



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL - CAMPUS CHAPECÓ - SC

CURSO DE AGRONOMIA

LUCAS MARIEL SCHMIDT DOS SANTOS

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE AVEIA
PRETA (*Avena strigosa*) SOB CONCENTRAÇÕES DE CÁDMIO**

CHAPECÓ

2022

LUCAS MARIEL SCHMIDT DOS SANTOS

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE AVEIA
PRETA (*Avena strigosa*) SOB CONCENTRAÇÕES DE CÁDMIO**

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

Orientador: Prof. Dr. Samuel Mariano Gislon da Silva

CHAPECÓ

2022

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Santos, Lucas Mariel Schmidt dos
GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE
AVEIA PRETA (*Avena strigosa*) SOB CONCENTRAÇÕES DE CÁDMIO
/ Lucas Mariel Schmidt dos Santos. -- 2022.
39 f.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Mariano Gislon da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Chapecó, SC, 2022.

1. fitotoxicidade, contaminação, metais pesados,
resíduos. I. Silva, Samuel Mariano Gislon da, orient.
II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

LUCAS MARIEL SCHMIDT DOS SANTOS

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE
PLÂNTULAS DE AVEIA PRETA (*Avena strigosa*) SOB
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 12/08/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Samuel Mariano Gislon da Silva – UFFS
Orientador

Prof. Dr^a. Fabiana Maria de Siqueira Mariano da Silva – UFFS
Avaliadora

Prof. Dr. Siumar Pedro Tironi– UFFS
Avaliador

RESUMO

Ao considerar o uso agrícola de resíduos, fertilizantes, o cádmio e outros metais são encontrados em concentrações significativas sendo importante avaliar seu comportamento em solos e plantas, sendo que a aveia tem sido usada como modelo em muitos estudos de poluição. Para tal, foi executado um ensaio de germinação sob esquema de parcelas subdivididas no tempo em delineamento experimental blocos ao acaso (DBC), as sementes foram divididas em 4 lotes de 16 repetições de 50 sementes e cada repetição semeada 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 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 0,0, 25,0, 50,0 e 100,0 mg L^{-1} , gerando quatro diferentes tratamentos. Os rolos de papel foram mantidos em germinador sob iluminação e temperatura constante de 25°C , sendo as avaliações (vigor e viabilidade das sementes, velocidade de germinação e avaliação do crescimento) realizadas em 4 repetições de cada tratamento no quarto, quinto, sexto e sétimo dia após a semeadura. O cádmio não afetou a germinação da aveia, mas foi possível observar diferença significativa entre a testemunha e a maior concentração (100 mg/L Cd) nos comprimentos de parte aérea e raiz. A testemunha, que não continha cádmio foi a que apresentou melhor desempenho, o que mostra que o metal é prejudicial ao desenvolvimento da aveia preta.

Palavra-chave: fitotoxicidade, contaminação, metais pesados, resíduos

ABSTRACT

When considering the use of residue agricultural products and fertilizers, cadmium and other metals are found in considerable concentrations, which makes it relevant to evaluate their behavior when applied to soil and plants. Considering that oat has been widely used in pollution analysis studies. In order to achieve such objectives, a germination test was conducted under a time split-plot and the experimental design was random blocks (DBC), the seeds of each culture were divided in 4 blocks of 16 repetitions of 50 seeds and each repetition was seeded in a Germitest paper substrate, which was previously moistened with a water volume which was 2,5 times greater than the weight of the Germitest paper. The water used in the imbibition of the 4 blocks received different concentrations of cadmium chloride (CdCl_2), in order for the final cadmium concentrations to be 0,0, 25,0, 50,0 e 100,0 mg L⁻¹, which generates four different treatments. The paper rolls were kept in a germinator under illumination and a constant 25°C temperature, and the evaluations (vigor and viability of seeds, germination speed and growth evaluation) were done in 4 repetitions of each treatment in the fourth, fifth, sixth and seventh days after the seeding. The cadmium didn't affect the oat's germination process; however, it was possible to observe a significant difference in the lengths of the aerial part and root between the zero sample (without cadmium addition) and the biggest concentration sample (100mg/L Cd). The zero sample was the one that exhibited a better performance in all of the evaluated criteria, showing that the metal is harmful to the black oat's development.

Keywords: phytotoxicity; contamination; heavy metals; residues.

Lista de ilustrações

Figura 1 Esquema resumido do ensaio de Semeadura	20
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios de germinação das sementes de aveia preta (%) submetidas a diferentes doses de cádmio em diferentes épocas de avaliação.	22
Tabela 2. Avaliação da germinação da aveia em porcentagem (%) média de plântulas normais.....	23
Tabela 3. Equação polinomial referente ao efeito das doses de cádmio sobre a %de germinação da aveia.....	23
Tabela 4. Índice de velocidade de germinação.	23
Tabela 5. Comprimento das raízes (cm plântula-1) mensurados durante os ensaios de germinação da aveia, em função das doses de cádmio.....	24
Tabela 6. Equações polinomiais referentes ao efeito das doses de cádmio sobre o crescimento radicular (cm plântula-1) de plântulas de aveia em quatro dias de avaliação.	25
Tabela 7. Comprimento da parte aérea (cm plântula-1) mensurados durante os ensaios de germinação.....	27
Tabela 8. Equações polinomiais de 2º grau referentes ao efeito das doses de cádmio sobre o tamanho da parte aérea.	27

Sumário

1 INTRODUÇÃO	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
4 MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1 OBTENÇÃO DAS SEMENTES	19
4.2 ENSAIO DE GERMINAÇÃO.....	19
4.3 VIGOR E VIABILIDADE DAS SEMENTES.....	21
4.4 AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO	21
5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	21
6 RESULTADO E DISCUSSÃO	21
7 CONCLUSÃO.....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
APÊNDICES.....	34
APÊNDICE A – Quadro de análise de variância (% de germinação)	34
APÊNDICE B – Quadro de análise de variância (comprimento radicular)	35
APÊNDICE C – Quadros de análise de variância (comp da parte aérea)	36
APÊNDICE D – equações polinomiais de segundo grau referente às doses de cádmio sobre a taxa de germinação.	37
APÊNDICE E – Equações polinomiais de segundo grau referente às doses de cádmio sobre o tamanho da raiz	38

1 INTRODUÇÃO

O alto potencial agrícola brasileiro pode ser observado nos dados do Ministério da Agricultura, onde entre outros parâmetros, o país é o segundo maior produtor de aveia no período de inverno (CONAB, 2020).

