



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL - UFES CAMPUS CHAPECÓ - SC
CURSO DE AGRONOMIA

IVAN PEDRO MURARI

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE
PLÂNTULAS DE *Zea mays* SUBMETIDAS A CONCENTRAÇÕES
TÓXICAS E SUBTÓXICAS DE CÁDMIO**

CHAPECÓ 2017

IVAN PEDRO MURARI

**GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE
PLÂNTULAS DE *Zea mays* SUBMETIDAS A CONCENTRAÇÕES
TÓXICAS E SUBTÓXICAS DE CÁDMIO**

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

Orientador: Dr. Samuel Mariano Gislon da Silva

CHAPECÓ 2017

PROGRAD/DBIB - Divisão de Bibliotecas

Murari, Ivan Pedro

GERMINAÇÃO DE SEMENTES E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE Zea mays SUBMETIDAS A CONCENTRAÇÕES TÓXICAS E SUBTÓXICAS DE CÁDMIO/ Ivan Pedro Murari. -- 2017.

31 f.

Orientador: Samuel Mariano Gislon da Silva.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de agronomia , Chapecó, SC, 2017.

1. CdCl₂. 2. Metais pesados. 3. Resíduos. 4. Fertilizantes. 5. Contaminação. I. Silva, Samuel Mariano Gislon da, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

IVAN PEDRO MURARI

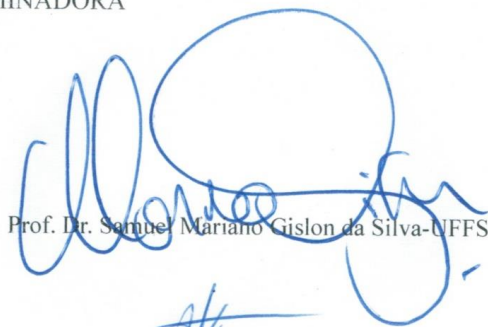
**GERMINAÇÃO E CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE *Zea mays*
SUBMETIDAS A CONCENTRAÇÕES TÓXICAS E SUBTÓXICAS DE
CÁDMIO**

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

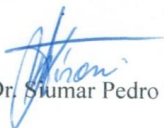
Orientador: Prof. Dr. Samuel Mariano da Silva

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 22/02/2017

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Samuel Mariano Gislon da Silva-UFFS



Prof. Dr. Sumar Pedro Tironi-UFFS



Prof. Dr. Paulo Roger Lopes Alves-UFFS

RESUMO

Quando se considera o uso agronômico de resíduos, fertilizantes químicos e fungicidas, é importante ressaltar que nestes são encontrados em concentrações consideráveis cádmio e outros metais, sendo importante prever o seu comportamento nos solos e nas plantas. Entre as plantas cultivadas pelo homem, o milho tem sido utilizado em muitos estudos de poluição como modelo, no entanto, apesar de um número considerável de investigações dos efeitos tóxicos e mecanismos de estresse causados pelo cádmio nos sistemas biológicos, os dados referentes aos efeitos deste metal na germinação e parâmetros de crescimento desta planta ainda são escassos e pouco esclarecedores. Para tal, o ensaio de germinação foi executado sob esquema de parcelas subdivididas no tempo em delineamento experimental blocos ao acaso, com classificação cruzada e 4 repetições, utilizando sementes de uma variedades de milho crioulo (SCS 154 Fortuna) e uma variedade de milho híbrido transgênico (BM650PRO2-Biomatrix). As sementes de cada cultivar 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 germinadores a 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 dias após a semeadura. O cádmio afetou significativamente o percentual de germinação, tamanho da parte aérea e raiz para o milho híbrido, porém não apresentou significância estatística para o milho Fortuna na avaliação de crescimento da raiz. A análise conjunta dos experimentos evidenciou que as variedades agem de forma diferenciada em relação ao metal, seja na interação entre cádmio e as variedades ou nos aspectos em que ocorre ação independente da variável sobre o milho.

Palavras-Chave: CdCl_2 ; Metais pesados; Resíduos; Fertilizantes; Contaminação.

RESUMEN

Cuando se considera el uso agronómico de residuos, fertilizantes químicos y fungicidas, es importante tener en cuenta que en estos se encuentran concentraciones considerables de cádmio y otros metales, deben ser hechos previsiones de su comportamiento en suelos y en las plantas. De las plantas cultivadas por el hombre, el maíz es el más utilizado en estudios de la contaminación como un modelo, sin embargo, aunque un número considerable de investigaciones sobre efectos tóxicos y mecanismos de estrés causados por el cádmio en los sistemas biológicos, los datos relativos a los efectos de este metal en la germinación y parámetros de crecimiento de esta planta todavía son escasos y poco esclarecedores. Para eso, el ensayo de germinación fue ejecutado en esquemas de parcelas subdividido en el tiempo en diseño experimental bloques al acaso, con clasificaciones cruzadas y 4 repeticiones, utilizando semillas de una variedad de maíz criollo (catarina da epagri) y una variedad de maíz híbrido transgénico (bm650pro2 – biomatrix). Las semillas de cada cultivar se dividieron en 4 lotes de 16 repeticiones de 50 semillas y en cada repetición sembrada en sustrato de papel germitest prehumedecido con un volumen de agua correspondiente a 2,5 veces el peso del papel. El agua utilizada para el remojo de los 4 lotes fue aumentada de distintas concentraciones de cloruro de cádmio (CdCl_2), de manera que las concentraciones finales de cádmio eran 0,0, 25,0, 50,0 e 100,0 mg l^{-1} , generando cuatro tratamientos distintos. Los rodillos de papel fueron mantenidos en reproductores a una temperatura constante de 25°C, y las evaluaciones (el vigor y la viabilidad de las semillas, tasa de germinación y evaluación del crecimiento), realizado en 4 repeticiones de cada tratamiento en los días cuarto, quinto, sexto y séptimo después de la siembra. El cádmio afectó significativamente el porcentaje de germinación, tamaño de la parte aérea y raíz del maíz transgénico, sin embargo, no hay presentado significancia estadística para el maíz Epagri en la evaluación del crecimiento de la raíz. El análisis conjunto de los experimentos mostró que las variedades actúan de forma distinta en relación a los metales, sea en la interacción entre cádmio y las variedades o en los aspectos donde ocurre la acción independiente de la variable en el maíz.

