uma redução drástica de crescimento, de perda de produtividade, levando até mesmo à morte da planta (AMBROSINI et al., 2016).

Basso et al. (2012), relata que solos onde foram realizadas aplicações de dejetos líquido de suínos apresentam altos teores de cobre e zinco. Isso se justifica já que zinco e cobre são dois importantes elementos à nutrição animal e presentes nos complexos minerais usados na formulação de rações. Mattias (2006), ressalta que o cobre e zinco são mais abundantes nos dejetos, onde os dois elementos fazem parte da formulação das rações para os animais.

De acordo com Pereira (2010), nas plantas, o cobre tende a acumular-se nas raízes. Sua mobilidade depende do teor no tecido: Em plantas bem nutridas, tem uma maior mobilidade, enquanto que nas deficientes o movimento é mais difícil. O transporte no floema parece ocorrer com facilidade, visto que a deficiência pode ser corrigida mediante aplicações foliares de produtos contendo o elemento. A toxidez se manifesta primeiramente nas raízes, que escurecem e perdem elementos previamente absorvidos, o que indica comprometimento da permeabilidade das membranas (Malavolta et al., 1997).

## 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. Apresenta como características agronômicas um ciclo precoce, entre 140 a 160 dias, crescimento diário de 1 cm/dia e resistência à bacteriose e à virose (doença azul).

### 4.2 ENSAIO DE GERMINAÇÃO

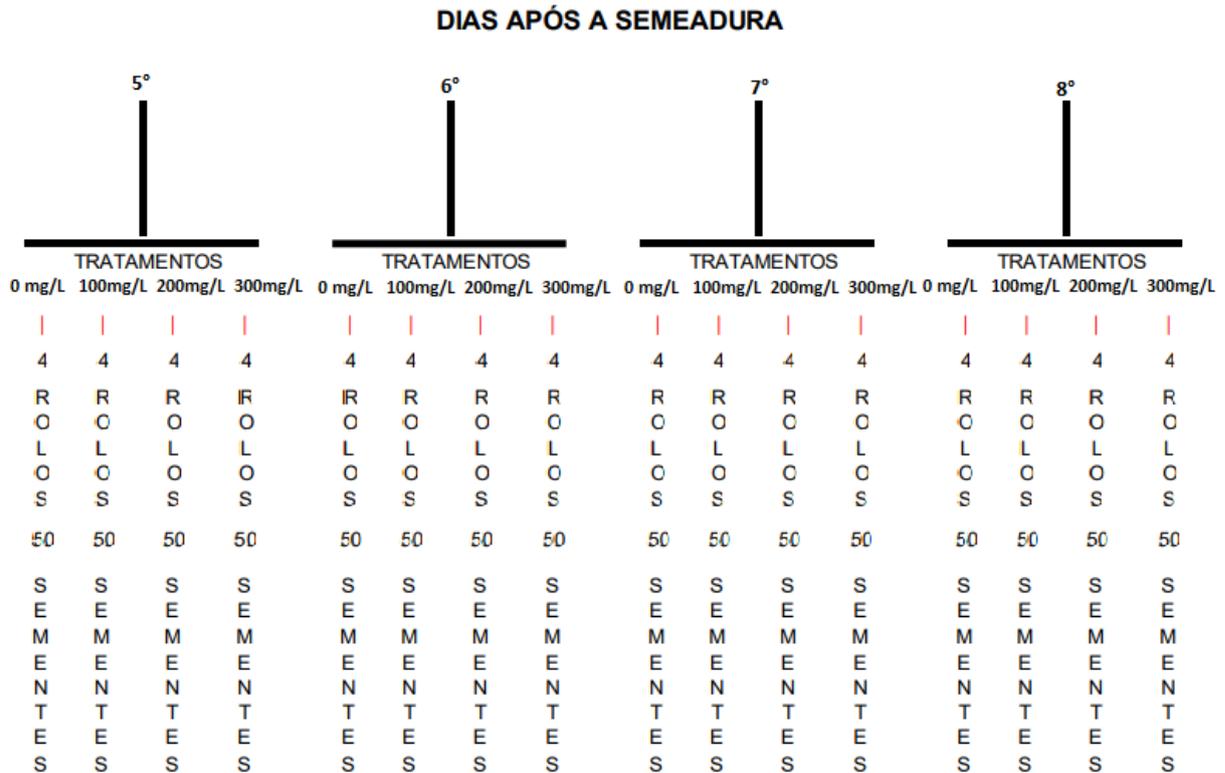
O experimento foi conduzido no laboratório de Sementes e Grãos situado na Universidade Federal da Fronteira Sul *campus* Chapecó. O ensaio foi realizado sob esquema parcelas subdivididas no tempo em delineamento experimental blocos ao acaso, com classificação cruzada e 4 repetições (ARES & GRANATO, 2014; 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 para germinação de sementes (J. Prolab®) 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 sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ), de maneira que as concentrações finais de cobre fossem 0,0, 100, 200 e 300,0 mg/L, gerando quatro diferentes tratamentos. Os rolos de papel foram mantidos em germinadores (ELETROlab®, modelo 202/4) à temperatura constante de 25°C e fotoperíodo constante de 24 horas (BRASIL, 2009; SÁ et al., 2011), sendo as avaliações 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.

### 4.3 VIGOR E VIABILIDADE DAS SEMENTES

A avaliação da germinação foi realizada no quinto, sexto, sétimo e oitavo dia após a semeadura, sendo consideradas germinadas as sementes que apresentaram crescimento de

radícula de 1 mm, eliminando-se as plântulas anormais e sementes duras e mortas, sendo os dados convertidos para porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009; SÁ et al., 2011).

**Figura 1-** Esquema resumido do ensaio de germinação.



Fonte: Adaptado de NASCIMENTO, 2021.

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

$$\% \text{ Germinação} = \frac{Pn}{N} \times 100$$

Onde: Pn = plântulas normais

N = número total de sementes colocadas para germinar

Seguindo a metodologia proposta por SÁ et al. (2011), o índice de velocidade de germinação foi determinado 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 semeadura à primeira, segunda, terceira e quarta contagem.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO

A avaliação do crescimento foi realizada no quinto, sexto, sétimo e oitavo dia 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<sup>-1</sup> (BRASIL, 2009; SÁ et al., 2011).

