

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITORREMEIADOR  
DE PLANTAS FLORÍFERAS EM SOLO  
CONTAMINADO COM COBRE**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Janine Farias Menegaes**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

# **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITORREMEIADOR DE PLANTAS FLORÍFERAS EM SOLO CONTAMINADO COM COBRE**

**Janine Farias Menegaes**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Agroambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola**

**Orientador: Prof. Alexandre Swarowsky**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Menegaes, Janine Farias

Avaliação do potencial fitorremediador de plantas floríferas em solo contaminado com cobre / Janine Farias Menegaes.-2015.

122 f.; 30cm

Orientador: Alexandre Swarowsky

Coorientadora: Fernanda Alice Antonello Londero

Backes

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2015

1. Fitorremediação do solo 2. Plantas ornamentais 3. Contaminação por cobre 4. Áreas vitivinícolas 5. Metais pesados I. Swarowsky, Alexandre II. Backes, Fernanda Alice Antonello Londero III. Título.

---

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Janine Farias Menegaes. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

e-mail: janine\_rs@hotmail.com

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado**

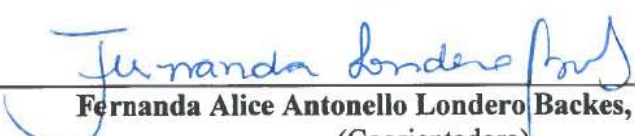
**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITORREMEIADOR DE PLANTAS  
FLORÍFERAS EM SOLO CONTAMINADO COM COBRE**

elaborada por  
**Janine Farias Menegaes**

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Agrícola**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

  
\_\_\_\_\_  
**Alexandre Swarowsky, PhD.**  
(Presidente/Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Fernanda Alice Antonello Londero Backes, Dr. (UFSM)**  
(Coorientadora)

  
\_\_\_\_\_  
**Robson Andreazza, Dr. (UFPEL)**

Santa Maria, 17 de julho de 2015.

## AGRADECIMENTOS

Para viabilizar este trabalho algumas pessoas e organizações, foram de fundamental importância, aos quais singelamente agradeço:

A Coordenação e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade de crescimento pessoal, profissional e acadêmico;

A secretária Luciana pela atenção e seu profissionalismo;

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo incentivo e financiamento parcial deste trabalho;

A Embrapa Uva e Vinho e a Vinícola Don Giovanni pela cedência do material de solo;

Ao professor Rodrigo F. S. Salazar e sua equipe pela colaboração nas análises em tecido vegetal;

Ao professor Robson Andrezza por compor a banca examinadora deste trabalho;

Ao professor Rogério A. Bellé que contribuiu diretamente na construção do meu conhecimento técnico-prático, me instigando a crescer diariamente;

A professora Fernanda A. A. L. Backes que foi mais que uma professora foi uma amiga, uma colega; possibilitando-me a trabalhar no tripé ensino-pesquisa-extensão, acreditando na minha capacidade;

Ao professor Alexandre Swarowsky por possibilitar o meu aprimoramento na produção e pesquisa das flores, pela orientação e, principalmente, pela amizade;

Aos meus pais João Pedro Menegaes e Nelcinda Farias Menegaes que sempre me incentivaram a realizar meus sonhos, independentemente, do seu tamanho. Bem como, aos meus irmãos de sangue e de coração pelo apoio incondicional na torcida do meu êxito;

Aos meus familiares, colegas, amigos e de mais professores, impossível cita-los nominalmente, grata pelo companheirismo e amizade em todas as horas e, pelo incentivo direto e indireto;

Por fim, agradeço verdadeiramente a esta força divina, *Deus*, que me permite acordar, cultivar flores e seguir em frente diariamente.

**A todos meus sinceros agradecimentos e votos de felicidades.**

*“... A lição número um, eu aprendi com meu pai  
Quem não sabe para onde vai, não vai a lugar nenhum ...”*

J. C. Braun e L. Marengo

*“... Cada pessoa é aquilo que crê, fala do que gosta, retém o que procura,  
Ensina o que aprende, tem o que dá e vale o que faz ...”*

Chico Xavier

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria

### **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITORREMEIADOR DE PLANTAS FLORÍFERAS EM SOLO CONTAMINADO COM COBRE**

AUTORA: JANINE FARIAS MENEGAES  
ORIENTADOR: ALEXANDRE SWAROWSKY  
Santa Maria, 17 de julho de 2015.