Palabras clave: CdCl_2 ; Toxidad; contaminación; residuos; fertilizantes; contaminación.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Avaliação da germinação do milho Fortuna apresentada em porcentagem (%) de plântulas normais, em função das doses de cádmio.....	14
Tabela 2. Avaliação da germinação do milho Fortuna em porcentagem (%) média de plântulas normais.	14
Tabela 3. Equação linear referente ao efeito das doses de cádmio sobre a % de germinação do milho Fortuna.....	14
Tabela 4. Avaliação da germinação do milho híbrido em porcentagem (%) de plântulas normais, em função da dose de cádmio.	15
Tabela 5. Equações lineares referentes ao efeito das doses de cádmio em cada uma das épocas de avaliação sobre a porcentagem (%) de germinação do milho híbrido.	15
Tabela 6. Comprimento das raízes (cm plantula^{-1}) mensurados durante os ensaios de germinação para milho Fortuna, em função das doses de cádmio.....	16
Tabela 7. Média do tamanho da raiz (cm raiz^{-1}) mensurados durante os ensaios de germinação para milho Fortuna.	16
Tabela 8. Tamanho da raiz (cm raiz^{-1}) mensurados durante os ensaios de germinação para milho híbrido, em função da dose de cádmio.	17
Tabela 9. Equações lineares referentes ao efeito das doses de cádmio sobre o tamanho da raiz no milho híbrido.....	17
Tabela 10. Comprimento da parte aérea das plântulas de milho (cm plantula^{-1}) mesurados durante os ensaios de germinação do milho Fortuna, em função da dose de cádmio.....	18
Tabela 11. Tamanho médio da parte aérea (cm plântula^{-1}) mensurados durante os ensaios de germinação do milho Fortuna.	18
Tabela 12. Equação linear referente ao efeito das doses de cádmio sobre o crescimento médio da parte aérea (cm plantula^{-1}) do milho Fortuna.....	19
Tabela 13. Tamanho da parte aérea (cm plântula^{-1}) mensurados durante os ensaios de germinação do milho híbrido, em função da dose de cádmio.....	19
Tabela 14. Índice de velocidade de germinação milho híbrido.....	20
Tabela 15. Índice de velocidade de germinação milho Fortuna.....	20
Tabela 16. Resultado da análise de variância para a análise conjunta de experimentos.....	21

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3	OBJETIVOS	11
	3.1 OBJETIVO GERAL	11
	3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
4	MATERIAL E MÉTODOS	12
	4.1 OBTENÇÃO DAS SEMENTES	12
	4.2 ENSAIO DE GERMINAÇÃO.....	12
	4.3 VIGOR E VIABILIDADE DAS SEMENTES	13
	4.4 VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO.....	13
	4.5 AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO	13
	4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA	13
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23
	APÊNDICE A – Quadro de análise de variância, % de germinação do milho híbrido	25
	APÊNDICE B – Quadro de análise de variância do comprimento radicular referente ao milho híbrido.....	26
	APÊNDICE C – Quadro de análise de variância do comprimento da parte aérea referente ao milho híbrido.....	27
	APÊNDICE D – Quadros de análise de variância da germinação, comprimento da raiz e comprimento da parte aérea referentes ao milho Fortuna.....	28
	APÊNDICE E – Quadros de análise de variância referentes a análise conjunta de experimentos.....	29

1 INTRODUÇÃO

O alto potencial agrícola brasileiro se revela nos dados do Ministério da Agricultura, em que, na produção de milho, encontra-se como terceiro maior produtor deste grão (CONAB, 2017).

Na produção de suínos o peso acumulado das carcaças no primeiro trimestre de 2015 alcançou 794,214 mil toneladas representando aumento de 4,9 em relação ao mesmo período de 2014, Os Estados da região sul, no primeiro semestre de 2015, representaram 66% do abate nacional de suínos (BRASIL, 2015).

A produção de suínos no Brasil tem grande relevância econômica. Porém, esta é uma prática problemática, uma vez que a produção de dejetos oriundos destes animais, possui elevada concentração de metais pesados. O uso contínuo destes, para adubação ou deposição sobre o solo, pode aumentar as quantidades totais de cobre, zinco, cádmio, ferro e manganês nos solos onde são aplicados (MATTIAS, 2006). Gonçalves (2008) mostra que os dejetos suínos, são resultados da mistura de fezes, urina, água da lavagem das baias, sobras de rações, pó e pelos dos animais, desperdício de água pelos bebedouros dentre outros componentes.

Porém não são apenas os dejetos suínos os responsáveis pelo acúmulo de metais no solo, uma vez que, a aplicação de inseticidas, fungicidas, fertilizantes e práticas de correção de solo (com aplicação de fosfatos simples, triplos e/ou termofosfatos) são práticas comuns em nosso país, objetivando aumentar a produção, esquecendo que tais atos serão extremamente prejudiciais num futuro próximo, devido as concentrações de metais pesados presentes nos compostos (FREITAS, et al. 2009).

Os metais pesados também são conhecidos como elementos traços, por serem encontrados naturalmente no ambiente em concentrações de poucas partes por milhão. O cádmio (Cd) é classificado como metal pesado, uma vez que se encontra no grupo dos elementos com densidade maior que 5 g/cm^3 sendo considerado um dos principais contaminantes do ambiente e um dos mais tóxicos (BIZARRO, V. G. 2007).

Tendo este cenário amplo da entrada de metais nas lavouras brasileiras é necessário elucidar os verdadeiros efeitos destes componentes em uma das culturas de maior importância econômica, o milho. O presente trabalho apresenta os dados de vigor e viabilidade, velocidade de germinação e a avaliação de crescimento das plântulas de duas variedades de milho (*Zea mays*) submetidas a concentrações tóxicas e subtóxicas de cádmio.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A toxicidade de um metal, assim como sua disponibilidade, estão relacionados a vários fatores que vão desde sua forma química encontrada no ambiente, as formas de ingestão do metal para o organismo e sua capacidade de biotransformação em subprodutos que podem ser mais ou menos tóxicos além de sua capacidade de bioacumulação (RUPPENTHAL; 2013). O cádmio é apontado como potencial causador de algumas doenças como câncer, disfunção renal, disfunção digestiva, problemas pulmonares e pneumonite (RUPPENTHAL; 2013).

Considerando-se que o termo metal pesado, geralmente, está associado com toxidez e poluição, é recomendável que se diferencie os elementos que são essenciais, como por exemplo Cobre, Zinco, Cobalto, Selênio, Ferro, Manganês, Molibdênio, etc., daqueles não essenciais e tóxicos ao ambiente como Chumbo, Cádmio, Mercúrio, Arsênio, ainda que todos sejam classificados como metais pesados (OLIVEIRA, 2008). 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 (VOLESKY, 1990).

Muitos destes metais, como o cobalto, zinco, cobre e níquel são essenciais para o crescimento de organismos eucariotos e/ou procariotos, sendo exigidos em concentrações muito pequenas. Outro, contudo, como o cádmio, não é essencial para o crescimento celular, sendo extremamente tóxicos mesmo em baixas concentrações (VOLESKY, 1990).

Este metal tende a ser móvel em solos e, portanto, mais disponível para as plantas. Facilmente absorvido pelo sistema radicular, o cádmio é translocado via xilema para parte aérea através da transpiração das plantas. (BIZARRO, V. G., 2007). Segundo o estudo de Toppi e Gabrielli (1999) este metal apresenta efeito fitotóxico e pode limitar as produções por reduzir a absorção de nutrientes.