#### 4.5 MATÉRIA SECA

Seguindo a metodologia proposta por SÁ et al. (2011), após o período previsto no germinador as plântulas normais foram separadas e, com auxílio de uma lâmina de barbear os cotilédones foram separados, e o material restante (raiz e parte aérea) foram colocados em sacos de papel previamente pesados e separados por repetição. A seguir, os sacos foram acondicionados em estufa de circulação forçada de ar regulada a 80°C durante 24 horas. Após esse período, foram colocados para esfriar em dessecador, até peso constante, quando foram pesadas em balança de precisão.

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

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

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 99 %) 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 99% 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 dias e concentrações de cobre em relação à variável taxa de germinação do algodoeiro, indicando a existência de dependência entre os fatores (Tabela 1), (Apêndice A).

Através do desdobramento do efeito da interação, pela realização de nova análise de variância (teste de F), onde os níveis do fator concentrações de cobre foram comparados dentro dos níveis do fator dias (e vice-versa), foi possível observar efeito significativo para o fator dias dentro de cada concentração de cobre nas concentrações 100, 200 e 300 mg L<sup>-1</sup>, sendo que a comparação de médias entre os níveis deste fator é representada na tabela 1, (Apêndice A).

Também foi possível observar efeito significativo para o fator concentrações de cobre dentro de cada dia, isto é, no sexto, sétimo e oitavo dia, sendo que este efeito pode ser observado através das estimativas das equações polinomiais de ordem 2 apresentadas na tabela 2, (Apêndice A).

De acordo com o Padrão Nacional de Comercialização de sementes, os tratamentos ficaram dentro do índice de porcentagem de germinação, que exige no mínimo 70% de germinação das sementes, para o algodoeiro (MAPA, 2005).

**Tabela 1.** Valores médios da taxa de germinação (%) do algodão submetidas a diferentes concentrações de cobre, em 4 dias de avaliação.

Dias após a Germinação	mg L <sup>-1</sup> de cobre			
	0	100	200	300
QUINTO	93,00 *	91,50AB	92,50A	92,00A
SEXTO	95,50 *	93,00A	94,00A	84,00BC
SÉTIMO	93,00 *	93,00A	93,50A	86,00B
OITAVO	95,00 *	89,50B	87,00B	82,00C
		CV (A) = 2,2%	CV (B) = 18,8 %	

Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna, a 99% de confiança.

(\*) Não significativo (NS) a 99% de confiança

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

**Tabela 2.** Equação polinomial sobre os efeitos das concentrações de cobre na germinação de sementes de algodão.

Dias	Equação polinomial de ordem 2	R <sup>2</sup>
SEXTO	$y = -5E-05x^2 + 0,0114x + 94,775$	0,8697
SÉTIMO	$y = -5E-05x^2 + 0,0179x + 92,575$	0,9066
OITAVO	$y = 3E-06x^2 - 0,0226x + 94,725$	0,9828

Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

Os resultados demonstram que as concentrações de cobre testadas causaram atraso na germinação e que estes efeitos foram mais intensos nas maiores concentrações e ao longo dos dias.

Assim como os resultados encontrados no presente trabalho para sementes de algodoeiro, outros autores demonstraram os efeitos do cobre sobre a germinação de sementes de milho. Luchese et al. (2004) observaram um decréscimo cada vez maior na capacidade de emergência de sementes quanto maiores eram as concentrações testadas. Mariano-da-Silva et al. (2022) observaram que concentrações de 200 e 300 mg L<sup>-1</sup> de cobre afetaram severamente a germinação, desde o primeiro até o quarto dia de análise. Mello (2019), trabalhando com sementes de soja, obteve um decréscimo na germinação a partir da concentração de 100 mg L<sup>-1</sup> de cobre.

Borges (2015) demonstrou que quando ocorre a absorção de água pela semente e o rompimento do tegumento, a germinação depende inicialmente das reservas de nutrientes presentes na semente, sendo estes responsáveis pelo fornecimento de metabólitos para a respiração. Ko et al. (2012) determinaram que a presença de altas concentrações de micronutrientes na água de embebição pode ocasionar a ocorrência de um estresse oxidativo, que interfere nas atividades de enzimas (como por exemplo a  $\alpha$ -amilase e  $\beta$ -amilase) prejudicando o processo de germinação.

O índice de velocidade de germinação pode ser observado na tabela 3 (Maguire, 1962), sendo possível verificar que o mesmo não variou ao longo do tratamento.

**Tabela 3.** Índice de velocidade de germinação (IVG) de plântulas de algodão submetidas a diferentes concentrações de cobre, em 4 dias de avaliação.

	mg L <sup>-1</sup> de cobre		
	100	200	300
0,0			
6,5	6,4	6,5	6,4

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Luchese et al. (2004), demonstraram que a aplicação de cobre em sementes de milho nas concentrações de 1,0; 2,0; 4,0 e 6,0g kg<sup>-1</sup> diminuiu a capacidade de emergência das sementes, sem afetar a massa seca das plântulas que emergiram. De acordo com Alaoui-Sossé et al. (2004), o excesso de cobre inibe o alongamento celular, um processo complexo dependente da pressão do turgor celular, síntese de componentes da parede e reguladores de crescimento, afetando fortemente a germinação.

Bastiani (2020), em trabalho com trigo mourisco, observou que concentrações de 0, 5, 10, 15 e 20 mg L<sup>-1</sup> de cobre atuaram independentemente sobre as variáveis germinação, índice de velocidade de germinação e massa seca da parte aérea das plântulas, ou seja, a interação entre as cultivares e as concentrações de cobre não foi significativa. Tanto índice de velocidade de germinação como massa seca de parte aérea não demonstraram diferença significativa entre as concentrações de cobre estudadas, até mesmo na concentração mais alta.

De acordo com o teste de variância, (teste de F), não existe interação significativa entre os fatores dias e concentrações de cobre em relação à variável % de plântulas anormais, indicando a inexistência de dependência entre os fatores (Apêndice B).

No entanto, foi possível observar efeito significativo para os fatores concentrações de cobre e dias isoladamente, demonstrando que os efeitos entre estes fatores ocorrem de forma independente. A comparação de médias entre os níveis do fator dias é representada na tabela 4, enquanto que a comparação de médias entre os níveis do fator concentrações de cobre é representado através da estimativa da polinomial de grau dois apresentados na tabela 5, (Apêndice B).

**Tabela 4.** Porcentagem média entre os níveis dos fatores dia de plântulas anormais.

Dias	% Plântulas anormais
QUINTO	4,38B
SEXTO	5,63B
SÉTIMO	5,88B
OITAVO	8,88A

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

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

**Tabela 5.** Equações polinomiais referentes ao efeito das concentrações de cobre nas plântulas anormais de algodão.

	Equação polinomial de ordem 2	R <sup>2</sup>
Concentrações	$y = 9E-06x^2 + 0,01x + 1,875$	0,9753

Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

De acordo com o teste de variância, (teste de F), existe interação significativa entre os fatores dias e concentrações de cobre em relação à variável comprimento das raízes (tabela 6), indicando a existência de dependência entre os fatores (Apêndice C).