A contaminação do solo é um problema ambiental, social e econômico. Em áreas vitivinícolas, como as da Serra Gaúcha, o uso prolongado de produtos fitossanitários, a base de cobre, contribuiu para o acúmulo deste elemento no solo, quando em excesso é altamente prejudicial ao desenvolvimento das plantas, impactando no seu potencial produtivo. Visando minimizar o efeito nocivo do Cu nos solos destas áreas, o presente trabalho objetivou avaliar o cultivo e o potencial de extração deste elemento em três espécies florícolas: calla lily (*Zantedeschia* spp.), cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) e crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev), para desempenhar o papel fitorremediador no solo, buscando uma agricultura de baixo impacto ambiental. Foram realizados três distintos experimentos, no período de outubro de 2013 a dezembro de 2014, em ambiente protegido no Setor de Floricultura da UFSM, Santa Maria, RS. O solo utilizado foi coletado em áreas de vitivinicultura, na Serra Gaúcha. E, os teores adicionados de Cu no solo foram por meio de sulfato de cobre. No capítulo I avaliou-se o desenvolvimento e o consumo hídrico da calla lily submetida a diferentes estratégias de irrigação e teores de cobre no solo. O ensaio foi em DIC (delineamento inteiramente casualizado), com esquema fatorial 4x3 (quatro teores de cobre e três estratégias de irrigação), com cinco repetições. Verificou-se que estes teores do Cu adicionado no solo não interferiram no consumo hídrico diário da calla lily, obtendo médias diárias de 0,5, 0,8 e 1,2 mm dia<sup>-1</sup> para as lâminas de 40, 60 e 80% CRA (capacidade de retenção de água no vaso), respectivamente e, que esta espécie apresenta tolerância de cultivo neste ambiente. No capítulo II avaliou-se o desenvolvimento e o consumo hídrico da cravina de jardim e seus efeitos sobre o cultivo em solo apresentando excesso de Cu. O ensaio foi em DIC, em esquema fatorial 4x3 (quatro teores de cobre e três estratégias de irrigação), com cinco repetições. Verificou-se que os teores do Cu adicionados ao solo não interferiram no consumo hídrico diário da cravina de jardim, obtendo médias diárias de 0,42; 0,72 e 0,91 mm dia<sup>-1</sup> para as lâminas de 40, 60 e 80% CRA, respectivamente e, os resultados demonstraram aptidão fitorremediativa da espécie para solos vitivinícolas com excesso deste metal. No capítulo III avaliou-se o desenvolvimento do crisântemo cv. Dark Fiji cultivado em solo com excesso de Cu. O ensaio foi em DIC, em esquema fatorial 5x2 (cinco teores adicionados de Cu no solo e dois ciclos de cultivo), com cinco repetições. Verificou-se que o incremento de Cu no solo afetou o crescimento e desenvolvimento típico da cultura, entretanto, a espécie apresentou tolerância ao cultivo em solo com excesso de Cu, acumulando altas concentrações deste elemento nas raízes. Conclui-se de maneira, geral, que as três espécies apresentam tolerância ao cultivo em solo apresentando excesso de Cu, destacando a cravina de jardim como promissora a fitorremediação do solo.

**Palavras-chave:** *Zantedeschia* spp.; *Dianthus chinensis* L.; *Dendranthema grandiflora* Tzevelev; Metais pesados, Áreas vitivinícolas.

## ABSTRACT

Master's Dissertation  
Agricultural Engineering Postgraduation Program  
Federal University of Santa Maria

### EVALUATION THE POTENTIAL PHYTOREMEDIATION OF FLOWERS ORNAMENTAL IN CONTAMINATED SOIL WITH COPPER

AUTHOR: JANINE FARIAS MENEGAES  
SUPERVISOR: ALEXANDRE SWAROWSKY  
Santa Maria, July 17, 2015.

Soil contamination is an environmental, social and economic problem. In wine areas, prolonged use of phytosanitary products, the copper base, contributed to the accumulation of this element in the soil, when in excess is highly damaging to the development of plants, impacting on their productive potential. In order to minimize the harmful effect of Cu in soils of these areas, this study aimed to evaluate the cultivation and the potential extraction of this element in three floricultural species: calla lily (*Zantedeschia* spp.), dianthus (*Dianthus chinensis* L.) and chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev), to play the role phytoremediation in soil, seeking a low environmental impact agriculture. Three separate experiments were carried out from October 2013 to December 2014, in a protected environment in the Floriculture sector in UFSM, Santa Maria, RS. The soil was collected in areas of viticulture. And, the contents of Cu added were in the ground by means of copper sulphate. In Chapter I evaluated the development and the water consumption of calla lily under different irrigation strategies and copper levels in the soil. The trial was in DIC (completely randomized design), with factorial arrangement 4x3 (four copper levels and three irrigation strategies), with five repetitions. It was found that these levels of added Cu in soil does not interfere with the daily water consumption calla lily, obtaining average daily 0.5, 0.8 and 1.2 mm day<sup>-1</sup> for the blades 40, 60 and 80% CRA (water retention capacity of the vessel), respectively, and that this species is tolerant crop in this environment. In Chapter II evaluated the development and the water consumption of dianthus and its effect on the culture in ground presenting excess Cu. The test was DIC in factorial 4x3 (four copper levels and three irrigation strategies), with five repetitions. It was found that Cu content added to the soil will not interfere with the daily water consumption dianthus obtaining daily averages 0.42; 0.72 and 0.91 mm day<sup>-1</sup> for the blades 40, 60 and 80% CRA, respectively, and the results showed fitorremediativa fitness grapevine species to soils with excess of this metal. Chapter III evaluated the development of chrysanthemum cv. Dark Fiji grown in soil with excess Cu. The test was DIC in factorial 5x2 (five levels of added Cu in soil and two crop cycles), with five repetitions. It was found that the increase of Cu in the soil affect the normal development and growth of the culture, however, it showed tolerance to crop species in soil with excess Cu, accumulating high concentrations of this element in the roots. We conclude so, overall, the three species have tolerance culture in ground presenting excess Cu, highlighting the dianthus as promising phytoremediation soil.