O cádmio é considerado um dos metais mais ecotóxicos, uma vez que apresenta efeito sobre todos os processos biológicos de animais e plantas (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2000). O cádmio chega ao meio ambiente pela ação antrópica, sendo que as contaminações, em solos, ocorrem por adição de resíduos da fabricação do cimento, pelas cinzas produzidas pela queima de combustíveis fósseis e lixos urbanos, desgaste de pneus, rejeitos de mineradoras e fundições, utilização de fertilizantes fosfatados, uso de dejetos suínos como fertilizantes, entre outras (SALGADO, 1996).

Gonçalves (2008) revela em seu trabalho que na parte aérea e raízes de plantas de *Avena strigosa* houve acúmulo de cádmio resultante da aplicação de fertilizantes fosfatados em amostra de Nitossolo Vermelho distroférico. O autor demonstrou que o cádmio está

presente nos fertilizantes fosfatados e é biodisponível, pois, embora não detectado no solo foi encontrado nas principais partes da planta de aveia preta.

Ainda tratando sobre as concentrações de cádmio nos fertilizantes fosfatados, Freitas (2009) nos mostra em seu trabalho que o fosfato natural de Gafsa foi o responsável pelos maiores teores de cádmio nas plantas de milho após o segundo cultivo.

Utilizando-se lodo de esgoto, com concentrações consideráveis de cádmio, níquel, chumbo e cromo, observou-se apenas o aumento nos teores de Cádmio e Chumbo (BUENO, J. R.P.; 2010).

As maiores quantidades de metais pesados estão relacionadas ao seu teor no lodo de esgoto, acumulação de matéria orgânica e atributos do solo, existindo uma tendência no aumento da concentração dos metais em função do aumento das doses de lodo de esgoto (OLIVEIRA, 2008).

Sintomas de toxidez de metais pesados têm sido bastante estudados em várias espécies de plantas e sob diferentes condições (TOPPI & GABRIELLI, 1999). Os efeitos visíveis da exposição a altas doses de metais pesados são, em geral, descritos como redução severa do crescimento, clorose e atrofia foliar (CUNHA et al., 2008).

Em uma economia globalizada e de alta competitividade, a busca por maior eficiência na produção agrícola tem sido constante em toda cadeia produtiva. Principalmente do agricultor que tem por objetivo a máxima produtividade com o menor custo de produção.

O milho, gramínea, originária do México, com 1,5 a 3,0 m de altura no florescimento, apresenta ciclo anual sendo cultivada no verão e na segunda safra (milho safrinha), apresenta consumo de forma variada. Os grãos podem ser usados para extração de óleo e amido, fabricação de alimentos e rações, podendo ainda ser utilizado como milho verde para consumo dos grãos *in natura* ou como ingrediente na culinária tradicional (DUARTE et al., 2014).

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de milho sendo superado apenas pelos Estados Unidos e pela China, que produzem 350 e 220 milhões de toneladas de grãos respectivamente (DUARTE; KAPPES, 2015).

A produção nacional de milho apresentou elevada produtividade na safra 2015-2016, com uma expectativa muito boa para a safra 2016-2017. A área usada para a produção deste grão segundo a CONAB (2017) na safra de 2015-2016, somando primeira e segundas safras, ficou em torno de 15.922.500 ha para uma produção de aproximadamente 66.530.900 toneladas. As expectativas do mesmo estudo apontam para uma produção de 87.408.600 toneladas, muito superior a anterior para a safra do presente ano.

Na Região Sul, segunda maior produtora nacional do cereal plantado na segunda safra, o primeiro levantamento de intenção de plantio no Paraná, principal estado produtor, aponta para um incremento de área na ordem de 4,5% (CONAB, 2017). Para esta mesma região uma produção de milho total no ano de 2016 de 23.089.700 toneladas, perdendo apenas para a região centro-oeste neste parâmetro, deste total, Santa Catarina contribuiu com uma produção de 2.712.100 toneladas, 11,74% do total da região sul (CONAB, 2017).

A elevada produtividade do milho se deve a elevada importância econômica que este apresenta. O elevado incremento tecnológico sobre este produto implica em elevadas produções, mesmo sem que se altere de forma considerável a área de plantio (GLAT, 2010). O aumento na produtividade de milho ocorre pela concentração da produção em regiões e épocas mais favoráveis, também pelo lançamento de cultivares de alto potencial produtivo e modernização das práticas culturais, destacando neste ponto o adensamento populacional, aumento das doses de adubação (principalmente a nitrogenada), melhora na uniformidade de distribuição das sementes e proteção efetiva contra pragas e doenças (DUARTE; KAPPES, 2015).

Entre as plantas cultivadas pelo homem, o milho tem sido utilizado em muitos estudos de poluição como modelo (SOUZA, 2003). No entanto, apesar de um número considerável de investigações dos efeitos tóxicos e mecanismos de estresse causados pelo cádmio nos sistemas biológicos, os dados referentes aos efeitos deste metal na germinação desta planta, ainda são escassos e pouco esclarecedores.

3 OBJETIVOS

Os objetivos serão divididos em geral e específicos.

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a toxicidade de cádmio em sementes e plântulas de milho submetidas a diferentes concentrações deste metal.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o efeito do cádmio sobre a germinação das sementes e desenvolvimento inicial de plântulas do milho SCS 154 Fortuna utilizando os parâmetros vigor, viabilidade, velocidade de germinação e avaliações de crescimento.

Avaliar o efeito do cádmio sobre a germinação das sementes e desenvolvimento inicial de plântulas do milho híbrido BM650Pro2 utilizando os parâmetros vigor, viabilidade, velocidade de germinação e avaliações de crescimento.

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

Foram utilizadas duas variedades de sementes de milho, sendo, milho crioulo, da cultivar SCS 154 Fortuna, obtida junto a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) Gerência Regional de Chapecó, e, milho híbrido BM650PRO2 produzido pela empresa Biomatrix.

O milho oriundo da instituição Epagri, SCS 154 Fortuna, apresenta característica de polinização aberta, sendo oriundo de um composto de seis genótipos de ampla adaptação no estado de Santa Catarina após seis ciclos de seleção. Apresenta ainda ciclo precoce e é caracterizado por apresentar alto potencial de rendimento.

O milho híbrido simples (BM650PRO2-Biomatrix) usado no experimento, foi desenvolvido com resistência ao glifosato, herbicida pós emergente que facilita o controle de plantas daninhas, e apresenta característica de alta produtividade.

4.2 ENSAIO DE GERMINAÇÃO

Os ensaios foram realizados sob esquema parcelas subdivididas no tempo em delineamento experimental blocos ao acaso, com classificação cruzada e 4 repetições (ARES; GRANATO, 2014). Para tal, sementes de cada cultivar 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 destilada 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 germinadores a temperatura constante de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ com 24 horas de luz disponível.

4.3 VIGOR E VIABILIDADE DAS SEMENTES

As avaliações da germinação foram realizadas no quarto, quinto, sexto e sétimo dias após a semeadura, sendo os dados convertidos para porcentagem de plântulas normais. A primeira contagem de germinação serviu como indicativo do vigor das sementes, enquanto que a somatória dos resultados da primeira contagem com os da última contagem serão um indicativo da viabilidade das mesmas (BRASIL, 2009).