Através do desdobramento do efeito da interação, pela realização de nova análise de variância (teste de F), em que os níveis do fator concentrações de cobre foram comparados dentro dos níveis do fator dias (e vice-versa), foi possível observar que não existe efeito significativo para o fator dias dentro de cada concentração de cobre (Apêndice C).

No entanto, foi possível observar efeito significativo para o fator concentrações de cobre dentro de cada dia, isto é, no, quinto, sexto, sétimo e oitavo dia, sendo que este efeito pode ser observado através das estimativas das equações polinomiais de ordem 2 apresentadas na tabela 7, (Apêndice C).

Na tabela 6, pode-se observar que as concentrações de cobre afetaram negativamente o desenvolvimento das raízes das plântulas de algodão. O tratamento 0 (testemunha), se desenvolveu melhor, do primeiro (4,39 cm) ao quarto dia de avaliação, chegando a 5,6 cm de comprimento da raiz. Nos tratamentos com concentrações de cobre, os resultados obtidos foram menores que 2 cm para o tratamento 100 mg L<sup>-1</sup>, menor que 1,1 cm para o tratamento 200 mg L<sup>-1</sup> e menor que 0,9 cm para o tratamento com 300 mg L<sup>-1</sup>.

**Tabela 6.** Comprimento radicular de plântulas de algodão submetidas a diferentes concentrações de cobre e 4 dias de avaliações.

Dias Após a Germinação	mg L <sup>-1</sup> de cobre			
	0	100	200	300
QUINTO	4,39 *	1,58 *	0,95 *	0,63 *
SEXTO	5,33 *	1,80 *	1,09 *	0,87 *
SÉTIMO	5,16 *	1,09 *	1,05 *	0,86 *
OITAVO	5,56 *	0,87 *	0,86 *	0,63 *
	CV (A) = 8,0 %	CV (B) = 14,1%		

(\*) Não significativo (NS), entre cada tratamento, a 99% de confiança.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

**Tabela 7.** Equações polinomiais referentes ao efeito das concentrações de cobre no crescimento radicular (cm/plântula<sup>-1</sup>) de plântulas de algodão em 4 dias de avaliação.

Dias	Equação polinomial de ordem 2	R <sup>2</sup>
Quinto	$y = 2E-05x^2 - 0,0153x + 4,2912$	0,9800
Sexto	$y = 2E-05x^2 - 0,0194x + 5,2101$	0,9795
Sétimo	$y = 2E-05x^2 - 0,0196x + 5,0129$	0,9661
Oitavo	$y = 3E-05x^2 - 0,0228x + 5,3512$	0,9453

Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

Corroborando com os resultados encontrados, Silva (2019), observou que os efeitos tóxicos do cobre se pronunciaram com maior severidade no comprimento radicular em plântulas de trigo. Mariano-da-Silva et al. (2022), trabalhando com sementes de milho, demonstraram que a concentração de 200 mg L<sup>-1</sup> de cobre causou diminuição no tamanho das raízes das plântulas, inclusive entre a variável dias.

No entanto, Mello (2019), trabalhando com sementes de soja, observou que a concentração de 100 mg L<sup>-1</sup> de cobre, teve um efeito positivo em relação ao tamanho da raiz, apresentando aumento no tamanho das radículas quando comparada a testemunha. Provavelmente, para a cultura da soja, nesta concentração o cobre não apresentou toxicidade, o que poderia ocorrer se fossem utilizadas doses maiores do metal.

Mantovani (2009), relatou sintomas de toxidez nas plantas, tanto nas raízes quanto nas folhas, em solos com altas concentrações de cobre. Porém, segundo o autor, a magnitude dos sintomas depende do tipo de planta e de solo. O autor demonstrou que o cobre causa danos no crescimento radicular das plantas, afirmando que este é o principal dano ocasionado pelo excesso do elemento. Marsola et al. (2005) demonstrou ainda que é nas raízes o local onde ocorre maior acúmulo deste metal. Para Ambrosini et al. (2016) e Guimarães et al. (2016), as alterações que ocorrem nas raízes pelo efeito do cobre prejudicam o ápice destes tecidos, ocorrendo redução da coifa e maturação precoce dos tecidos. Os autores também observaram casos onde a coifa não estava presente nas raízes.

De acordo com o teste de variância, (teste de F), não existe interação significativa entre os fatores dias e concentrações de cobre em relação à variável tamanho da parte aérea. No entanto, foi possível observar efeito significativo para os fatores concentrações de cobre e

dias isoladamente, demonstrando que os efeitos entre estes fatores ocorrem de forma independente (Apêndice D).

A comparação de médias entre os níveis do fator dias é representada na tabela 8, enquanto que a comparação de médias entre os níveis do fator concentrações de cobre é representado através da estimativa da equação linear apresentado na tabela 9, (Apêndice D).

**Tabela 8.** Comprimento médio da parte aérea (cm plântula<sup>-1</sup>) mensurados durante os ensaios de germinação, de plântulas de algodão.

Dias	Tamanho da parte aérea
QUINTO	3,41B
SEXTO	4,65AB
SÉTIMO	5,10AB
OITAVO	5,46A

Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna, a 99% de confiança.  
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Assim como observado no presente trabalho, Ohse et al. (2000), trabalhando com arroz irrigado, observaram que o cobre não apresentou efeitos negativos em relação ao crescimento da parte aérea. Chaves et al. (2010), trabalhando com pinhão-mansão, observaram que os tratamentos com cobre não influenciaram, de forma significativa, na altura das plantas.

**Tabela 9.** Equação linear referente ao efeito das concentrações de cobre sobre o comprimento médio da parte aérea (cm plântula<sup>-1</sup>) de plântulas de algodão.

	Equação linear	R <sup>2</sup>
Concentrações	$y = -0,002x + 5,2583$	0,9829

Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

Por outro lado, Nascimento (2021), trabalhando com aveia preta, observou que concentrações a partir de 50mg/L de cobre causaram severa diminuição do comprimento da parte aérea das plântulas. Em estudos com trigo, Silva (2019), notou que houve uma diminuição gradativa do comprimento da parte aérea das plântulas de trigo com o aumento das concentrações de cobre.