**Key words:** *Zantedeschia* spp.; *Dianthus chinensis* L.; *Dendranthema grandiflora* Tzevelev; Heavy metals, Wine areas.



## LISTA DE TABELAS

### Revisão bibliográfica

Tabela 2.1 – Plantas com potencial fitorremediador de cobre ao redor do mundo em áreas de vitivinicultura.....28

### CAPÍTULO I - Potencial de fitorremediação de solo contaminado com cobre por *Zantedeschia* spp. submetida a diferentes estratégias de irrigação

Tabela 3.1 – Teores adicionados de Cu no solo (Cu Solo); concentrações médias de Cu na fitomassa seca total (Cu Tot), na parte aérea (Cu PA) e no tubérculo (Cu Tub); fator médio de translocação (FT), fator médio de bioacumulação na parte aérea (FCA) e fator médio de bioconcentração no tubérculo (FCO) no cultivo da calla lily (*Zantedeschia* spp.). Santa Maria, RS, 2014.....55

### CAPÍTULO II - Fitorremediação de solo contaminado com cobre utilizando *Dianthus chinensis* L. com diferentes lâminas de irrigação

Tabela 4.1 – Número efetivo de plantas totais (PENt), número efetivo de parte aérea de plantas (PENpa) e taxa de extração de cobre (MER) do cultivo de cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) submetidas a 40, 60 e 80% da capacidade de retenção de água no vaso (CRA) em função dos diferentes teores adicionados de cobre no solo 00, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). Santa Maria, RS, 2014.....75

Tabela 4.2 – Doses adicionados de CuSO<sub>4</sub> no solo (Cu Solo); concentrações médias de Cu na fitomassa seca total (Cu Tot), na parte aérea (Cu PA) e na raiz (Cu Rz); fator médio de translocação (FT), fator médio de bioacumulação na parte aérea (FCA) e fator médio de bioconcentração na raiz (FCO) no cultivo cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.). Santa Maria, RS, 2014.....76

### CAPÍTULO III - Fitorremediação de solo contaminado com cobre em área vitivinícola utilizando *Dendranthema grandiflora* Tzevelev cv. Dark Fiji

Tabela 5.1 - Número efetivo de plantas totais (PENt), número efetivo de parte aérea de plantas (PENpa) e taxa de extração de cobre (MER) do cultivo de crisântemo cv. Dark Fiji (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev.) submetidas a 40, 60 e 80% da capacidade de retenção de água no vaso (CRA) em função dos diferentes teores adicionados de cobre no solo 00, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). Santa Maria, RS, 2014. ....93

Tabela 5.2 – Doses adicionados de CuSO<sub>4</sub> no solo (Cu Solo); concentrações médias de Cu na fitomassa seca total (Cu Tot), na parte aérea (Cu PA) e na raiz (Cu Rz); fator médio de translocação (FT), fator médio de bioacumulação na parte aérea (FCA) e fator médio de bioconcentração na raiz (FCO) no cultivo de crisântemo cv. Dark Fiji (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev). Santa Maria, RS, 2014.....94

### Discussão geral

- Tabela 6.1 – Fator médio de translocação (FT), fator médio de bioacumulação na parte aérea (FCA) e fator médio de bioconcentração na raiz (FCO) no cultivo das espécies calla lily (*Zantedeschia* spp.), cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) e crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev). Santa Maria, RS, 2014...  
..... 101
- Tabela 6.2 – Teor inicial de Cu no solo (Cu Solo Tin.), teor máximo de Cu adicionado no solo por meio de CuSO<sub>4</sub> (Cu Solo Tmáx.), concentração média de Cu na planta pós-cultivo (Cu PCul.) e simulação dos números de prováveis cultivos para fitorremediação do solo (NCFt.) para as espécies calla lily (*Zantedeschia* spp.), cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) e crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev). Santa Maria, RS, 2014..... 101

## LISTA DE FIGURAS

### Revisão bibliográfica

- Figura 2.1 – *Zantedeschia* spp. A: Ilustração botânica, B: Fotografia. Fonte: Adaptado de Márquez (1999) e Menegaes, J. F. (2014). ..... 31
- Figura 2.2 – *Dianthus chinensis* L. A: Ilustrações botânicas, B: Fotografia. Fonte: Adaptado de Winkelman (1910) e Menegaes, J. F. (2014). ..... 33
- Figura 2.3 – *Dendranthema grandiflora* Tzevelev cv. Dark Fiji. A: Ilustração botânica, B: Fotografia. Fonte: Adaptado de Stock (2014) e Menegaes, J. F. (2014). ..... 34

### CAPÍTULO I - Potencial de fitorremediação de solo contaminado com cobre por *Zantedeschia* spp. submetida a diferentes estratégias de irrigação