4.4 VELOCIDADE DE GERMINAÇÃO

A velocidade de germinação foi calculada pela fórmula de Edmond & Drapala (1958): $VG = [(D1 \times P1) + (D2 \times P2) + (D3 \times P3)] / (P1 + P2 + P3)$, onde VG é a velocidade de germinação expressa em dias médios para a germinação; D1, D2 e D3 correspondem aos números de dias da semeadura à primeira, segunda e terceira contagem respectivamente; P1, P2 e P3 correspondem ao número de plântulas normais na primeira, segunda e terceira contagem respectivamente.

4.5 AVALIAÇÃO DO 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, mensurou-se o comprimento da raiz primária e comprimento da parte aérea, sendo os resultados médios expressos em cm plântula⁻¹.

4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Primeiramente as variáveis (porcentagem de plântulas normais, tamanho de raiz e tamanho da parte aérea) de cada ensaio (milho Fortuna ou milho Híbrido) foram submetidas separadamente a análise de variância (teste de F). As comparações de média foram então feitas através de regressão e aplicação do teste de tukey (ARAÚJO, 2015; GOMES,1990).

Em uma segunda etapa os dois ensaios foram submetidos ao teste de homogeneidade dos erros e as variáveis de análise conjunta (GOMES,1990).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o teste de variância (teste F) não foi verificada interação significativa entre os fatores época de avaliação e dose de cádmio em relação à variável germinação do milho Fortuna (tabela 1). No entanto, foi possível observar efeito significativo para os fatores 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. Avaliação da germinação do milho Fortuna apresentada em porcentagem (%) de plântulas normais, em função das doses de cádmio.

Época de Avaliação (DAS ¹)	Dose de Cádmio (mg L ⁻¹)			
	0	25	50	100
QUARTO	63,0	28,0	20,0	19,0
QUINTO	64,0	63,0	22,0	28,0
SEXTO	70,0	70,0	50,0	15,0
SÉTIMO	73,0	65,0	43,0	6,0

CV²(Parcela) = 8,0 % CV²(Subparcela) = 8,5 %

(¹) Dias após a semeadura. (²) Coeficiente de Variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Tabela 2. Avaliação da germinação do milho Fortuna em porcentagem (%) média de plântulas normais.

Época de Avaliação (DAS ¹)	% Germinação
QUARTO	32,5 b
QUINTO	44,25 ab
SEXTO	51,25 a
SÉTIMO	46,75 ab

Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna. P<0,01.

(¹) Dias após a semeadura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Tabela 3. Equação linear referente ao efeito das doses de cádmio sobre a % de germinação do milho Fortuna.

	Equação linear	R ²
Doses	$y = -17,425x + 87,25$	0,9844

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

De acordo com o teste de variância (teste F) existe interação significativa entre os fatores épocas de avaliação e doses de cádmio em relação à variável taxa de germinação do

milho híbrido, indicando a existência de dependência entre os fatores. Através do desdobramento do efeito da interação, pela realização de nova análise de variância (teste F), em que os níveis do fator doses de cádmio foram comparados dentro dos níveis do fator épocas de avaliação (e vice-versa), foi possível observar que existem efeitos significativos entre as épocas de avaliação dentro de cada dose de cádmio, sendo possível perceber que o efeito das doses de cádmio sobre a taxa de germinação foi diferenciado na dose 100 mg L⁻¹. Segundo o mesmo teste, existem ainda efeitos significativos entre as doses de cádmio dentro de cada época de avaliação, isto é, nos dias quinto, sexto e sétimo.

O efeito do fator dias dentro de cada dose de cádmio pode ser observado na tabela 4, enquanto que o efeito do fator dose de cádmio dentro dos diferentes dias pode ser observado através das estimativas das equações lineares de 2º grau apresentadas na tabela 5.

Tabela 4. Avaliação da germinação do milho híbrido em porcentagem (%) de plântulas normais, em função da dose de cádmio.

Época de Avaliação (DAS ¹)	Dose de Cádmio (mg L ⁻¹)			
	0	25	50	100
QUARTO	49,0	59,0	41,0	35,0 ab
QUINTO	76,0	47,0	40,0	39,0 a
SEXTO	50,0	45,0	39,0	3,0 b
SÉTIMO	68,0	59,0	36,0	4,0 b
CV ² (Parcela) =9,3%		CV ² (Subparcela) =6,4 %		

Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna. P<0,01.

(¹) Dias após a semeadura. (²) Coeficiente de Variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Tabela 5. Equações lineares referentes ao efeito das doses de cádmio em cada uma das épocas de avaliação sobre a porcentagem (%) de germinação do milho híbrido.

Época de Avaliação (DAS ¹)	Equações lineares	R ²
QUINTO	$y = -11,8x + 80$	0,7693
SEXTO	$y = -14,7x + 71$	0,7928
SÉTIMO	$y = -21,5x + 95,5$	0,9454

(¹) Dias após a semeadura.

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Para o cádmio o comportamento linear da porcentagem de germinação demonstra claramente sua toxidez, talvez agindo como inibidor enzimático. É sabido que quando sementes são postas a germinar em ambientes com altos níveis de cádmio, a atividade das

enzimas α e β amilase é significativamente reduzida, comprometendo a respiração (CHUNG; SAWHNEY, 1996), resultando na inibição do crescimento do eixo embrionário e da radícula (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2000). A dose de 100 mg L^{-1} de cádmio provocou a maior declividade da porcentagem de germinação (74,81% para o milho Fortuna e 66,66% para o milho híbrido em relação a dose $0,0 \text{ mg L}^{-1}$ de cádmio). O cádmio pode ser considerado tóxico nessa concentração, uma vez que a agência de proteção ambiental dos EUA (USEPA) considere nível tóxico o teor do metal que provoca uma redução de 50% de crescimento (KING, 1996). Na Europa este índice cai para 25% (SAEFL, 1998).

De acordo com o teste de variância (teste F) não foi verificado interação significativa entre os fatores épocas de avaliação e dose de cádmio em relação à variável crescimento de raiz do milho Fortuna (tabela 6). Também não foi observado efeito significativo para o fator doses de cádmio. No entanto, foi possível observar efeito significativo para o fator época de avaliação isoladamente, sendo que a comparação de médias entre os níveis deste fator é representada na tabela 7.

Tabela 6. Comprimento das raízes (cm plantula⁻¹) mensurados durante os ensaios de germinação para milho Fortuna, em função das doses de cádmio.

Época de Avaliação (DAS ¹)	Dose de Cádmio (mg L^{-1})			
	0	25	50	100
QUARTO	6,76	5,69	7,54	6,83
QUINTO	7,17	7,49	5,02	3,74
SEXTO	10,09	10,74	8,55	5,84
SÉTIMO	12,72	9,81	8,81	6,79
		CV ² (Parcela) = 16,2 %	CV ² (Subparcela) = 6,7 %	

(¹) Dias após a semeadura. (²) Coeficiente de Variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Tabela 7. Média do tamanho da raiz (cm raiz⁻¹) mensurados durante os ensaios de germinação para milho Fortuna.