A resistência aos metais pesados pode estar relacionada ao acúmulo do elemento tóxico nas raízes impedindo a sua translocação para a parte aérea (RUI, et al., 2015). Isto talvez ajude a explicar por que as concentrações testadas de cobre não influenciaram tanto o

comprimento da parte aérea. É claro que tal efeito varia de acordo com a cultura estudada, explicando porque em alguns trabalhos o efeito tóxico é encontrado.

De acordo com o teste de variância, (teste de F), existe interação significativa entre os fatores dias e concentrações de cobre em relação à variável massa seca de plântula (tabela 10), indicando a existência de dependência entre os fatores (Apêndice E).

Através do desdobramento do efeito da interação, pela realização de nova análise de variância (teste de F), em que os níveis do fator concentrações de cobre foram comparados dentro dos níveis do fator dias (e vice-versa), foi possível observar que não existe efeito significativo para o fator dias dentro de cada concentração de cobre (Apêndice E).

Observou-se efeito significativo para o fator concentrações de cobre dentro de cada dia, isto é, no quinto, sexto, sétimo e oitavo dia, sendo que este efeito pode ser observado através das estimativas das equações polinomiais de ordem 2 apresentadas na tabela 11, (Apêndice E).

**Tabela 10.** Peso (g) da massa seca de plântulas de algodão com diferentes concentrações de cobre.

Dias Após a Germinação	mg L <sup>-1</sup> de cobre			
	0	100	200	300
QUINTO	47,91*	42,76*	44,35*	21,67*
SEXTO	56,87*	47,13*	45,14*	23,15*
SÉTIMO	58,17*	44,55*	44,18*	21,78*
OITAVO	63,55*	42,29*	42,76*	22,78*
CV (A) = 2,7 %		CV (B) = 20,0%		

(\*) Não significativo (NS), dentro de cada tratamento, a 99% de confiança.  
Fonte:Elaborado pelo autor, 2022.

**Tabela 11.** Equação polinomial dos efeitos das concentrações de cobre em cada dia sobre a massa seca, de plântulas de algodão.

Dias	Equação polinomial de ordem 2	R <sup>2</sup>
Quinto	$y = -0,0001x^2 + 0,0271x + 46,362$	0,8861
Sexto	$y = -8E-05x^2 - 0,0057x + 55,486$	0,9366
Sétimo	$y = -5E-05x^2 - 0,0219x + 56,409$	0,9868
Oitavo	$y = -5E-05x^2 - 0,0219x + 56,409$	0,9088

Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

É possível observar que houve uma redução da massa seca (Tabela 10) de acordo com as diferentes concentrações de cobre testadas. O tratamento controle foi onde se obteve os maiores valores para cada dia de avaliação, com um decréscimo nos tratamentos com 100 e 200 mg L<sup>-1</sup> e uma queda considerável no tratamento com 300 mg L<sup>-1</sup>

Mantovani (2009), demonstrou que o uso continuado de sulfato de cobre em vinhedos, para o controle de doenças fúngicas promove o acúmulo de cobre na superfície dos solos prejudicando o desenvolvimento e a produção de massa seca das plantas de cobertura.

Luchese et al. (2004), observaram que a aplicação de concentrações de até 6,0g kg<sup>-1</sup> de cobre em de milho não afetaram a variável massa seca das em plântulas de milho.

Estes efeitos podem ser explicados pela alta toxidez apresentada, a qual prejudicou o desenvolvimento inicial das plântulas, reduzindo o crescimento do vegetal e consequentemente ocasionando um menor peso de massa seca.

## 6. CONCLUSÕES

Houve um decréscimo na porcentagem de germinação das sementes de algodão na concentração de  $300 \text{ mg/L}^{-1}$  de cobre, para o sexto, sétimo e oitavo dia de avaliação, o que demonstrou efeito tóxico do cobre na germinação do algodão.

O cobre não afetou a velocidade de germinação do algodão, pois não houve variação de dias médios para a germinação dos diferentes tratamentos com cobre.

Não existe interação significativa entre os fatores dias e concentrações de cobre em relação à variável porcentagem de plântulas anormais, indicando a inexistência de dependência entre os fatores. Os efeitos dos tratamentos ocorrem de forma independente.

O comprimento radicular das plântulas de algodão foi a variável mais afetada pelo tratamento com cobre, sendo a testemunha a que melhor se desenvolveu.

A variável parte aérea não apresentou interação significativa entre os fatores dias e concentrações de cobre. No entanto, foi possível observar efeito significativo para os fatores concentrações de cobre e dias isoladamente, demonstrando que os efeitos entre esses fatores ocorrem de forma independente.

Para a variável massa seca, o tratamento com  $300 \text{ mg L}^{-1}$ , causou um decréscimo considerável nos valores obtidos, quando comparado aos outros tratamentos com concentrações menores.

## REFERÊNCIAS

- ABRAPA, **Brasília: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão**, Relatório de Gestão - Biênio 2017-2028. Edição, 2018. p.480.
- ALAOUI-SOSSÉ, B. et al. **Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents**. Plant Science, v.166, 2004. p.1213-1218.
- AMBROSINI, V. G.; et al. **Impacto do excesso de cobre e zinco no solo sobre videiras e plantas de cobertura**. Embrapa Uva e Vinho-Capítulo em livro técnico, Capítulo 6, 2016.
- AMIPA - ASSOCIAÇÃO MINEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO (Minas Gerais). **SOBRE O ALGODÃO>HISTÓRIA**. Disponível em: <https://amipa.com.br/sobre-o-algodao/historia#:~:text=A%20hist%C3%B3ria%20do%20algod%C3%A3o%20remonta,at%C3%A9%20os%20dias%20de%20hoje>.
- AMPA - ASSOCIAÇÃO MATO-GROSSENSE DOS PRODUTORES DE ALGODÃO (Mato Grosso). **História do Algodão**. Disponível em: <https://ampa.com.br/historia-do-algodao/>.
- ARES, G.; GRANATO, D. **Mathematical and statistical methods in food science and technology**. Nova Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2014. 514p.
- BASSO, C J et al. **Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejetos líquidos de suínos**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 42, n. 4, 2012. p.653-659.
- BASSO, A. **Nutrição mineral e distribuição de cobre nas raízes de Aveia preta e videiras jovens em solo contaminado Submetido à calagem**. Dissertação da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de PósGraduação em Agroecossistemas. 2015. 82 p.
- BASTIANI, G G. **Toxidez por cobre e zinco na germinação de sementes e no desenvolvimento de trigo mourisco**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. Centro de ciências rurais. Programa de pós-graduação em agronomia. 2020. 77p.
- BELTRÃO, N. E. de M. **Fisiologia da Produção do Algodoeiro**. Embrapa Algodão, Campina Grande, v. 1, n. 94, ago. 2006. p. 1-8.
- BORGES, K. S. C. **Germinação e desenvolvimento inicial de plantas de cobertura e forrageiras em exposição a cádmio, cobre e chumbo**. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Manejo do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2015.
- BRASIL (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). **Regras para análise de sementes**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009. 399p.
- CAMBROLLÉ, J. et al. **Evaluating wild grapevine tolerance to copper toxicity**. Chemosphere, v. 120C, p. 171–178, 2014.
- CARVALHO, M C S. **Nutrição e Adubação do Algodoeiro com Micronutrientes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Campina Grande-PB, 2007. p17.