- Figura 3.1 – Calla lily (*Zantedeschia* spp.) cultivada em 150 dias (1 ao 150 DAP) em função dos diferentes teores adicionados de Cu no solo (zero, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). A: Temperaturas do ar máxima e mínima (° C) e umidade relativa do ar (%); B: Consumo hídrico (mm dia<sup>-1</sup>) de 40% CRA (capacidade de retenção de água no vaso); C: Consumo hídrico (mm dia<sup>-1</sup>) de 60% CRA; D: Consumo hídrico (mm dia<sup>-1</sup>) de 80% CRA. Santa Maria, RS, 2014. .... 49
- Figura 3.2 – Ilustrações das folhas de calla lily (*Zantedeschia* spp.) em função dos diferentes teores adicionados de Cu no solo (zero (sem adição), 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). Santa Maria, RS, 2014. .... 50
- Figura 3.3 – Parâmetros fitotécnicos da calla lily (*Zantedeschia* spp.) submetidas as 40, 60 e 80% da capacidade de retenção de água no vaso (CRA) em função dos diferentes teores adicionados de Cu no solo (zero, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). A: consumo hídrico acumulado (CHA); B: uso e eficiência da água (UEA); C: altura média da planta; D: área foliar total; E: fitomassa fresca da parte aérea e F: fitomassa seca da parte aérea; G: fitomassa fresca dos tubérculos; H: fitomassa seca dos tubérculos. Santa Maria, RS, 2014. .... 52
- Figura 3.4 – Partição de cobre (µg kg<sup>-1</sup>) na fitomassa seca da calla lily (*Zantedeschia* spp.) em função dos diferentes teores adicionados de Cu no solo (zero, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). A: concentrações de Cu na fitomassa seca da parte aérea; B: concentrações de Cu na fitomassa seca dos tubérculos. Santa Maria, RS, 2014. .... 54

### CAPÍTULO II - Fitorremediação de solo contaminado com cobre utilizando *Dianthus chinensis* L. com diferentes lâminas de irrigação

- Figura 4.1 – Cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) cultivada em 90 dias de cultivo (1 ao 90 DAP) função dos diferentes teores adicionados de cobre no solo (zero, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). A: Temperaturas do ar máxima e mínima (°C) e umidade relativa do ar (%); B: Consumo hídrico (mm dia<sup>-1</sup>) de 40% CRA (capacidade de retenção de água no vaso); C: Consumo hídrico (mm dia<sup>-1</sup>) de 60% CRA; D: Consumo hídrico (mm dia<sup>-1</sup>) de 80% CRA. Santa Maria, RS, 2014. .... 68
- Figura 4.2 – Ilustrações dos vasos de cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) em função dos diferentes teores adicionados de cobre no solo (zero, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de

- CuSO<sub>4</sub>). A: 40% CRA(capacidade de retenção de água no vaso); B: 60% CRA e C: 80% CRA. Santa Maria, RS, 2014. Foto: Menegaes, J. F. (2014). ..... 69
- Figura 4.3 – Parâmetros fitotécnicos da cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) submetidas a 40, 60 e 80% da capacidade de retenção de água no vaso (CRA) em função dos diferentes teores adicionados de cobre no solo (00, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). A: Consumo Hídrico Acumulado (CHA); B: Uso e Eficiência da Água (UEA); C: Altura média da Planta (ALP); D: Número médio da Haste Foliar (NHF); E: Número médio de Flores (NFL); F: Nota de Cobertura de Vaso (CBV); G: Fitomassa Fresca da Parte Aérea (FFPA); H: Fitomassa Seca da Parte Aérea (FSPA); I: Fitomassa Fresca das Raízes (FFRZ) e J: Fitomassa Seca das Raízes (FSRZ). Santa Maria, RS, 2014. .... 71
- Figura 4.4 – Ilustrações dos vasos de cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.). A: vista frontal e B: vista superior. \*CRA: capacidade de retenção de água no vaso. Santa Maria, RS, 2014. Foto: Menegaes, J. F. (2014). ..... 72
- Figura 4.5 – Concentrações de Cu (mg kg<sup>-1</sup>) na fitomassa da parte aérea e nas raízes da cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) submetidas a 40, 60 e 80% da capacidade de retenção de água no vaso (CRA) em função dos diferentes teores adicionados de cobre no solo 00, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). Santa Maria, RS, 2014. .... 74

### **CAPÍTULO III - Fitorremediação de solo contaminado com cobre em área vitivinícola utilizando *Dendranthema grandiflora* Tzevelev cv. Dark Fiji**

- Figura 5. 1– Temperaturas máxima e mínima do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e fotoperíodo (h) de julho a dezembro de 2014 para o cultivo de crisântemo cv. Dark fiji (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev). E: data da estaquia, T: data do transplante, C: data da colheita, 1: primeiro ciclo e 2: segundo ciclo. Santa Maria, RS, 2014. .... 88
- Figura 5. 2 – Parâmetros fitotécnicos do cultivo de crisântemo cv. Dark Fiji (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev) em função dos teores adicionados de Cu ao solo (00, 250, 500, 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>) em dois ciclos de cultivo. A: altura média da planta; B: diâmetro da inflorescência; C: diâmetro da haste; D: comprimento médio da raiz; E: fitomassa fresca da parte; F: fitomassa seca da parte aérea; G: fitomassa fresca das raízes; H: fitomassa seca das raízes. Santa Maria, RS, 2014. .... 90
- Figura 5. 3 – Ilustração das plantas de crisântemo cv. Dark Fiji (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev) em função dos teores adicionados de Cu ao solo (sem adição, 250, 500, 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>) em dois ciclos de cultivo. A: aparência foliar do 1º ciclo de cultivo; B: aparência foliar do 2º ciclo de cultivo; C: raízes do 1º ciclo de cultivo; D: raízes do 2º ciclo de cultivo. Santa Maria, RS, 2014. .... 91
- Figura 5.4 – Concentrações de Cu (µg kg<sup>-1</sup>) na fitomassa das plantas de crisântemo cv. Dark fiji (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev) em função dos teores adicionados de Cu ao solo em dois ciclos de cultivo. A: na fitomassa da parte aérea; B: fitomassa das raízes. Santa Maria, RS, 2014.. .... 92