A aveia preta é uma gramínea de clima temperado que podem ser cultivadas em diferentes condições climáticas, é utilizada na alimentação animal através de forragem para pastejo, feno, silagem, cobertura do solo, adubação verde (PRIMAVESI, 2000).

A aveia-preta é recomendada para a rotação de culturas em semeadura direta no Sul do Brasil, em razão do seu abundante sistema radicular e alta produção de matéria seca da parte aérea, o que lhe assegura uma adequada cobertura do solo (Araújo & Rodrigues, 2000). Além disso a aveia contribui com a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e apresenta lenta decomposição da sua palhada devido à alta relação C/N e aos elevados teores de lignina, que aumentam com o desenvolvimento da cultura.

Na produção de suínos, o peso acumulado das carcaças no primeiro trimestre de 2022 alcançou 1,24 milhão de toneladas, representando aumento de 6,8% em relação ao mesmo período de 2021. (IBGE,2022)

Apesar da suinocultura no Brasil ser de grande importância econômica, esta é uma atividade problemática, pois os resíduos produzidos por estes animais contêm muitos metais pesados. O uso regular destes resíduos, como fertilizante, pode aumentar a quantidade total de cobre, zinco, cádmio, ferro e manganês nos solos onde são aplicados (MATTIAS, 2006). Gonçalves (2008), demonstrou que o esterco suíno é resultado de uma mistura de urina, água de lavagem das baias, restos de comida, poeira e pelos de animais, desperdício de água de poços, entre outros componentes.

No entanto, não é apenas o dejetos de suínos que é responsável pelo acúmulo de metais no solo, pois o uso de defensivos, fungicidas, fertilizantes e processos de preparo do solo (como o de fosfatos simples, triplos e/ou termofosfatos) são práticas

comuns. Em nosso país, pretende-se aumentar a produção, esquecendo-se que tais ações serão muito perigosas em um futuro próximo, devido à concentração de metais pesados presentes nos compostos (FREITAS, 2009). Os metais pesados, são conhecidos como elementos traços, (por serem encontrados naturalmente no ambiente em baixas concentrações), como o cobre, cobalto, zinco, selênio são necessários para as plantas. Já outros como o chumbo e o cádmio não estão presentes em nenhum ser vivo naturalmente, sendo considerados tóxicos mesmo em baixíssimas concentrações. 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).

Além de ser encontrado naturalmente devido ao desgaste das rochas, o cádmio no solo pode ser resultado de ações do homem. Agroquímicos e fertilizantes fosfatados, quando usados em excesso, se tornam fontes de contaminação do metal no solo (ALLOWAY, 1995 apud BASSO, 2012). Adubos orgânicos também podem ser fonte de contaminação, como o de uso de dejetos suínos, por exemplo, que podem apresentar resíduos de cádmio resultantes da alimentação e medicação dos animais (BASSO, 2012).

Segundo (GUIMARÃES, 2008), a toxidez de cádmio em plantas pode causar distúrbios enzimáticos, pois o alvo do metal são principalmente enzimas e proteínas. Algumas enzimas são compostas por metais o que facilita a substituição de algum pelo cádmio, afetando na atividade. Além disso o metal pode interferir em processos essenciais da planta como a germinação e a fotossíntese

Devido a este cenário amplo da entrada de metais nas lavouras brasileiras é necessário entender os verdadeiros efeitos destes componentes em uma das culturas de maior importância no inverno, a aveia. O presente trabalho apresenta os dados de vigor e viabilidade, velocidade de germinação e a avaliação de crescimento das plântulas de aveia (*Avena strigosa*), submetidas a concentrações tóxicas e subtóxicas de cádmio.

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o efeito do cádmio sob a germinação e o desenvolvimento das plântulas de aveia preta em diferentes concentrações de cádmio.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar os efeitos das doses de cádmio sobre a germinação das sementes de aveia preta;

Avaliar os efeitos das doses de cádmio sobre o crescimento da parte aérea da aveia preta;

Avaliar os efeitos das doses de cádmio sobre o crescimento das raízes da aveia preta.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A toxicidade de um metal e sua disponibilidade está relacionada a uma série de fatores, incluindo a forma química em que é encontrado no meio ambiente, a forma como o metal é absorvido pelos organismos e sua capacidade de biotransformação em subprodutos que são mais ou menos tóxicos e que podem bioacumular (RUPPENTHAL 2013).

O cádmio tem sido identificado como potencial causador de doenças como câncer, insuficiência renal, disfunção digestiva, problemas pulmonares e pneumonia (RUPPENTHAL, 2013). Considerando que o termo metal pesado é frequentemente associado à toxicidade e poluição, recomenda-se distinguir entre elementos essenciais como cobre, zinco, cobalto, selênio, ferro, manganês, molibdênio, etc., daqueles elementos que não são essenciais e tóxicos ao meio ambiente, como chumbo, cádmio, mercúrio e arsênio, embora sejam todos classificados como metais pesados (OLIVEIRA, 2008). Segundo VOLESKY (1990), a poluição ou contaminação de solos agrícolas com metais pesados preocupa quando se considera a possibilidade de transferência dos mesmos do solo para a cadeia alimentar do homem

Muitos desses metais, como cobalto, zinco, cobre e níquel, são essenciais para o crescimento eucariótico e/ou procariótico e são requeridos em concentrações muito baixas. No entanto, outros elementos, como o cádmio, não são essenciais para o crescimento celular e são extremamente tóxicos mesmo em baixas concentrações (VOLESKY, 1990).

Este metal tende a se mover através do solo e, portanto, está mais prontamente disponível para as plantas. O cádmio é prontamente absorvido pelas raízes e transferido para a parte aérea através do xilema através da transpiração da planta. (BIZARRO, 2007). Segundo TOPPI e GABRIELLI (1999), este metal tem efeitos fitotóxicos e pode limitar a produção por reduzir a absorção de nutrientes.