Época de Avaliação (DAS ¹)	cm raiz ⁻¹
QUARTO	6,7101bc
QUINTO	5,8585c
SEXTO	8,8103ab
SÉTIMO	9,5379a

Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna. $P < 0,01$.

(¹) Dias após a semeadura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

De acordo com o teste de variância (teste F) existe interação significativa entre os

fatores época de avaliação e doses de cádmio em relação à variável tamanho da raiz do milho híbrido, indicando a existência de dependência entre os fatores. Através do desdobramento do efeito da interação, pela realização de nova análise de variância (teste F), em que os níveis do fator doses de cádmio foram comparados dentro dos níveis do fator épocas de avaliação (e vice-versa), foi possível observar que existem efeitos significativos entre as épocas de avaliação dentro de cada dose de cádmio, sendo possível perceber que o efeito das doses de cádmio sobre o tamanho da raiz foi diferenciado nas doses 0, 25 e 50 mg L⁻¹. Segundo o mesmo teste, existem ainda efeitos significativos entre as doses de cádmio dentro de cada época de avaliação, isto é, nos dias sexto e sétimo.

O efeito do fator época de avaliação dentro de cada dose de cádmio pode ser observado na tabela 8, enquanto que o efeito do fator doses de cádmio dentro das diferentes épocas de avaliação pode ser observado através das estimativas das equações lineares de 2º grau apresentadas na tabela 9.

Tabela 8. Tamanho da raiz (cm raiz⁻¹) mensurados durante os ensaios de germinação para milho híbrido, em função da dose de cádmio.

Época de Avaliação (DAS ¹)	Dose de Cádmio (mg L ⁻¹)			
	0	25	50	100
QUARTO	6,05 b	7,44 b	5,49 b	5,21
QUINTO	10,93 a	8,34 ab	8,66 ab	7,01
SEXTO	11,84 a	10,57 ab	10,20 a	3,33
SÉTIMO	14,73 a	13,81 a	11,07 a	4,08
		CV ² (Parcela) =5,0 %	CV ² (Subparcela) =4,3 %	

Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna. P<0,01.

(¹) Dias após a semeadura. (²) Coeficiente de Variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Tabela 9. Equações lineares referentes ao efeito das doses de cádmio sobre o tamanho da raiz no milho híbrido.

Época de Avaliação (DAS ¹)	Equações lineares	R ²
SEXTO	y = -2,5921x + 15,469	0,7611
SÉTIMO	y = -3,4675x + 19,596	0,8633

(¹) Dias após a semeadura.

Fonte: elaborado pelo autor, 2017.

Estes resultados indicam uma possível tolerância por parte das raízes do milho Fortuna. Pela literatura, é comum inferir que esta tolerância da planta ao cádmio pode ser atribuída a mecanismos de defesa da planta, visto que estudos têm mostrado que plantas

submetidas ao metal em questão aumentam a produção de fitoquelatinas (BARCELÓ & POSCHENRIEDER, 1992). As fitoquelatinas são peptídeos ricos em cisteína, responsáveis pelo transporte raiz-parte aérea do cádmio e outros elementos, apresentando ainda propriedades quelantes (MELENDEZ et al., 2012).

Souza (2003) atribui a redução no crescimento das raízes em milho híbrido tratado com cádmio, a fatores como menor respiração radicular, danos na permeabilidade das células e interferência nas membranas das células radiculares, além de danos sobre ATP-ases e outros transportadores. Benavides, Gallgo e Tomaro (2005) atribuem ainda ao cádmio a capacidade de redução da microbiota do solo, prejudicando a disponibilidade de nutrientes para a planta.

De acordo com o teste de variância, (teste F), não houve interação significativa entre os fatores época de avaliação e doses de cádmio em relação à variável tamanho da parte aérea para o milho Fortuna (tabela 10). No entanto, foi possível observar efeito significativo para os fatores cádmio e época de aplicação 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 11, 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 12.

Tabela 10. Comprimento da parte aérea das plântulas de milho (cm plantula⁻¹) mesurados durante os ensaios de germinação do milho Fortuna, em função da dose de cádmio.

Época de Avaliação (DAS ¹)	Dose de Cádmio (mg L ⁻¹)			
	0	25	50	100
QUARTO	1,80	1,58	1,61	1,00
QUINTO	2,03	2,46	2,09	1,20
SEXTO	2,98	3,24	3,34	1,47
SÉTIMO	3,18	3,46	3,29	1,83
		CV ² (Parcela) =9,5 %	CV ² (Subparcela) =7,7 %	

(¹) Dias após a semeadura. (²) Coeficiente de Variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Tabela 11. Tamanho médio da parte aérea (cm plântula⁻¹) mensurados durante os ensaios de germinação do milho Fortuna.

Época de Avaliação (DAS ¹)	cm Plântula ⁻¹
QUARTO	1,5041c
QUINTO	1,9521bc
SEXTO	2,7626ab
SÉTIMO	2,9453a

Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna. P<0,01.

(¹) Dias após a semeadura.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Tabela 12. Equação linear referente ao efeito das doses de cádmio sobre o crescimento médio da parte aérea (cm plantula⁻¹) do milho Fortuna.

	Equação linear	R ²
Doses	$y = -17,425x + 87,25$	0,5358

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

De acordo com o teste de variância (teste F) existe interação significativa entre os fatores época de avaliação e doses de cádmio em relação à variável tamanho da parte aérea para o milho híbrido, indicando a existência de dependência entre os fatores. Através do desdobramento do efeito da interação, pela realização de nova análise de variância (teste F), em que os níveis do fator doses de cádmio foram comparados dentro dos níveis do fator época de avaliação (e vice-versa), foi possível observar que não existem efeitos significativos entre as doses de cádmio dentro de cada época avaliada. No entanto, foi possível observar efeito significativo entre as épocas dentro de cada dose de cádmio, sendo possível perceber que o efeito das doses de cádmio sobre a taxa de germinação foi diferenciado nas doses 0, 25, 50 e 100 mg L⁻¹.

O efeito do fator época de avaliação dentro de cada dose de cádmio pode ser observado na tabela 13.

Tabela 13. Tamanho da parte aérea (cm plântula⁻¹) mensurados durante os ensaios de germinação do milho híbrido, em função da dose de cádmio.

Época de Avaliação (DAS)	Dose de Cádmio (mg L ⁻¹)			
	0	25	50	100
QUARTO	2,07 b	2,83 b	2,42 b	2,18 b
QUINTO	4,09 a	3,99 ab	4,55 ab	4,69 ab
SEXTO	4,91 a	6,22 a	4,00 ab	2,62 b
SÉTIMO	5,67 a	5,25 ab	6,33 a	6,79 a
		CV ² (Parcela) = 5,0 %	CV ² (Subparcela) = 6,0 %	

Médias seguidas de uma mesma letra não divergem entre si, em uma mesma coluna. P<0,01.