## LISTA DE ABREVIACOES

AF	Área foliar
ALP	Altura média da planta
CBV	Nota de Cobertura de Vaso
CHA	Consumo hídrico acumulado (mm)
CRA	Capacidade de retenção de água no vaso (g)
CRA <sub>total</sub>	Capacidade total de retenção de água no vaso (g)
Cu PA	Concentrações médias de Cu na parte aérea (mg kg <sup>-1</sup> )
Cu PCul.	Concentração média de Cu na planta pós-cultivo
Cu Rz	Concentrações médias de Cu na raiz (mg kg <sup>-1</sup> )
Cu Solo	Teores adicionados de Cu no solo (mg kg <sup>-1</sup> de CuSO <sub>4</sub> )
Cu Solo Tin.	Teor inicial de Cu no solo
Cu Solo Tmáx.	Teor máximo de Cu adicionado no solo por meio de CuSO <sub>4</sub>
Cu Tot	Concentrações médias de Cu na fitomassa seca total (mg kg <sup>-1</sup> )
Cu Tub	Concentrações médias de Cu no tubérculo (mg kg <sup>-1</sup> )
Cu <sub>planta</sub>	Concentração de cobre na fitomassa seca total
Cu <sub>solo</sub>	Teor de Cu disponível no solo após o cultivo
DAP	Dias após o plantio
Etr	Evapotranspiração real da planta em vaso
FCA	Fator médio de bioacumulação na parte aérea
FCO	Fator médio de bioconcentração no tubérculo / na raiz
FFPA	Fitomassa fresca da parte aérea
FFRS	Fitomassa fresca das raízes
FM <sub>Tot</sub>	Fitomassa total
FSPA	Fitomassa seca da parte aérea
FSRZ	Fitomassa seca das raízes
FT	Fator médio de translocação
i	Índice representa o intervalo de tempo considerado para o balanço
I	Irrigação aplicada no vaso no intervalo de tempo
M <sub>i</sub>	Peso do solo e da água contida no vaso
M <sub>i+1</sub>	Peso do solo e água remanescente após Δt
M <sub>raiz</sub>	Massa do volume de solo enraizada pela espécie
n%	Limite estipulado da CRA <sub>total</sub> (%)
NCFt.	Números de prováveis cultivos para fitorremediação do solo
NFL	Número médio de flores
NHF	Número médio da haste foliar
ns	Efeito não significativo da interação AxD
P <sub>1</sub>	Peso do vaso preenchido com substrato seco (g)
P <sub>2</sub>	Peso do vaso preenchido com o substrato saturado (g)
PMT	Peso médio dos tubérculos (g)
PV <sub>40%</sub>	Peso do vaso no tratamento 40% CRA (g)
PV <sub>60%</sub>	Peso do vaso no tratamento 60% CRA (g)
PV <sub>80%</sub>	Peso do vaso no tratamento 80% CRA (g)
PV <sub>n%</sub>	Peso do vaso para cada tratamento conforme o limite estipulado (g)
PV <sub>seco</sub>	Peso do vaso preenchido com solo seco (g)
UEA	Uso e eficiência de água
Δt	Intervalo de tempo de aferição dos vasos foi de três dias (Δt=3)

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A – Laudo de análise de solo após cultivo da calla lily ( <i>Zantedeschia</i> spp.) realizado no Laboratório de análise de solo da UFSM, vinculado ao ROLAS – RS/SC <sup>1</sup> . Santa Maria, RS, 2014. ....	105
Anexo B – Laudo de análise de solo após cultivo da cravina de jardim ( <i>Dianthus chinensis</i> L.) realizado no Laboratório de análise de solo da UFSM, vinculado ao ROLAS – RS/SC <sup>1</sup> . Santa Maria, RS, 2014. ....	106
Anexo C – Laudo de análise de solo após cultivo do crisântemo ( <i>Dendranthema grandiflora</i> Tzevelev) realizado no Laboratório de análise de solo da UFSM, vinculado ao ROLAS – RS/SC <sup>1</sup> . Santa Maria, RS, 2014. ....	107