O cádmio é um metal mole e altamente tóxico que possui uma coloração cinza prateada metálica. Sendo um elemento químico, é representado pelo símbolo cádmio Cd, possui número atômico 48, massa atômica de 112,411g. O cádmio

presente no meio ambiente, em sua grande maioria, vem de adubos fosfatados e da extração de zinco, cobre e chumbo (BRADY & HUMISTON, 1986).

A toxidez de cádmio em plantas pode causar distúrbios enzimáticos, pois o alvo do metal são principalmente enzimas e proteínas. Algumas enzimas são compostas por metais o que facilita a substituição de algum desses metais com o cádmio, afetando a atividade da enzima. Além disso o metal pode interferir em processos essenciais da planta como a germinação e a fotossíntese (GUIMARÃES, 2008).

O cádmio é um metal pesado não essencial. Sua fitotoxicidade tem impacto negativo nas plantas, retardando várias atividades fisiológicas, morfológicas, bioquímicas e moleculares das espécies vegetais. São 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 (JALI & DAS, 2016).

Gonçalves (2008) revelou em seu trabalho que nas partes aéreas e raízes das plantas de *Avena strigosa*, o acúmulo de cádmio foi causado pela aplicação de fertilizante fosfatado em amostras de Nitossolo vermelho. O autor demonstra que o cádmio está presente em fertilizantes fosfatados e é biodisponível porque, embora não detectado no solo, é encontrado na maior parte das plantas de aveia preta.

Sintomas de toxicidade por metais pesados têm sido amplamente estudados em diversas espécies de plantas e sob diferentes condições (TOPPI & GABRIELLI, 1999). Os efeitos pronunciados da exposição a altas doses de metais pesados são frequentemente descritos como severa redução no crescimento, clorose e atrofia foliar (CUNHA, 2008). Em uma economia globalizada e altamente competitiva, toda a cadeia produtiva busca constantemente melhorar a produtividade agrícola. Principalmente de agricultores que visam a máxima produtividade com o menor custo de produção.

A aveia preta (*Avena strigosa*) é uma gramínea que resiste bem a solos pobres e a baixas temperaturas, com grande importância nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, podendo ser utilizada consorciada para cobertura do solo ou como

forragem, constituindo-se em um dos principais bancos de proteína para o gado no período de entressafra (Vilela, 2007).

A aveia preta pertencente à família Poaceae, as espécies de aveia são de clima temperado, podendo ser cultivadas em diferentes condições climáticas (FLOSS, 1988). Possui importante papel na produção de grãos, sendo uma excelente alternativa para o cultivo de inverno e para sistemas de rotação de culturas, inserida conforme a necessidade dos produtores.

As áreas destinadas à produção de sementes de aveia preta são normalmente pastagens utilizadas por um determinado período, sendo que após a retirada dos animais, produzem sementes a partir do rebrote; conseqüentemente apresentam baixa produtividade e qualidade de sementes (Souza, 2005).

É uma espécie rústica que se adapta bem nos estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, São Paulo e no Mato Grosso do Sul. Possui grande capacidade de perfilhamento e sementes menores, quando comparadas às da aveia branca, porém os grãos não são usados na alimentação humana (MACHADO, 2000).

Diante do potencial de uso desta forrageira este trabalho tem por objetivo avaliar a germinação de sementes e crescimento de plântulas de aveia (*Avena strigosa*) submetidas a concentrações tóxicas e subtóxicas de cádmio

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 OBTENÇÃO DAS SEMENTES

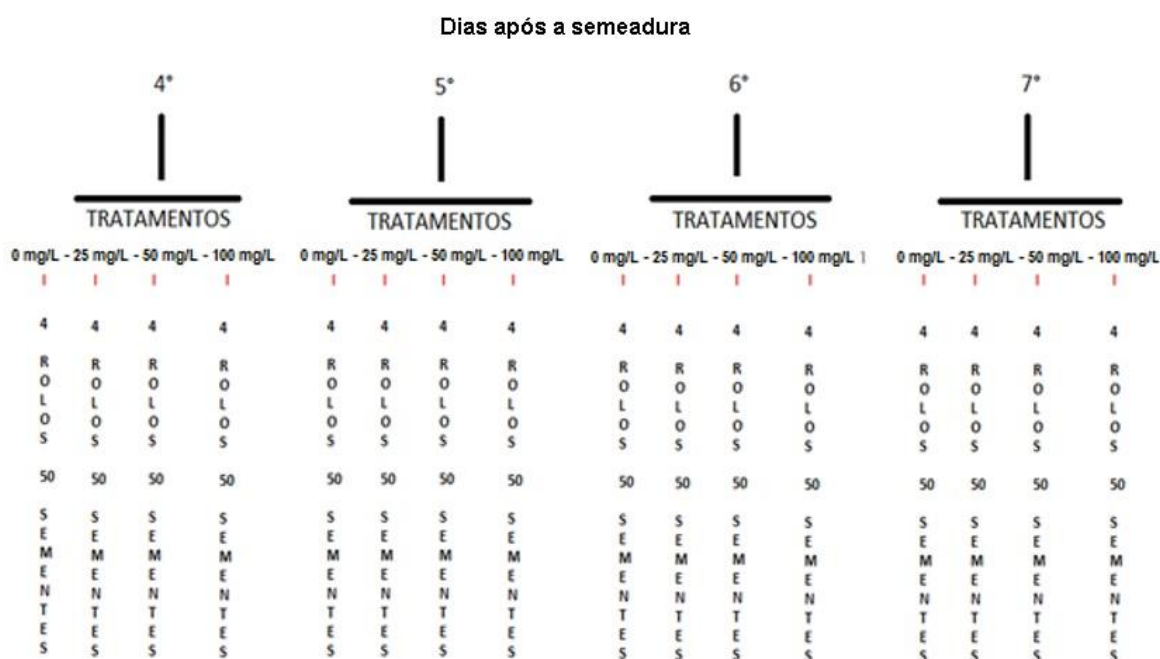
O experimento foi conduzido com sementes de *Avena strigosa* Schreb obtidas em uma Agropecuária no município de Passos Maia/SC, na safra de 2021, a cultivar utilizada foi a Embrapa 139, com taxa de germinação mínima de 80% e pureza mínima de 96%.