(¹) Dias após a semeadura. (²) Coeficiente de Variação.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Benavides, Gallego e Tomaro (2005) destaca que são várias as formas encontradas pelas plantas de evitar a toxicidade de metais pesados, seja operando em nível de raiz onde o mesmo é imobilizado por meio da parede celular e carboidratos extracelulares (mucilagem, calos) ou pela ação da membrana plasmática a qual representaria o melhor mecanismo de defesa. Outros mecanismos de defesa da planta são destacados por Malavolta (2006),

compartimentação e a desintoxicação bioquímica destes compostos.

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

O índice de velocidade da germinação pode ser observado nas tabelas 14 e 15, sendo possível verificar que o mesmo não variou ao longo dos tratamentos.

Tabela 14. Índice de velocidade de germinação milho híbrido.

Dose de cádmio (mg L ⁻¹)			
0,0	25	50	100
5,56107	5,49164	5,454839	5,02150

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Tabela 15. Índice de velocidade de germinação milho Fortuna.

Dose de cádmio (mg L ⁻¹)			
0,0	25	50	100
5,58846	5,76222	5,47337	5,68354

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Segundo Gomes (1990), para que se realize a análise conjunta, primeiramente deve-se verificar, como condição, se o quociente entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo (QM_{RES}) é inferior a sete. Realizado o cálculo, obteve-se o quociente 1,5616, estando satisfeitas as condições para a análise conjunta, dando-se prosseguimento á análise de variância para cada milho.

A análise de variância de grupos de experimentos indicou diferenças 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. Também foi possível observar diferenças significativas em relação às fontes de variação época de avaliação e variedade em relação à variável tamanho da parte aérea, porém não em relação às variáveis germinação e tamanho da raiz. Foram ainda detectadas diferenças significativas em relação à interação doses de cádmio e variedade de milho em relação às três variáveis estudadas, enquanto que as interações doses de cádmio, variedades e épocas de avaliação, e épocas de avaliação e variedades não apresentaram diferenças significativas (tabela 16).

Tabela 16. Resultado da análise de variância para a análise conjunta de experimentos.

Fator Variação	GL ³	Quadrado Médio		
		GERMINAÇÃO	T. RAIZ ⁴	T. AÉREA ⁵
Cd ¹	3	808,762**	8,363 ^{NS}	0,312 ^{NS}
DIAS	3	22,814 ^{NS}	5,824 ^{NS}	2,234**
VARIEDADE	1	1,270 ^{NS}	1,800 ^{NS}	8,018**
Cd ¹ X DIAS ²	9	50,665 ^{NS}	1,184 ^{NS}	0,133 ^{NS}
Cd ¹ X VARIEDADE	3	9693,666**	394,347**	92,885**
DIAS ² X VARIEDADE	3	88,916 ^{NS}	1,182 ^{NS}	0,442 ^{NS}
Cd ¹ X DIAS ² X VARIEDADE	9	27376,775 ^{NS}	874,809 ^{NS}	146,363 ^{NS}
RESIDUO	72	4043,641	252,461	13,380

(**) Significativo ao nível $P < 0,01$. (^{NS}) Não significativo. (¹) Doses de Cádmio. (²) Época de avaliação (dias após a semeadura). (³) Graus de liberdade. (⁴) Tamanho das raízes (cm raiz⁻¹). (⁵) Tamanho da parte aérea (cm plântula¹).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017.

Para a variável germinação, os níveis crescentes de cádmio interferiram de forma diferenciada nos dois milhos (Fortuna e híbrido). Os percentuais de germinação foram melhores no milho Fortuna, apesar de apresentar uma taxa de declividade da germinação maior pelo efeito do cádmio, demonstrando a existência de um alto grau de toxicidade das doses de cádmio sobre as variedades de milho.

No que se refere ao tamanho da raiz, a significância na interação cádmio e variedades de milho, demonstra a ação diferenciada deste fator nos ensaios. Esta diferença evidencia que esta variável menos afetada, não apresentando divergência estatística quando avaliado na análise de variância individual.

Os resultados obtidos para a variável tamanho da parte aérea, na análise conjunta, demonstram que a ação das doses de cádmio, interação doses de cádmio e época de avaliação, e época de avaliação e variedades agiram da mesma forma nos dois ensaios, sendo por isso, iguais estatisticamente.

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).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O efeito das diferentes doses de cádmio sobre a porcentagem de germinação dos milhos foi diferenciado nas épocas de avaliação. Porém, apenas o milho híbrido apresentou interação entre os fatores de variação, ficando evidente que o cádmio é tóxico em relação a esta variável.

Os efeitos tóxicos do metal no crescimento das raízes são mais evidentes no milho híbrido, sendo que este efeito aumenta conforme o tempo de exposição. O milho Fortuna por sua vez revelou-se relativamente resistente a ação do metal, não apresentando significância estatística para as doses, apenas para a ação das épocas de avaliação.

O parâmetro velocidade de germinação não apresentou diferença estatística para nenhum dos milhos testados.

Foram observados diferentes efeitos sobre o crescimento da parte aérea do milho híbrido e Fortuna. A toxidez do metal é mais evidente no milho híbrido devido a interação época de avaliação e doses e a ação significativa de todas as doses em cada época de avaliação, sendo que no milho Fortuna as variáveis atuam sem interação e também produzem efeito tóxico.