CHAVES, L H G et al. **Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-manso.** Revista Ciência Agronômica, v. 41, n. 2, 2010. p. 167-176.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos.** v.10 – safra 2022/23, N 4 – Quarto levantamento. Janeiro, 2023. p83.

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.

FURLANI JUNIOR, E.; et al. **Extração de macronutrientes e crescimento da cultivar IAC 22.** Cultura Agronômica, v.1, 2001. p.27-43.

GUIMARÃES, P. R.; et al. **Black oat (*Avena strigosa* Schreb.) growth and root anatomical changes in sandy soil with different copper and phosphorus concentrations.** Water, Air, & Soil Pollution, v. 227, n. 192, 2016. p. 1-10.

KO, K. S et al. **Evaluation of the toxic effects of arsenite, chromate, cadmium, and copper using a battery of four bioassays.** Environmental Biotechnology, v. 95, n. 5, 2012. p.1343-1350.

LEQUEUX, H. et al. **Response to copper excess in *Arabidopsis thaliana*: Impact on the root system architecture, hormone distribution, lignin accumulation and mineral profile.** Plant physiology and biochemistry, v. 48, n. 8, p. 673–82, 2010.

LI, L.; et al. **Advances in Cotton Tolerance to Heavy Metal Stress and Applications to Remediate Heavy Metal-Contaminated Farmland Soil.** Phytion-International Journal of Experimental Botany, 2021. 16p.

LUCHESE, A V et al.. **Emergência e absorção de cobre por plantas de milho (*Zea mays*) em resposta ao tratamento de sementes com cobre.** Ciência Rural, Santa Maria, v.34, n.6, 2004. p.1949-1952.

MAGUIRE, J. D. **Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor.** Crop Science, Madison, v. 2, n. 1, jan./feb. 1962. 176-177p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: Potafos, 1997. p.319.

MANTOVANI, A. **Composição química de solos contaminados por cobre: formas, sorção e efeito no desenvolvimento de espécies vegetais.** 178 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº 25, de 16 de dezembro de 2005: Padrões para produção e comercialização de sementes de algodão.** Disponível em: <http://www.abrasem.com.br/wp-content/uploads/2012/10/Instru%C3%A7%C3%A3o-Normativa-n%C2%BA-25-de-16-de-dezembro-de-2005-Padr%C3%B5es-Nacionais-de-Sementes.pdf>

MARIANO-da-SILVA, S.; et al. **Seed germination and seedling growth of ze mays under various concentration of copper.** Journal of Agricultural Sciences Research. v. 2, n. 13, 2022. 9p.

MARSOLA, Tatiana; MIYAZAWA, Mario; PAVAN, Marcos A. **Acumulação de cobre e zinco em tecidos do feijoeiro em relação com o extraído do solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, n. 1, p. 92-98, 2005.

MATTIAS, J. L. **Metais pesados em solos sob aplicação de dejetos líquidos de suínos em duas microbacias hidrográficas de Santa Catarina.** 163 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MELLO, A R. **Germinação de sementes e crescimento de plântulas de soja submetidas à diferentes concentrações de cobre.** Chapecó: Universidade Federal da Fronteira Sul, 2019, 33p.

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.

NOGUEIRA JÚNIOR, S; BARBOSA, M Z. **O papel da pesquisa e a importância do cerrado para a reorganização da cotonicultura brasileira.** Agricultura em São Paulo, São Paulo, v. 52, n. 2, jul./dez. 2005. p. 87-98.

OHSE, S.; et al. . **Germinação e vigor de sementes de arroz irrigado tratadas com zinco, boro e cobre.** Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia (PUCRS. Uruguaiana), Uruguaiana, v. 7, n.1, 2000. p. 75-81.

PEREIRA, N. M. Z. **Nutrição e Desenvolvimento do Trigo em Função de Doses de Mn e Cu e Efeitos Residuais para a Soja.** 65f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós- Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

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

RUI, H. et al. **Cd-induced oxidative stress and lignification in the roots of two *Vicia sativa* L. varieties with different Cd tolerances.** Journal of Hazardous Materials, v. 15, 2015. p.30045-30050.

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. p.112.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T; AITA, C. **Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante.** Boletim Técnico da EMBRAPA/EPAGRI, Florianópolis, v. 79, 1996. p. 01-46.

SEVERINO, L. S.; et al. **SÉRIE DESAFIOS DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO (NT3) Produto: ALGODÃO.** Parte 01: Caracterização e Desafios Tecnológicos. EMBRAPA, maio de 2019. p.29. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1109655>. Acesso em: 12 de agosto de 2022.

SILVA, G A. **Germinação e crescimento de plântulas de trigo submetidas à diferentes concentrações de cobre.** Chapecó: Universidade Federal da Fronteira Sul, 2019. p.32.

STAUT, L.A. **Fertilização fosfatada e potássica nas características agronômicas e tecnológicas do algodoeiro na região de Dourados, MS.** Jaboticabal. 124 f. Dissertação

(Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.1996.

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.

ZANCAN, L. R. V. D. **Germinação de sementes e crescimento de plântulas de algodão sob diferentes concentrações de zinco**. Chapecó: Universidade Federal da Fronteira Sul, 2021. p.26.

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

ZORTÉA, T.; et al. **Toxicidade do cobre em função da correção do pH em dois solos naturais – Uma abordagem com plantas e organismos edáficos**. Revista Scientia Agrária. Versão On-line ISSN 1983-2443 Versão Impressa ISSN 1519-1125 SA vol. 17 n° 1 Curitiba jan/mar. 2016. p. 1-9.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – Quadro de análise de variância (% de germinação).

ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F						
CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3	12,188				
DOSES DE COBRE	3	573,688	191,2	27,08	6,99	F(0,01;3;9)
PARCELAS	9	649,438				
RESÍDUO (A)	15	63,563	7,063			
DIAS	3	143,188	47,729	5,90	4,39	F(0,01;3;36)
Cu X DIAS	9	259,563	28,840	3,56	2,96	F(0,01;9;36)
RESÍDUO B	36	291,250	8,090			
TOTAL	63	1343,438				

DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DOSES Cu						
CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3					
DIAS	3					
DOSES(QUINTO DIA)	3	5,000	1,667	0,21	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(SEXTO DIA)	3	322,750	107,583	13,30	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(SÉTIMO DIA)	3	154,750	51,583	6,38	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(OITAVO DIA)	3	350,750	116,917	14,45	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(DIAS)	12	833,250				
RESÍDUO	15	291,250	8,090			
TOTAL						

DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DIAS						
CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3					
DIAS	3					
DIAS(DOSE ZERO)	3	20,750	6,917	4,15	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSE 100)	3	33,000	11,000	6,60	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSE 200)	3	125,000	41,667	25,00	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSE 300)	3	224,000	74,667	44,80	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSES)	12	402,750				
RESÍDUO	3	63,563	1,667			
TOTAL						

**APÊNDICE B – Quadro de análise de variância (plântulas anormais).**

ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F						
CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3	19,250				
DOSES DE COBRE	3	810,250	270,1	39,05	6,99	F(0,01;3;9)
PARCELAS	9	891,750				
RESÍDUO (A)	15	62,250	6,917			
DIAS	3	174,750	58,250	12,59	4,39	F(0,01;3;36)
Cu X DIAS	9	92,750	10,306	2,23	2,96	F(0,01;9;36)
RESÍDUO B	36	166,500	4,625			
TOTAL	63	1325,750				

**APÊNDICE C – Quadro de análise de variância (comprimento radicular).**

ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F						
CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3	0,037				
DOSES DE COBRE	3	198,420	66,140	1320,43	6,99	F(0,01;3;9)
PARCELAS	9	198,908				
RESÍDUO (A)	15	0,451	0,050			
DIAS	3	1,243	0,414	17,57	4,39	F(0,01;3;36)
Cu X DIAS	9	2,957	0,329	13,93	2,96	F(0,01;9;36)
RESÍDUO B	36	0,849	0,024			
<b>TOTAL</b>	<b>63</b>	<b>203,956</b>				

DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DOSES Cu						
CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	

BLOCOS	3					
DIAS	3					
DOSES(QUINTO DIA)	3	72,750	24,250	5,24	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(SEXTO DIA)	3	254,750	84,917	18,36	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(SÉTIMO DIA)	3	194,750	64,917	14,04	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(OITAVO DIA)	3	380,750	126,917	27,44	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(DIAS)	12	903,000				
RESÍDUO	15	166,500	4,625			
<b>TOTAL</b>						

DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DIAS						
CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	

BLOCOS	3					
DIAS	3					
DIAS(DOSE ZERO)	3	2,750	0,917	0,04	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSE 100)	3	22,000	7,333	0,30	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSE 200)	3	128,750	42,917	1,77	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSE 300)	3	114,000	38,000	1,57	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSES)	12	267,500				
RESÍDUO	3	62,250	24,250			
<b>TOTAL</b>						

**APÊNDICE D – Quadros de análise de variância (comp. da parte aérea).**

ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F						
CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3	0,469				
DOSES DE COBRE	3	13,319	4,440	80,28	6,99	F(0,01;3;9)
PARCELAS	9	14,286				
RESÍDUO (A)	15	0,498	0,055			
DIAS	3	38,337	12,779	103,06	4,39	F(0,01;3;36)
Cu X DIAS	9	1,416	0,157	1,27	2,96	F(0,01;9;36)
RESÍDUO B	36	4,464	0,124			
<b>TOTAL</b>	<b>63</b>	<b>58,503</b>				

**APÊNDICE E – Quadros de análise de variância (massa seca plântula).**

ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F						
CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3	10,43312				
DOSES DE COBRE	3	9748,77788	3249,59263	1393,56	6,99	F(0,01;3;9)
PARCELAS	9	9780,19785				
RESÍDUO (A)	15	20,98685	2,33187			
DIAS	3	156,07748	52,02583	26,89	4,39	F(0,01;3;36)
Cu X DIAS	9	425,38082	47,26454	24,43	2,96	F(0,01;9;36)
RESIDUO B	36	69,66221	1,93506			
TOTAL	63	10431,318				

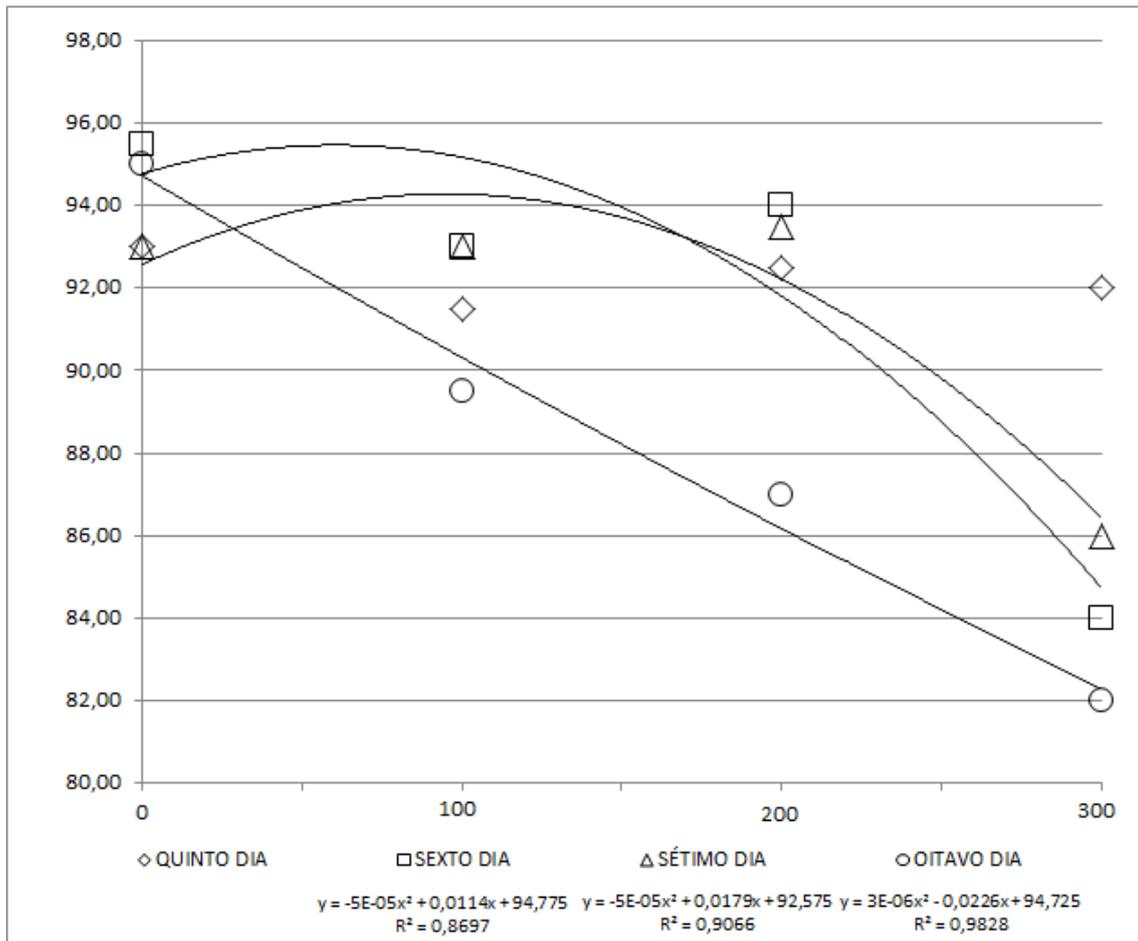
DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DOSES Cu						
CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	