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 cloreto de cádmio (CdCl₂), de maneira que as concentrações finais de cádmio fossem 0,0, 25,0, 50,0 e 100,0 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, 2011), sendo as avaliações realizadas em 4 repetições, retiradas de forma aleatória do germinador no quarto, quinto, sexto e sétimo dia após a semeadura. Tal esquema pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 Esquema resumido do ensaio de Semeadura



Fonte: Adaptado de NASCIMENTO, 2021.

4.3 VIGOR E VIABILIDADE DAS SEMENTES

As avaliações da germinação foram realizadas no quarto, quinto, sexto e sétimo dia após a semeadura, eliminando-se as plântulas anormais e sementes duras e mortas, sendo os dados convertidos para porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009; SÁ, 2011).

4.4 AVALIAÇÃO DE CRESCIMENTO

A avaliação do crescimento foi realizada no quarto, quinto, sexto e sétimo 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⁻¹ (BRASIL, 2009; SÁ, 2011).

5 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 99% de confiança (PIMENTEL-GOMES, 2000; ZIMMERMANN, 2004).

6 RESULTADO E DISCUSSÃO

De acordo com o teste de variância, (teste de F), não existe interação significativa entre os fatores época de avaliação e doses de cádmio em relação à variável taxa de germinação da aveia (tabela 1), indicando a existência de dependência entre os fatores. 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 época de avaliação é representada na tabela 2, enquanto que a comparação de médias entre os níveis do fator doses de cádmio é representado através da estimativa da equação linear apresentado na tabela 3.

Tabela 1. Valores médios de germinação das sementes de aveia preta (%) submetidas a diferentes doses de cádmio em diferentes épocas de avaliação.

Dias após a Germinação	mg L ⁻¹ de cádmio			
	0	25	50	100
QUARTO	84,85	84,05	83,63	83,24
QUINTO	85,61	84,70	84,00	83,88
SEXTO	86,39	85,13	84,55	84,47
SÉTIMO	87,02	85,91	85,04	85,22
		CV (A) = 0,5%	CV (B) = 1,6 %	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A germinação é uma das fases mais importantes da vida das plantas, sendo um processo sensível a elementos-traço comparando com outros estágios do desenvolvimento da planta. Portanto, O teste mais amplamente utilizado para a toxicidade do metal é o teste de germinação das sementes (KAPUSTKA e REPORTER, 1993; MUNZUROGLU e GECKIL, 2002). A avaliação da germinação também pode ser útil na seleção de gramíneas para fitorremediação, entretanto, poucas são as informações sobre como elas são afetadas na presença de altas concentrações de elementos-traço (MADEJON, 2015). Diferentes elementos-traço em diferentes doses possibilitam diferentes graus de toxicidade podendo ou não inibir a germinação (KRANNER & COLVILLE, 2011). Na tabela 1 é possível ter essa análise com detalhes.

O efeito de elementos-traço como cádmio, na germinação das sementes depende da capacidade de atingir os tecidos embrionários através das barreiras fisiológicas, como os do revestimento das sementes (AKINCI & AKINCI 2010, KO, 2012), no entanto, no presente estudo não se verificou efeito supressor do cádmio em avanço ao parâmetro germinação nas concentrações de cádmio testados.

Este comportamento, talvez possa ser explicado pelo fato de que, durante a germinação, a planta utiliza as reservas do endosperma, sendo estas não afetadas pelo metal, (Taiz; Ziger, 2004).

Tabela 2. Avaliação da germinação da aveia em porcentagem (%) média de plântulas normais.

Dias	% Germinação
QUARTO	83,94b
QUINTO	84,55ab
SEXTO	85,14ab
SÉTIMO	85,80 ^a

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

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 3. Equação polinomial referente ao efeito das doses de cádmio sobre a %de germinação da aveia

	Equação polinomial de ordem 2	R ²
Doses	$y = 0,0015x^2 - 0,2363x + 84,808$	0,9851

Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

Durante todo esse processo o cádmio demonstra claramente sua toxidez no comportamento polinomial da porcentagem.

Investigações adicionais sobre os sintomas e efeitos de toxicidade do estresse por cádmio revelaram que o efeito tóxico do cádmio na fotossíntese tem um papel significativo na diminuição do crescimento das plantas sob estresse por cádmio (Sebastian & Prasad, 2015)

O índice de velocidade de germinação para cada concentração de cádmio não variou ao longo dos tratamentos,

O índice de velocidade de germinação pode ser observado na tabela 4.

Tabela 4. Índice de velocidade de germinação.

	mg L ⁻¹ de cádmio			
	0,0	25	50	100
	27,23	26,91	26,72	26,67

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022

Nos grupos de experimentos, a análise de variância não indicou diferença significativas em relação a fonte de variação doses de cádmio em relação à variável germinação, porém não em relação às variáveis tamanho da raiz e da parte aérea.

De acordo com o teste de variância, (teste de F), existe interação significativa entre os fatores dias e doses de cádmio em relação à variável comprimento das raízes (tabela 5), indicando a existência de dependência entre os fatores.

Vários testes relatam que as alterações no sistema de defesa antioxidante causadas pela exposição ao cádmio são reguladas por vários genes (HONG, 2017). O sistema de defesa antioxidante também remove os radicais livres, protegendo a estrutura da planta e suas funções (Chen, 2010)

Observa-se o efeito significativo para o fator dias dentro de cada dose de cádmio nas doses 0,0, 25, 50 e 100 mg L⁻¹, sendo que a comparação de médias entre os níveis deste fator é representada na tabela 5, sendo que este efeito pode ser observado através das estimativas das equações polinomiais de ordem 2 apresentadas na tabela 6.

Tabela 5. Comprimento das raízes (cm plantula-1) mensurados durante os ensaios de germinação da aveia, em função das doses de cádmio.