A análise conjunta reforça as observações feitas com o teste de variância de forma individual e no desdobramento, mostrando que as variedades se comportam de forma diferenciada em relação ao metal, seja na interação entre cádmio e as variedades e ou nos aspectos em que ocorre ação independente da variável sobre o milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, R. H. C. R. **Estatística Experimental**: Conteúdo Didático. Pombal, Pb: Asdf, 2015. 133 p. Centro De Ciências E Tecnologia Agroalimentar Unidade Acadêmica De Ciências Agrárias.
- BARCELÓ, J. & POSCHENRIEDER, C. Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. *Suelo Planta*, 2:345-361,1992.
- BENAVIDES, M. P.; GALLEGOS, S. M.; TOMARO, M. L.. Cadmium toxicity in plants. **Braz. J. Plant Physiol**, [s.i.], v. 7, n. 1, p.21-34, 2005.
- 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.
- BRASIL. Maxwell Merçon Tezolin Barros Almeida. Coordenação de Agropecuária (Ed.). **Estatística da Produção Pecuária**: Junho de 2015. [s.l.], 2015. 47 p.
- BUENO, J. R P. **Qualidade do solo após sucessivas aplicações de lodo de esgoto para o cultivo do milho**. 2010. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônomo Pós-graduação, Campinas, SP, 2010.
- CHUGH, L.K.; SAWHNEY, S.K. Effect of cadmium on germination, amylases and rate of respiration of germinating pea seeds. *Environmental Pollution*, London, v.92, p.1-5, 1996.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (). Acompanhamento da safra brasileira de grãos; v. 1; n.3. Brasília; Conab, 2017.
- CUNHA, Karina Patrícia Vieira da et al. Disponibilidade, Acúmulo E Toxidez De Cádmio E Zinco Em Milho Cultivado Em Solo Contaminado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Recife, PE, v. 4, n. 32, p.1319-1328, dez. 2008.
- DUARTE, Aildson Pereira; KAPPES, Claudinei. Evolução dos sistemas de cultivo de milho no Brasil. **Informações Agronômicas**, Campinas, Sp, p.1-4, dez. 2015. Disponível em: <<http://www.zeamays.com.br/wp-content/uploads/2012/11/2015-Informações-Agronômicas-IPNI-Sistemas-de-Cultivo-de-Milho.pdf>>. Acesso em: 5 fev. 2017.
- DUARTE, Aildson Pereira et al. Milho: Zea mays. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 200. ed. Campinas, SP: Iac, 2014. p. 271-275.
- EDMOND, J. B.; DRAPALA, W. J. The effects of temperature, sand, soil and acetone on germination of okra seed. **Proceedings of the American Society for horticultural Science**, v.71, n.5, p.428-434, 1958.
- FREITAS, E. V. de S. et al. Disponibilidade De Cádmio E Chumbo Para Milho Em Solo Adubado Com Fertilizantes Fosfatados. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, [recife], p.1899-1907, 2009.
- GLAT, Daniel. **A dimensão do milho no mundo**. 2010. Disponível em: <<http://www.abramilho.org.br/noticias.php?cod=975>>. Acesso em: 05 jan. 2017.

- GOMES, F. P.. **Curso de Estatística Experimental**. 13. ed. Piracicaba, SP: Livraria Nobel S.A., 1990. 240 p.
- GONÇALVES, V. C. et al. Biodisponibilidade De Cádmio Em Fertilizantes Fosfatados. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, [s. L.], p.2871-2875, 2008.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. The Anthroposphere. In:(org). Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed. CRC Press, London, 2000. p.123 – 167.
- KING, L.D. Soil heavy metals. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E. & FONTES, M.P. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Viçosa, **1996. p.823- 836**.
- KUPPER, H.; Kupper, F and Spiller, M. Environmental relevance of heavy metal-substituted chlorophylls using the example of water plants. **Journal of Experimental Botany**. v. 47, n. 295, p. 259-266, 1996
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 631p.
- 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.
- MELLENDEZ, L. B. et al. Determination of Metallothioneins and Phytochelatins using HPLC-ICPMS. **Revista Virtual de Química**, v. 4, n. 6, p.612-622, 2012.
- 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, Jaboticabal, Sp, 2008.
- RUPPENTHAL, J. E.. Toxicologia. **Universidade Federal de Santa Maria**, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria ; Rede e-Tec Brasil, Santa Maria; 2013. 128 p.
- SAEFL - Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape - SAEFL. Critical loads of acidity for forest soils – Regional-ized PROFILE model. Bern, 1998.102p. (Environmental Documentation Air/Forest, 88)
- SALGADO, P. E. T. Toxicologia dos Metais In: OGA, S. Fundamentos de toxicologia. São Paulo: Atheneu Editora, 1996. p.153-172.
- SOUZA, J. F. Efeito de metais pesados no desenvolvimento de plântulas de milho (*Zea mays* L.) e rabanete (*Raphanus sativus* L.). 2003. 138p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2003.
- TOPPI, L. S.; GABBRIELLI, R.. Response to cadmium in higher plants. **Environmental And Experimental Botany**, Florença, Itália, p.105-130, 1999.
- 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.

APÊNDICE A – Quadro de análise de variância, % de germinação do milho híbrido

ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F DADOS DE PERCENTUAL DE GERMINAÇÃO REFERENTES AO MILHO TRANSGÊNICO

CAUSA DA VARIÂNCIA	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3	1071,547			
DOSES DE CÁDMIO	3	14942,797	4980,932	19,49	6,99
PARCELAS	9	18314,484			
RESÍDUO (A)	15	2300,141	255,571		
DIAS	3	2290,297	763,432	6,28	4,39
Cd X DIAS	9	5024,391	558,266	4,59	2,96
RESIDUO B	36	4377,063	121,585		
TOTAL	63	30006,234			

DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE - GERMINAÇÃO TRANSGÊNICO INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DOSES Cd

CAUSA DA VARIÂNCIA	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3				
DIAS	3				
DOSES(QUARTO DIA)	3	1361,000	453,667	2,10	4,39
DOSES(QUINTO DIA)	3	3561,000	1187,000	5,50	4,39
DOSES(SEXTO DIA)	3	5514,000	1838,000	8,51	4,39
DOSES(SÉTIMO DIA)	3	9531,188	3177,063	14,72	4,39
DOSES(DIAS)	12	19967,188			
RESIDUO	15	4377,063	215,874		
TOTAL					

DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE - GERMINAÇÃO TRANSGÊNICO INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DIAS

CAUSA DA VARIÂNCIA	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3				
DIAS	3				
DIAS(DOSE ZERO)	3	2108,750	702,917	2,75	4,39
DIAS(DOSE 25)	3	658,750	219,583	0,86	4,39
DIAS(DOSE 50)	3	45,000	15,000	0,06	4,39
DIAS(DOSE 100)	3	4502,188	1500,729	5,87	4,39
DIAS(DOSES)	12	7314,688			
RESIDUO	3		255,571		
TOTAL					

Foten: Elaborado pelo autor, 2017.

APÊNDICE B – Quadro de análise de variância do comprimento radicular referente ao milho híbrido

ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F
DADOS DE COMPRIMENTO DA RAIZ (cm Plantula⁻¹) REFERENTES AO MILHO TRANSGÊNICO

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3	4,056			
DOSES DE CÁDMIO	3	335,972	111,991	37,72	6,99
PARCELAS	9	366,749			
RESÍDUO (A)	15	26,722	2,969		
DIAS	3	192,653	64,218	29,34	4,39
Cd X DIAS	9	162,894	18,099	8,27	2,96
RESIDUO B	36	78,807	2,189		
TOTAL	63	801,104			

DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE - RAIZ TRANSGÊNICO
INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DOSES Cd

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3				
DIAS	3				
DOSES(QUARTO DIA)	3	11,837	3,946	1,13	4,39
DOSES(QUINTO DIA)	3	31,901	10,634	3,06	4,39
DOSES(SEXTO DIA)	3	176,572	58,857	16,92	4,39
DOSES(SÉTIMO DIA)	3	278,555	92,852	26,69	4,39
DOSES(DIAS)	12	498,866			
RESIDUO	15	78,807	3,479		
TOTAL					

DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE - RAIZ TRANSGÊNICO
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	156,043	52,014	17,52	4,39
DIAS(DOSE 25)	3	96,605	32,202	10,85	4,39
DIAS(DOSE 50)	3	72,188	24,063	8,10	4,39
DIAS(DOSE 100)	3	30,711	10,237	3,45	4,39
DIAS(DOSES)	12	355,547			
RESIDUO	3		2,969		
TOTAL					

Foten: Elaborado pelo autor, 2017.