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Croqui do experimento dentro da casa de vegetação do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da UFSM. Santa Maria, 2013. ....	109
Apêndice B – Análise de variância (ANOVA) dos parâmetros do cultivo de calla lily ( <i>Zantedeschia</i> spp.). Santa Maria, RS, 2014. ....	110
Apêndice C – Análise de regressão dos parâmetros com efeito significativo dos fatores A e/ou D referentes ao cultivo de calla lily ( <i>Zantedeschia</i> spp.). Santa Maria, RS, 2014. ....	111
Apêndice D – Análise de variância (ANOVA) dos parâmetros do cultivo de cravina de jardim ( <i>Dianthus chinensis</i> L.). Santa Maria, RS, 2014. ....	113
Apêndice E – Análise de regressão dos parâmetros com efeito significativo dos fatores A e/ou D referentes ao cultivo de cravina de jardim ( <i>Dianthus chinensis</i> L.). Santa Maria, RS, 2014. ....	114
Apêndice F – Análise de variância (ANOVA) dos parâmetros do cultivo do crisântemo ( <i>Dendranthema grandiflora</i> Tzevelev). Santa Maria, RS, 2014. ....	116
Apêndice G – Análise de regressão dos parâmetros com efeito significativo dos fatores A e/ou D referentes ao cultivo do crisântemo ( <i>Dendranthema grandiflora</i> Tzevelev). Santa Maria, RS, 2014. ....	117
Apêndice H – Dados de temperatura máxima do ar (Tmáx.), temperatura mínima do ar (Tmim.), umidade relativa do ar às 12 horas (UR 12h) e insolação (Ins.) para o período cultivo da cultivo de calla lily ( <i>Zantedeschia</i> spp.). Santa Maria, RS, 2013/2014. ....	119
Apêndice I – Dados de temperatura máxima do ar (Tmáx.), temperatura mínima do ar (Tmim.), umidade relativa do ar às 12 horas (UR 12h) e insolação (Ins.) para o período cultivo da cravina de jardim ( <i>Dianthus chinensis</i> L.). Santa Maria, RS, 2014. ....	120
Apêndice J – Dados de temperatura máxima do ar (Tmáx.), temperatura mínima do ar (Tmim.), umidade relativa do ar às 12 horas (UR 12h) e insolação (Ins.) para o período cultivo do crisântemo ( <i>Dendranthema grandiflora</i> Tzevelev). Santa Maria, RS, 2014. ....	121

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>17</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>20</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>23</b>
<b>2.1 Relações cobre-solo-planta.....</b>	<b>23</b>
<b>2.2 Fitorremediação.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3 Cenário atual do setor florícola brasileiro .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4 Espécies floríferas cultivadas neste trabalho .....</b>	<b>30</b>
2.4.1 Calla lily ( <i>Zantedeschia</i> spp.).....	30
2.4.2 Cravina de jardim ( <i>Dianthus chinensis</i> L.).....	32
2.4.3 Crisântemo ( <i>Dendranthema grandiflora</i> Tzevelev).....	33
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>35</b>
<b>3 CAPÍTULO I - POTENCIAL DE FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM COBRE POR <i>Zantedeschia</i> spp. SUBMETIDA A DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO.....</b>	<b>43</b>
<b>3.1 Introdução.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2 Material e Métodos.....</b>	<b>45</b>
<b>3.3 Resultados e Discussão .....</b>	<b>48</b>
3.3.1 Consumo hídrico .....	48
3.3.2 Parâmetros fitotécnicos.....	51
3.3.3 Relação das concentrações de Cu na parte aérea e nos tubérculos com as doses aplicadas .....	53
<b>3.4 Conclusão .....</b>	<b>56</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>56</b>
<b>4 CAPÍTULO II - FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM COBRE UTILIZANDO <i>Dianthus chinensis</i> L. COM DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO .....</b>	<b>61</b>
<b>4.1 Introdução.....</b>	<b>62</b>
<b>4.2 Material e Métodos.....</b>	<b>63</b>
<b>4.3 Resultados e Discussão .....</b>	<b>66</b>
4.3.1 Consumo hídrico .....	67
4.3.2 Parâmetros fitotécnicos.....	70
4.3.3 Relação das concentrações de Cu na parte aérea e nas raízes com as doses aplicadas ...	73
<b>4.4 Conclusão .....</b>	<b>77</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>77</b>
<b>5 CAPÍTULO III - FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM COBRE EM ÁREA VITIVINÍCOLA UTILIZANDO <i>Dendranthema grandiflora</i> Tzevelev cv. DARK FIJI .....</b>	<b>83</b>
<b>5.1 Introdução.....</b>	<b>84</b>
<b>5.2 Material e Métodos.....</b>	<b>85</b>
<b>5.3 Resultados e Discussão .....</b>	<b>87</b>
5.3.1 Épocas de cultivo.....	87
5.3.2 Parâmetros fitotécnicos.....	89
5.3.3 Relação das concentrações de Cu na parte aérea e nas raízes com as doses aplicadas ...	91

<b>5.4 Conclusão .....</b>	<b>95</b>
<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>95</b>
<b>6 DISCUSSÃO GERAL .....</b>	<b>100</b>
<b>7 CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>108</b>



## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A contaminação do solo é um dos principais problemas ambientais da atualidade, sobretudo, pelo acúmulo de metais pesados oriundos do uso e do descarte de resíduos químicos e das atividades agrícolas e industriais. Na tentativa de recuperar, despoluir e/ou amenizar os danos de áreas contaminadas, diferentes métodos são sugeridos, divididos em dois grupos: *ex situ* e *in situ* (SANTOS; NOVAK, 2013). O primeiro grupo abrange os métodos *ex situ*, tais como: escavação, incineração, extração com solvente, oxirredução, entre outros, sendo bastante dispendiosos e destrutivos (TIBURTIUS, 2008; OLIVEIRA et al., 2009). O segundo grupo são os métodos *in situ*, que utilizam plantas e comunidades microbianas por meio de processos biotecnológicos para remover ou reduzir poluentes do ambiente (GAYLARDE; BELLINASSO; MANFIO, 2005; SOUTO, 2011). Estas são técnicas que apresentam eficiência na descontaminação, simplicidade na execução, menor custo e tempo demandado pelo processo (COUTINHO; BARBOSA, 2007).