Dias após a Germinação	mg L ⁻¹ de cádmio			
	0	25	50	100
QUARTO	2,92d	1,35c	0,75b	0,44b
QUINTO	4,66c	1,72ab	1,12ab	0,59ab
SEXTO	5,56b	1,98a	1,20a	0,80a
SÉTIMO	6,03a	2,20a	1,33a	0,94a
		CV (A) = 9,4%	CV (B) = 23,8%	

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

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 6. Equações polinomiais referentes ao efeito das doses de cádmio sobre o crescimento radicular (cm plântula⁻¹) de plântulas de aveia em quatro dias de avaliação.

Dias	Equação polinomial de ordem 2	R ²
QUARTO	$y = 0,0004x^2 - 0,0649x + 2,8649$	0,9898
QUINTO	$y = 3E-05x^2 - 0,0176x + 2,6978$	0,9781
SEXTO	$y = 4E-05x^2 - 0,022x + 3,250$	0,9532
SÉTIMO	$y = 6E-05x^2 - 0,0314x + 4,3539$	0,9511

Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

No presente estudo observou que o crescimento relativo com o aumento das doses de cádmio, reduziu o tamanho do crescimento radicular.

Durante as análises pode-se observar, tanto na parte aérea como na raiz, conforme foi aumentada a dose de cádmio oferecido à planta, maior a concentração, assim deduzindo que o metal se transloca pela planta de forma significativa, dada a diferença expressiva de contaminante encontrada nos dois compartimentos, conforme os dados das tabelas.

Assim pode-se associar também a característica da raiz servir como filtro natural, podendo limitar a passagem de cádmio para a parte aérea (OLIVEIRA, 2005)

O comprimento radicular da aveia foi drasticamente reduzido quando submetidos as doses de cádmio, principalmente as doses de 50 e 100 mg/L. Já nos primeiros dias de análise foi possível identificar os sintomas de toxidez do cádmio, apresentando raízes primárias pequenas.

O comprimento radicular é parâmetro importante quando da avaliação do efeito elemento-traço, pois, a radícula é o primeiro órgão da plântula que entra em contato com a solução contaminada (FENG, 2016). O comprimento radicular da aveia na testemunha foi de 6,03 cm e na presença da maior concentração de cádmio 100 mg/L diminuiu quase 90% (0,94 cm). Em estudo com áreas

contaminadas com cádmio, (GIROTTI, 2014) observaram reduções de matéria seca tanto da raiz quanto da parte aérea e clorose internerval para *Avena stringosa*. Em outro estudo Borges et.al. (2016) observou redução do comprimento de raiz do cádmio para outras gramíneas cv. Piatã, *B. brizantha* e na *B. decumbens*. Em concentrações tóxicas, os elementos-traço como o cádmio podem interromper a divisão celular, o processo de replicação do RNA, o processo de reparação do DNA ao desenvolvimento da planta (MOOSAVI, 2012).

Segundo (Menon 2016) o acúmulo de cádmio nos tecidos vegetais retarda o crescimento e induz vários sintomas de toxicidade, o primeiro sintoma do acúmulo de cádmio é a diminuição no crescimento e desenvolvimento das plantas, tal efeito afeta o desenvolvimento das raízes e parte aérea.

De acordo com o teste de variância, (teste de F), existe interação significativa entre os fatores dias e doses de cádmio em relação à variável comprimento da parte aérea (tabela 7), 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 0,0, 25, 50 e 100 mg L⁻¹, sendo que a comparação de médias entre os níveis deste fator é representada na tabela 7, sendo que este efeito pode ser observado através das estimativas das equações polinomiais de ordem 2 apresentadas na tabela 8.

Tabela 7. Comprimento da parte aérea (cm plântula-1) mensurados durante os ensaios de germinação.

Dias Após a Germinação	mg L ⁻¹ de cádmio			
	0	25	50	100
QUARTO	4,59d	3,39c	2,42d	1,79c
QUINTO	7,41c	5,47b	4,29c	3,72b
SEXTO	9,65b	6,70b	5,92b	4,77b
SÉTIMO	12,10a	8,02a	7,00a	6,65a
CV (A) = 7,0 %		CV (B) = 19,1%		

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 8. Equações polinomiais de 2º grau referentes ao efeito das doses de cadmio sobre o tamanho da parte aérea.

Dias	Equação polinomial de ordem 2	R ²
Quarto	$y = 0,0003x^2 - 0,0579x + 4,6097$	0,9992
Quinto	$y = 0,0005x^2 - 0,0883x + 7,3916$	0,9997
Sexto	$y = 0,0006x^2 - 0,1093x + 9,4825$	0,9737
Sétimo	$y = 0,0011x^2 - 0,1604x + 11,898$	0,9728

Fonte: elaborado pelo autor, 2022.

A parte aérea das plântulas de aveia foram afetadas pelo cádmio, observando a tabela 7 é possível perceber que a dose de 100 mg/L apresenta uma redução de quase 50% em relação a testemunha 0 mg/L

Foi possível observar que o desenvolvimento da parte aérea foi prejudicado na aveia, 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 fotossinéticas, reduzindo as trocas gasosas pela indução do fechamento dos estômatos (KUPPER, 1996).

O acúmulo de cádmio nos tecidos vegetais retarda o crescimento e induz vários sintomas de toxicidade. O primeiro sintoma do acúmulo de cádmio é a diminuição no crescimento e desenvolvimento (Menon, 2016; Perveen , 2015).

Para a variável do tamanho da parte aérea, os resultados obtidos na análise conjunta, demonstram que a ação das doses de cádmio, interação doses e época de avaliação, e variedades que agiram da mesma forma nos dois ensaios, sendo por isso, iguais estaticamente. Todos esses aspectos podem variar de acordo com a concentração de cádmio fornecido, a espécie envolvida e também o tempo com que este permanece exposto (BERNAVIDES, FALLEGO E TOMARO, 2005).

Porcentagem de germinação, índice de vigor e o índice de tolerância podem ser considerados parâmetros que indicam a capacidade de resposta das plantas ao estresse promovido por substratos contaminados. Para GUTERRES (2019) esses parâmetros podem ajudar na seleção de plantas para projetos de recuperação de áreas contaminadas.