APÊNDICE C – Quadro de análise de variância do comprimento da parte aérea referente ao milho híbrido.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F
DADOS DE COMPRIMENTO DA PARTE AÉREA (cm Plantula¹) REFERENTES AO MILHO TRANSGÊNICO

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3	2,148			
DOSES DE CÂDMIO	3	2,271	0,757	1,04	6,99
PARCELAS	9	10,966			
RESÍDUO (A)	15	6,547	0,727		
DIAS	3	106,290	35,430	33,88	4,39
Cd X DIAS	9	33,828	3,759	3,59	2,96
RESIDUO B	36	37,642	1,046		
TOTAL	63	188,726			

DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE - AÉREA TRANSGÊNICO

INTERAÇÃO DOSES X DIAS + GL DO FATOR DOSES Cd

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3				
DIAS	3				
DOSES(QUARTO DIA)	3	1,375	0,458	0,31	4,39
DOSES(QUINTO DIA)	3	1,381	0,460	0,31	4,39
DOSES(SEXTO DIA)	3	27,719	9,240	6,21	4,39
DOSES(SÉTIMO DIA)	3	5,625	1,875	1,28	4,39
DOSES(DIAS)	12	36,099			
RESIDUO	15	37,642	1,489		
TOTAL					

DECOMPOSIÇÃO DOS GRAUS DE LIBERDADE - AÉREA TRANSGÊNICO

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	28,914	9,638	13,25	4,39
DIAS(DOSE 25)	3	26,154	8,718	11,98	4,39
DIAS(DOSE 50)	3	31,290	10,430	14,34	4,39
DIAS(DOSE 100)	3	53,760	17,920	24,63	4,39
DIAS(DOSES)	12	140,118			
RESIDUO	3		0,727		
TOTAL					

Foten: Elaborado pelo autor, 2017.

APÊNDICE D – Quadros de análise de variância da germinação, comprimento da raiz e comprimento da parte aérea referentes ao milho Fortuna.

ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F
DADOS DE PERCENTUAL DE GERMINAÇÃO REFERENTES AO MILHO VARIETAL

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3	542,000			
DOSES DE CÁDMIO	3	24821,500	8273,833	42,71	6,99
PARCELAS	9	27107,000			
RESÍDUO (A)	15	1743,500	193,722		
DIAS	3	3087,500	1029,167	4,69	4,39
Cd X DIAS	9	5372,000	596,889	2,72	2,96
RESIDUO B	36	7896,500	219,347		
TOTAL	63	43463,000			

ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F
DADOS DE COMPRIMENTO DA RAIZ (cm Plantula⁻¹) REFERENTES AO MILHO VARIETAL

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3	94,753			
DOSES DE CÁDMIO	3	102,164	34,055	1,36	6,99
PARCELAS	9	422,657			
RESÍDUO (A)	15	225,740	25,082		
DIAS	3	143,649	47,883	11,00	4,39
Cd X DIAS	9	73,017	8,113	1,86	2,96
RESIDUO B	36	156,740	4,354		
TOTAL	63	796,063			

ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM APLICAÇÃO DO TESTE DE F
DADOS DE COMPRIMENTO DA PARTE AÉREA (cm Plantula⁻¹) REFERENTES AO MILHO VARIETAL

CAUSA DA VARIACÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCOS	3	1,958			
DOSES DE CÁDMIO	3	17,949	5,983	7,88	6,99
PARCELAS	9	26,739			
RESÍDUO (A)	15	6,833	0,759		
DIAS	3	22,154	7,385	14,82	4,39
Cd X DIAS	9	2,714	0,302	0,61	2,96
RESIDUO B	36	17,937	0,498		
TOTAL	63	69,543			

Foten: Elaborado pelo autor, 2017.

APÊNDICE E – Quadros de análise de variância referentes a análise conjunta de experimentos.

ANALISE DE VARIANCIA DA INTERAÇÃO - Germinação					
CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCO/EXP	24	1613,5			
DOSES CÁDMIO (Cd)	3	2426,287	808,762	14,40	4,09 F(0,01;3;72)
DIAS (D)	3	68,443	22,814	0,41	4,09 F(0,01;3;72)
VAR MILHO (V)	1	1,270	1,270	0,02	7,03 F(0,01;1;72)
INTERAÇÃO Cd X D	9	455,985	50,665	0,90	2,68 F(0,01;9;72)
INTERAÇÃO Cd X V	3	29080,998	9693,666	172,60	4,09 F(0,01;3;72)
INTERAÇÃO D X V	3	266,748	88,916	1,58	4,09 F(0,01;3;72)
INTERAÇÃO Cd X D X	9	246390,977	27376,775	487,46	2,68 F(0,01;9;72)
RESIDUO	72	4043,641	56,162		
TOTAL	127	284347,894			

ANALISE DE VARIANCIA DA INTERAÇÃO - Raiz					
CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCO/EXP	24	98,8			
DOSES CÁDMIO (Cd)	3	25,090	8,363	2,39	4,09 F(0,01;3;72)
DIAS (D)	3	17,472	5,824	1,66	4,09 F(0,01;3;72)
VAR MILHO (V)	1	1,800	1,800	0,51	7,03 F(0,01;1;72)
INTERAÇÃO Cd X D	9	10,652	1,184	0,34	2,68 F(0,01;9;72)
INTERAÇÃO Cd X V	3	1183,042	394,347	112,46	4,09 F(0,01;3;72)
INTERAÇÃO D X V	3	3,547	1,182	0,34	4,09 F(0,01;3;72)
INTERAÇÃO Cd X D X	9	7873,279	874,809	249,49	2,68 F(0,01;9;72)
RESIDUO	72	252,461	3,506		
TOTAL	127	9466,152			

ANALISE DE VARIANCIA DA INTERAÇÃO - Parte aérea					
CAUSA DA VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F(cal)	F(tab)
BLOCO/EXP	24	4,1			
DOSES CÁDMIO (Cd)	3	0,936	0,312	1,68	4,09 F(0,01;3;72)
DIAS (D)	3	6,701	2,234	12,02	4,09 F(0,01;3;72)
VAR MILHO (V)	1	8,018	8,018	43,15	7,03 F(0,01;1;72)
INTERAÇÃO Cd X D	9	1,201	0,133	0,72	2,68 F(0,01;9;72)
INTERAÇÃO Cd X V	3	278,654	92,885	499,84	4,09 F(0,01;3;72)
INTERAÇÃO D X V	3	1,326	0,442	2,38	4,09 F(0,01;3;72)
INTERAÇÃO Cd X D X	9	1317,264	146,363	787,62	2,68 F(0,01;9;72)
RESIDUO	72	13,380	0,186		
TOTAL	127	1631,586			

Foten: Elaborado pelo autor, 2017.