Entre os métodos *in situ*, a fitorremediação é uma tecnologia efetiva e não destrutiva, que visa o tratamento de solos contaminados através da utilização de plantas, apresentando baixo impacto ambiental e grande aceitação pública (OLIVEIRA et al., 2009; MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011). Deste modo, é necessário testar várias espécies vegetais, com diferentes níveis de resistência e detectar aquela que possui maior habilidade de extração do contaminante.

Nos sistemas de produção de alimentos, tanto o convencional como os alternativos, o controle fitossanitário é essencial, contudo, o uso de agrotóxicos<sup>1</sup> em excesso vem causando danos ambientais consideráveis. Por exemplo, na vitivinicultura mundial, o controle fitossanitário, sobretudo os fúngicos, é realizado com produtos à base de cobre (Cu), independente do sistema produtivo. Os fungicidas cúpricos, como a calda bordalesa, são preocupantes pelas sucessivas aplicações no ano safra e ao longo dos anos podendo resultar no acúmulo deste elemento no solo, elevando os riscos de toxicidade e contaminação dos lençóis freáticos (ROMBALDI et al., 2004; VENDRUSCOLO, 2013).

A calda bordalesa, uma mistura de sulfato de cobre, óxido de cálcio e água [(CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O+Ca(OH)<sub>2</sub>)], foi desenvolvida em 1882, pelo botânico francês Pierre M. A.

---

<sup>1</sup> De acordo, com a Lei nº 7.802 de 11 de julho de 1989, agrotóxicos e afins são produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos para uso no cultivo, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos nocivos (BRASIL, 1989).

Millardet, em Bourdeaux na França (MACKIE; MÜLLER; KANDELER, 2012). Desde então, esta calda vem sendo mundialmente utilizada como fungicida e bactericida na vitivicultura (JEYAKUMAR et al., 2014), atendendo sua finalidade fitossanitária. Apesar disso, seu uso contínuo, contribuiu com o acúmulo de Cu na superfície do solo, o qual apresenta baixa mobilidade, modificando a sua distribuição e dessorção no perfil do solo (CASALI et al., 2008).

Nas áreas vitivinícolas da Serra Gaúcha, pesquisas vêm mostrando que, em virtude do uso contínuo de produtos cúpricos, o acúmulo de Cu nestes solos pode chegar a valores de até  $3.215 \text{ mg kg}^{-1}$ , resultando no incremento de, aproximadamente,  $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (ARIAS et al., 2004; MIRLEAN; ROISENBERG; CHIES, 2007; NACHTIGALL et al., 2007; MACKIE; MÜLLER; KANDELER, 2012). Entretanto, o cobre é um micronutriente essencial para o desenvolvimento vegetal, participa do processo fotossintético como constituinte da plastocianina, do ácido ascórbico oxidase, do transporte de elétrons, da lignificação da parede celular, entre outros (MALAVOLTA, 1980; TAIZ; ZEIGER, 2009).

O cobre encontra-se, naturalmente, disponível no solo em baixas concentrações (FERREIRA; CRUZ, 1991), com processo natural de transferência no sistema solo-planta, através da sua ciclagem biogeoquímica (CAIRES et al., 2011). Porém, em excesso, pode causar alterações drásticas nos tecidos vegetais, em nível bioquímico e fisiológico, os quais resultam em perdas consideráveis no potencial produtivo das plantas (SANTOS et al., 2004), danificando a mineralização de resíduos vegetais e impossibilitando a fixação de nitrogênio (N) (MALAVOLTA, 1980; ZEITOUNI, 2003).

Entre as doenças fúngicas da videira no sul do país, a de maior expressão é o míldio da videira (*Plasmopara vitícola* (Berk & Curt) Berlese & de Toni) estendendo-se, praticamente, por todo ciclo produtivo, causando sérios prejuízos à vitivicultura, com a destruição parcial ou total dos frutos, se não adotadas medidas de controle (SÔNEGO et al., 2002; PERUCH; BRUNA, 2008). No Rio Grande do Sul, em cultivo convencional de uva a céu aberto, tem-se, em média, 14 pulverizações com fungicida, dos quais de 8 a 10 são apenas para o controle do míldio da videira, consistindo em aproximadamente 30% do custo de produção (MENDES, 2002; SANTOS; CHAVARRIA, 2012; CHAVARRIA; SANTOS, 2013). Esta doença também pode produzir efeitos negativos na produção futura, provocando a desfolha e, conseqüentemente, o enfraquecimento da planta.

Na tentativa de conter os efeitos deletérios do Cu acumulado em solo vitivinícola, pesquisadores ao redor do mundo, vêm utilizando plantas para auxiliar na ciclagem natural deste elemento. Mackie, Müller e Kandeler (2012) realizaram uma revisão a nível mundial

sobre o tema, destacando as espécies com potencial fitorremediador do Cu em áreas de vitivinicultura, que na sua maioria são plantas destinadas a cobertura do solo e adubação verde, como (*Brassica* spp.), aveia-branca e aveia-preta (*Avena* sp.), erva-traqueira (*Silene vulgaris* L.), menta-roxa (*Elsholtzia splendens* N. F. M.), entre outras.