O estudo apresentado mostra o acúmulo de cádmio leva a vários efeitos tóxicos nas plantas (níveis de crescimento, bioquímicos, fisiológicos e moleculares). Os mecanismos de desintoxicação podem ser evitação ou tolerância ao estresse (Choppala, 2014; Jan & Parray, 2016). Esses mecanismos funcionam em total coordenação para minimizar a absorção de cádmio ou anular os efeitos do cádmio dentro da planta. (Dalcorso , 2010)

7 CONCLUSÃO

Não foi possível observar o efeito das diferentes doses de cádmio sobre a porcentagem de germinação da aveia. O parâmetro velocidade de germinação não apresentou diferença estatística para a Aveia preta.

Os parâmetros do comprimento radicular e da parte aérea da aveia, foram afetadas significativamente, resultando em uma diminuição nestes dois parâmetros em todas as doses comparadas com o passar do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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;

ARES, G.; GRANATO, D. Mathematical and statistical methods in food science and technology. Nova Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2014. 514p.

BIZARRO, V. G. Teor e biodisponibilidade de cádmio em fertilizantes fosfatados. 2007. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

BORGES, K.S.C.; Germination and initial development of *Brachiaria brizantha* and *Brachiaria decumbens* on exposure to cadmium, lead and copper. Journal of Seed Sciences (antiga Revista Brasileira de Sementes), v. 38, p. 335-343, 2016.

BRASIL (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Regras para análise de sementes. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2009, 399p

CHEN; Compreender os mecanismos moleculares para melhorar a fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. Cristal Reviews in Biotechnology, 30(1), 23-30, 2010.

CHOPPALA; Mecanismos celulares em plantas superiores que governam tolerância à toxicidade do cádmio. Critical Reviews in Plant Sciences, (33)5, 2014.

CONAB | acompanhamento da safra brasileira de grãos | v.5 – safra 2020/21, nº2 – segundo levantamento | novembro 2020

CUNHA, Karina Patrícia Vieira. Disponibilidade, Acúmulo E Toxidez De Cádmio E Zinco Em Milho Cultivado Em Solo Contaminado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Recife, PE, v. 4, n. 32, p.1319-1328, dez. 2008.

DALCORSO, G. FARINATI, S.; &FURINI, A. Redes reguladoras de estresse por cádmio em plantas. Plant Signal Behav, 5(6), 2010.

FLOSS, E. L. Manejo forrageiro de aveia (avena sp) e azevem (Iolium sp). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, Piracicaba, p.231-268, 1988.

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

GIROTTO; 2014. Copper availability assessment of Cu-contaminated vineyard soils using black oat cultivation and chemical extractants. Environmental monitoring and Assessment 186: 9051-9063;

GONÇALVES, V. C. Biodisponibilidade De Cádmio Em Fertilizantes Fosfatados. Revista Brasileira Ciência do Solo, [s. L.], p.2871-2875, 2008.

GUTERRES J. 2019. Assessing germination characteristics of Australian native plant species in metal/ metalloid solution. Journal of Hazardous Materials 364: 173-181.

HONG, C.; CHENG, D.; ZHANG, G.; ZHU, D.; CHEN, Y., & Tan, M. O papel do ZmWRKY4 na regulação da defesa antioxidante da planta sob estresse por cádmio., 2017.

IBGE, Estatística da Produção Pecuária, Pesquisa Trimestral do Abate de Animais, 2017-2022. p.14, 2022.

KAPUSTKA, L.A., REPORTER, M. Terrestrial primary producers. In: Peter Calow (Ed.), Handbook of ecotoxicology, vol. 1. Blackwell Scientific Publications,1993. p 278–298.

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, 199.

MACHADO, Z. A. L. Aveia forragem e cobertura do solo. Embrapa Agropecuária Oeste.Dourados. 2000. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/243576/1/COL20003.pdf>> Acesso em: 10 JUL 2022

MADEJON, P. 2015. Effects of soil contamination by trace elements on white poplar progeny: seed germination and seedling vigour. *Environmental Monitoring and Assessment* 187: 663-674.

MATTIAS, J. L.. Metais pesados em solos sob aplicação de dejetos líquidos de suínos em duas microbacias hidrográficas de santa catarina. 2006. 164 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rs, 2006.

MENON, P., JOSHI, N., & JOSHI, A. (2016). Effect of heavy metals on seed germination of *Trigonella foenum-graceum* L. *International Journal of Life-Sciences Scientific Research*, 2(4), 488–493

MOOSAVI, Effects of some heavy metals on seed germination characteristics of canola (*Barassica napus*), wheat (*Triticum aestivum*) and safflower (*Carthamus tinctorious*) to evaluate phytoremediation potential of these crops *J. Agric. Sci.*, 4 (2012), pp. 1-19

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, L. R.. Metais pesados e atividade enzimática em latossolos tratados com lodo de esgoto e cultivados com milho. 2008. 108 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Produção Vegetal, Universidade Estadual Paulista “júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Jabotiabal, Sp, 2008.

OLIVEIRA, C.; SOBRINHO N. M. B. A.; MARQUES, V. S.; MAZUR, N. Efeitos da aplicação do lodo de esgoto enriquecidos com cádmio e zinco na cultura do arroz. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v.29, n.1, p.109-116, 2005;

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

RUPPENTHAL, J. E.. Toxicologia. Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria ; Rede e-Tec Brasil, Santa Maria; 2013. 128 p.

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.

SEBASTIAN, A. & PRASAD, MNV. As modulações de proteoma associadas à fotoassimilação são críticas para a tolerância de cádmio dependente de ferro em *Oryza sativa* L., 2015.

SOUZA, F.H.D.; PRIMAVERESI, A.C.; GODOY, R. Produção de sementes a partir de rebrotes em *Avena byzantina* cv. São Carlos. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005, 6p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 40).

SOUZA, J. F.; Efeito de metais pesados no desenvolvimento de plântulas de milho e rabanete. 2003. 138 p. Tese Doutorado – Universidade Estadual de Campinas. 2003.

TOLEDO, F. F.; MARCOS FILHO, J. **Manual de sementes**: Tecnologia da produção. São Paulo: Agronômica Ceres, 1977.

TOPPI, L. S.; GABBRIELLI, R.. Response to cadmium in higher plants. *Environmental And Experimental Botany*, Florença, Itália, p.105-130, 1999.