BLOCOS	3					
DIAS	3					
DOSES(QUINTO DIA)	3	1688,666	562,889	290,89	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(SEXTO DIA)	3	2433,176	811,059	419,14	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(SÉTIMO DIA)	3	2725,447	908,482	469,48	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(OITAVO DIA)	3	3326,870	1108,957	573,09	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(DIAS)	12	10174,159				
RESIDUO	15	69,662	1,935			
TOTAL						

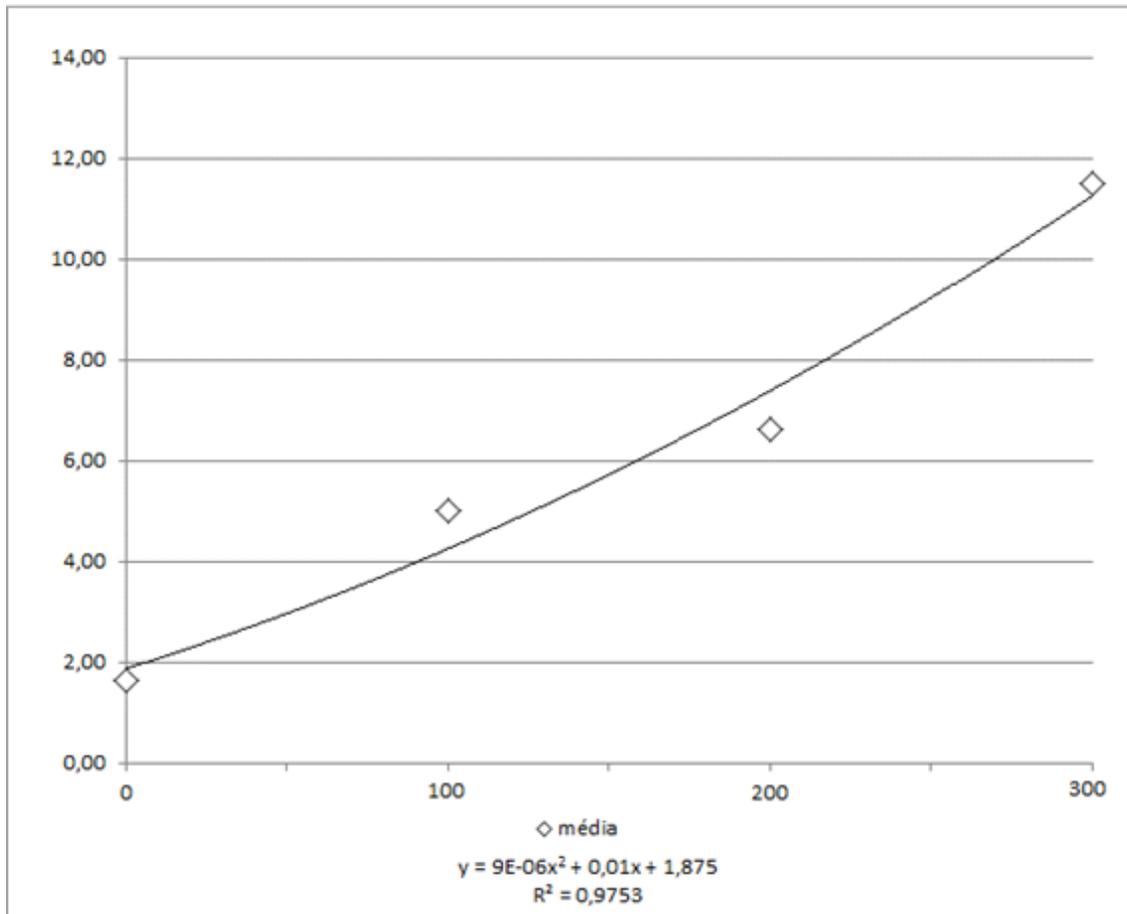
DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DIAS						
CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	

BLOCOS	3					
DIAS	3					
DIAS(DOSE ZERO)	3	505,516	168,505	0,30	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSE 100)	3	57,733	19,244	0,03	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSE 200)	3	11,827	3,942	0,01	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSE 300)	3	6,382	2,127	0,00	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSES)	12	581,458				
RESIDUO	3	20,987	562,889			
TOTAL						