VILELA, H. Portal agronomia. Série gramíneas tropicais - gênero *Avena* (*Avena strigosa* - aveia preta), 2007. Disponível em: <http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_gramineas_tropicais_avena.htm>. Acesso em: 10 JUL. 2022.

VOLESKY, B. Removal and recovery of heavy metals by biosorption. In: VOLESKY, B. Biosorption of heavy metals. Boca Raton: CRC Press, 1990. p.7-43.

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

APÊNDICES

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

ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F

CAUSA DA VARIÂÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3	1,742				
DOSES DE CÁDMIO	3	31,622	10,5	32,81	6,99	F(0,01;3;9)
PARCELAS	9	36,255				
RESÍDUO (A)	15	2,891	0,321			
DIAS	3	30,287	10,096	201,41	4,39	F(0,01;3;36)
Cd X DIAS	9	0,792	0,088	1,76	2,96	F(0,01;9;36)
RESÍDUO B	36	1,805	0,050			
TOTAL	63	69,140				

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

APÊNDICE B – Quadro de análise de variância (comprimento radicular)

ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F

CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3	0,224				
DOSES DE CÁDMIO	3	165,010	55,003	788,03	6,99	F(0,01;3;9)
PARCELAS	9	165,863				
RESÍDUO (A)	15	0,628	0,070			
DIAS	3	14,434	4,811	135,82	4,39	F(0,01;3;36)
Cd X DIAS	9	11,062	1,229	34,69	2,96	F(0,01;9;36)
RESIDUO B	36	1,275	0,035			
TOTAL	63	192,634				

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GI DO FATOR DOSES CÁDMIO

CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3					
DIAS	3					
DOSES(QUARTO DIA)	3	14,608	4,869	137,46	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(QUINTO DIA)	3	39,699	13,233	373,55	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(SEXTO DIA)	3	56,549	18,850	532,11	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(SÉTIMO DIA)	3	65,215	21,738	613,65	4,39	F(0,01;3;36)
DOSES(DIAS)	12	176,071				
RESIDUO	15	1,275	0,035			
TOTAL						

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DIAS

CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)	
BLOCOS	3					
DIAS	3					
DIAS(DOSE ZERO)	3	22,574	7,525	107,80	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSE 25)	3	1,584	0,528	7,56	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSE50)	3	0,740	0,247	5,54	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSE 100)	3	0,597	0,199	4,85	4,39	F(0,01;3;36)
DIAS(DOSES)	12	25,496				
RESIDUO	3	0,628	0,070			
TOTAL						

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

APÊNDICE C – Quadros de análise de variância (comp da parte aérea)

ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F

CAUSA DA VARIÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3	0,279			
DOSES DE CÁDMIO	3	163,267	54,422	183,05	6,99 F(0,01;3;9)
PARCELAS	9	166,222			
RESÍDUO (A)	15	2,676	0,297		
DIAS	3	252,749	84,250	2426,22	4,39 F(0,01;3;36)
Cd X DIAS	9	14,072	1,564	45,03	2,96 F(0,01;9;36)
RESIDUO B	36	1,250	0,035		
TOTAL	63	434,292			

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DOSES CÁDMIO

CAUSA DA VARIÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3				
DIAS	3				
DOSES(QUARTO DIA)	3	17,950	5,983	172,30	4,39 F(0,01;3;36)
DOSES(QUINTO DIA)	3	31,818	10,606	305,43	4,39 F(0,01;3;36)
DOSES(SEXTO DIA)	3	52,128	17,376	500,39	4,39 F(0,01;3;36)
DOSES(SÉTIMO DIA)	3	75,443	25,148	724,20	4,39 F(0,01;3;36)
DOSES(DIAS)	12	177,338			
RESIDUO	15	1,250	0,035		
TOTAL					

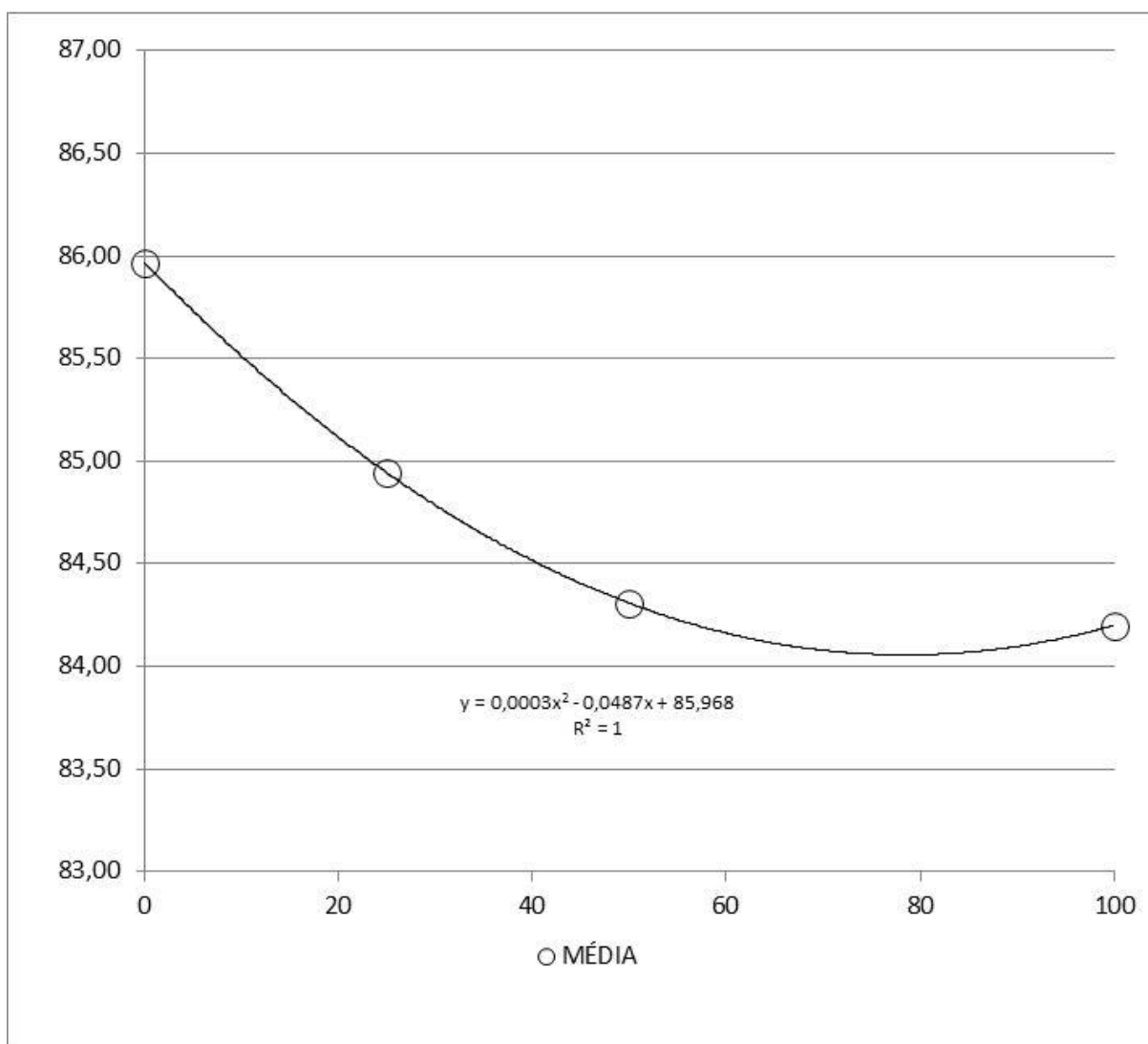
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE DA INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DIAS

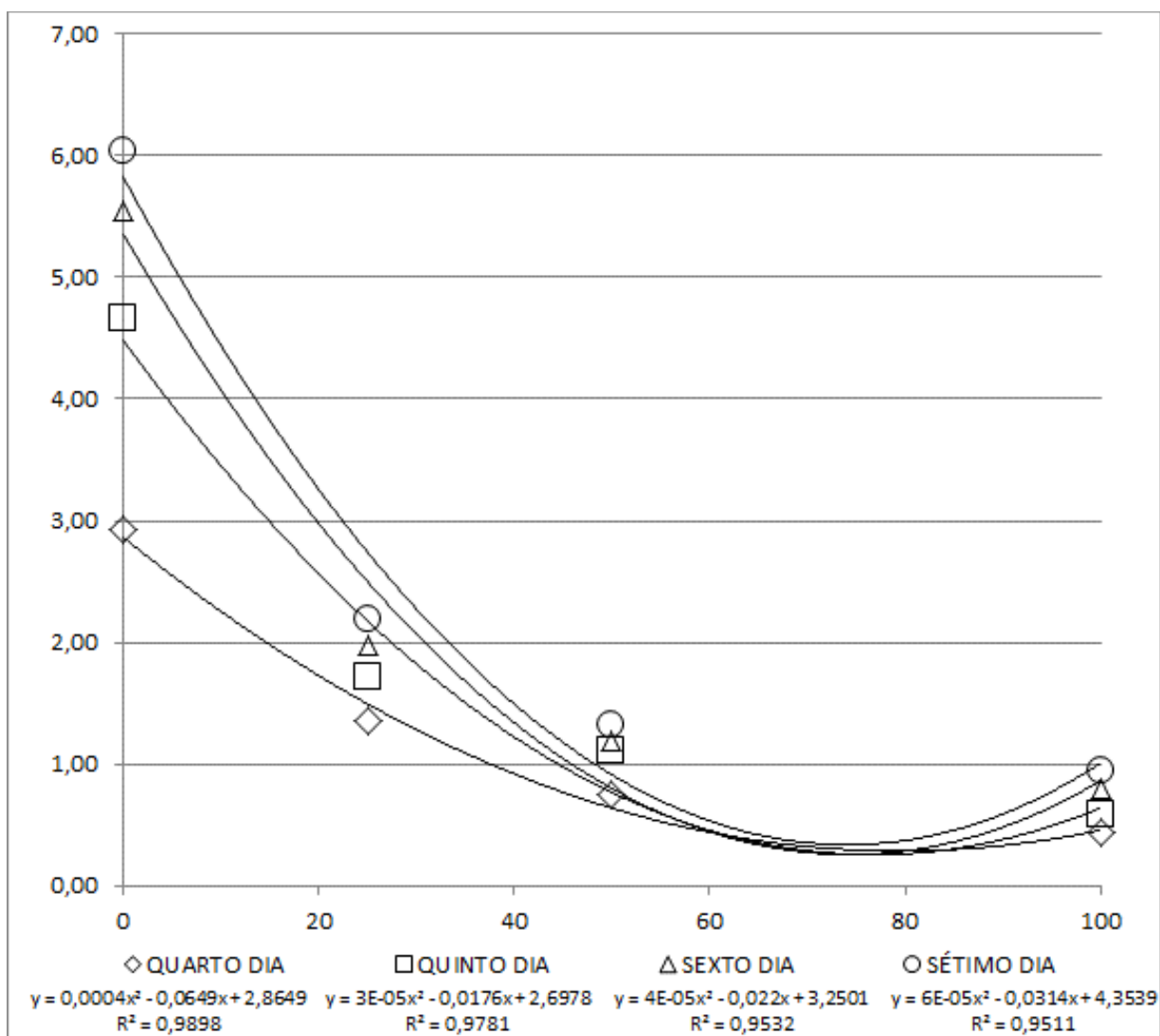
CAUSA DA VARIÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3				
DIAS	3				
DIAS(DOSE ZERO)	3	123,010	41,003	137,91	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS(DOSE 25)	3	46,395	15,465	52,02	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS(DOSE50)	3	47,920	15,973	53,73	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS(DOSE 100)	3	49,495	16,498	55,49	4,39 F(0,01;3;36)
DIAS(DOSES)	12	266,820			
RESIDUO	3	2,676	0,297		
TOTAL					

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

APÊNDICE D – equações polinomiais de segundo grau referente às doses de cádmio sobre a taxa de germinação.



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



APÊNDICE E – Equação polinomial de segundo grau referente às doses de cádmio sobre o tamanho da parte aérea