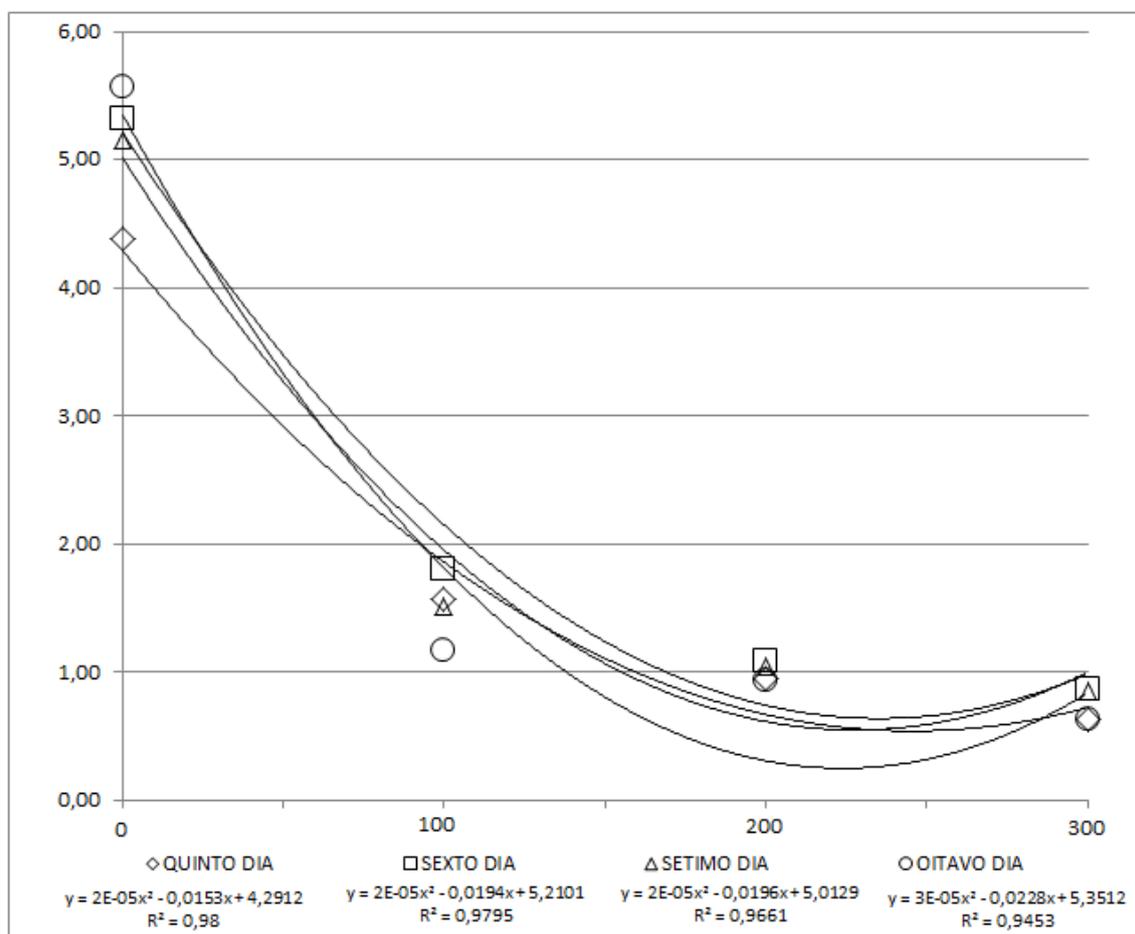
**APÊNDICE F** – Equações polinomiais de segundo grau referente às doses de cobre sobre a taxa de germinação.

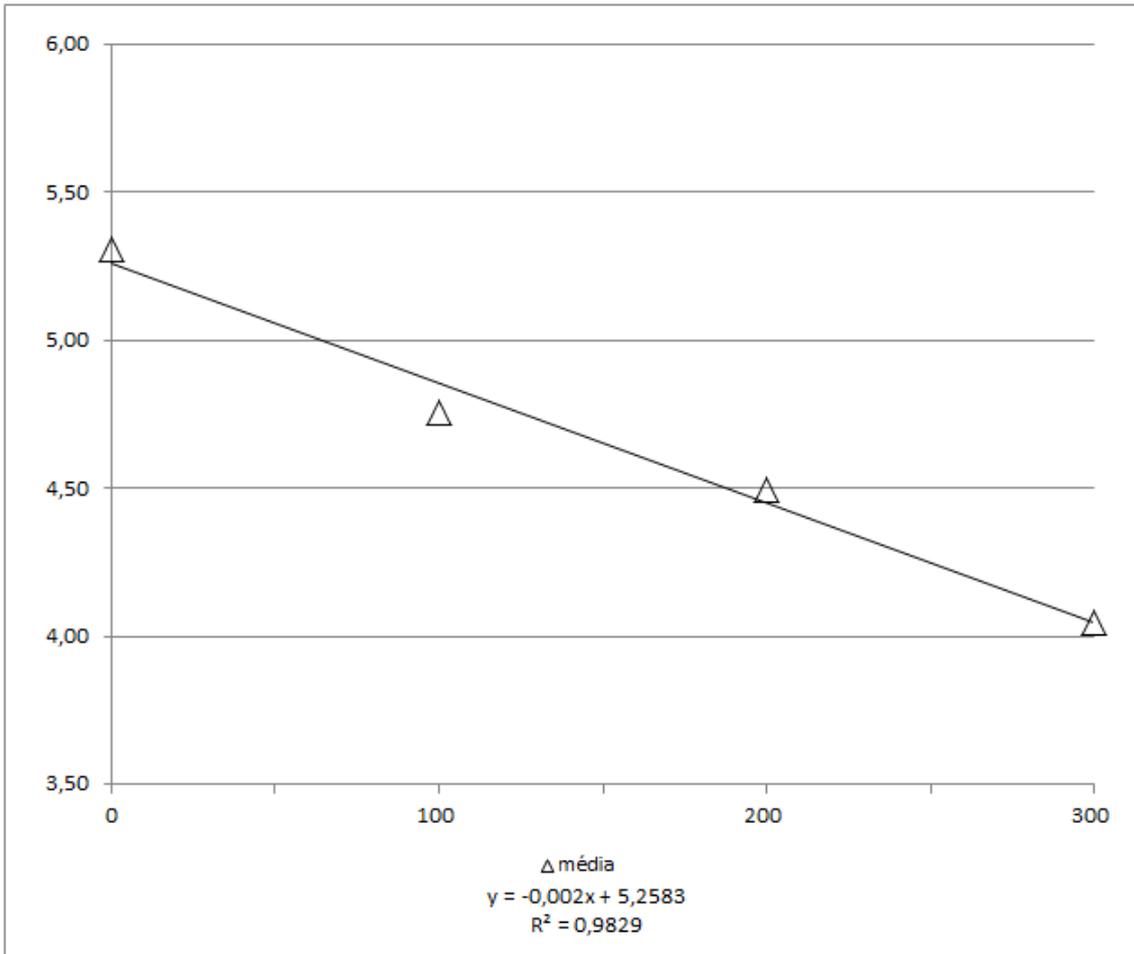


**APÊNDICE G** – Equações polinomiais de segundo grau referente às doses de cobre sobre a % de plântulas anormais.



**APÊNDICE H** – Equações polinomiais de segundo grau referente às doses de cobre sobre o tamanho da raiz.



**APÊNDICE I** – Equação linear referente às doses de cobre sobre o tamanho da parte aérea.

**APÊNDICE J** – Equações polinomiais de segundo grau referente às doses de cobre sobre a matéria seca plântula.