No Brasil, pesquisadores, sobretudo, da EMBRAPA Uva e Vinho de Bento Gonçalves, RS, são precursores nesta linha de estudo, utilizando espécies como aveia (*Avena* sp.), azevém (*Lolium multiflorum* L.) e ervilhaca (*Vicia sativa* L.) (OLIVEIRA et al, 2004). Há também registros de trabalhos envolvendo espécies nativas florestais, tais como: cedro (*Cedrela fissilis* Vell.), timbáuva (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong.) e canafístula (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.) (SILVA, 2007; CAIRES et al., 2011), com resultados positivos para a fitorremediação de solos com acúmulo de cobre. Portanto, a seleção de espécies vegetais com potencial de extração, remediação ou estabilização de um poluente em áreas contaminadas, depende, diretamente, de pesquisas relacionadas, visando o aprimoramento da técnica fitorremediativa, de maneira, que seja socioeconômica e ambientalmente viável.

Deste modo, compreendendo a versatilidade do ramo agrícola da floricultura, que engloba a produção e a comercialização de flores e plantas ornamentais, esta se torna interessante alternativa para a utilização como potencial fitorremediadora. Uma vez que, as espécies cultivadas não se destinam a alimentação e podem ser comercializadas futuramente.

A floricultura caracteriza-se por com um segmento promissor no cenário hortícola nacional (JUNQUEIRA; PEETZ, 2008), com uma produção comercial muito diversificada em função da sua extensão territorial, chegando a cultivar mais de 3.000 variedades de plantas de clima temperado e tropical (FRANÇA; MAIA, 2008; IBRAFLOR, 2014). Com alta rentabilidade por área, a floricultura tende a contribuir para a permanência do homem no campo, pois o cultivo é viável em pequena propriedade, e tem como característica a mão de obra familiar (KÄMPF; DAUDT, 1999).

Diante do exposto, visando minimizar os efeitos negativos do Cu nos solos de áreas vitivinícolas, o presente trabalho objetivou avaliar o desenvolvimento, o potencial de floração e de extração do Cu com o uso de plantas floríferas. Para tanto, foram utilizadas as espécies de calla lily (*Zantedeschia* spp.), cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) e crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev), para a execução deste trabalho. Todas as espécies foram cultivadas em solo com excesso deste elemento, buscando uma agricultura de baixo impacto ambiental e agregando diversos ramos do agronegócio.

## Referências Bibliográficas

ARIAS, M.; LÓPEZ, E.; FERNÁNDEZ, D.; SOTO, B. Copper distribution and dynamics in acid vineyard soils treated with copper-based fungicides. **Journals Soil Science**, Baltimore, v. 169, n. 11, p. 796-805, 2004.

BRASIL. Lei nº 7.802 de 11 de julho de 1989. **Lei dos agrotóxicos**. 1989.

CAIRES, S. M.; FONTES, M. P. F.; FERNANDES, R. B. A.; NEVES, J. C. L.; FONTES, R. L. F. Desenvolvimento de mudas de cedro-rosa em solo contaminado com cobre: tolerância e potencial para fins de fitoestabilização do solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.6, p.1181-1188, 2011.

CASALI, C.A.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S.; BRUNETTO, G.; CORCINI, A. L. M.; KAMINSKI, J.; MELO, J. W. B. Formas e dessorção de cobre em solos cultivados com videira na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1479-1487, 2008.

CHAVARRIA, G.; SANTOS, H. P. Cultivo protegido de videira: manejo fitossanitário, qualidade enológica e impacto ambiental. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 910-918, 2013.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização. **Revista Silva Lusitana**. Lisboa, v. 15, n. 1, p. 103-117, 2007.

FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Cobre. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq. 1991, 131-157p.

FRANÇA, C. M.; MAIA, M. B. R. **Panorama do Agronegócio de flores e plantas ornamentais no Brasil**. SOBER - Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho. 2008.

GAYLARDE, C. C., BELLINASSO, M. L.; MANFIO, G. P. Biorremediação - aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de aerobióticos. **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**. Brasília, v. edição especial, n. 34, p. 36-43, 2005.

IBRAFLOR - INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **Boletim IBRAFLOR**. nov. e dez. v. 51, ano 05, 2014. Disponível em: <<http://www.ibraflor.com/publicacoes/vw.php?cod=230>>. Acesso em: 12 jan. 2015.

JEYAKUMAR, P.; ANDERSON, C. W. N.; HOLMES, A.; MILLER, S. **Optimising copper sprays on kiwifruit: a review**. 2014. Disponível em: <[http://www.massey.ac.nz/~flrc/workshops/14/Manuscripts/Paper\\_Jeyakumar\\_1\\_2014.pdf](http://www.massey.ac.nz/~flrc/workshops/14/Manuscripts/Paper_Jeyakumar_1_2014.pdf)>. Acesso em: 8 jan. 2015.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. Mercado interno para os produtos da floricultura brasileira: características, tendências e importância socioeconômica recente. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 14, n.1, p. 37-52, 2008.

KÄMPF, A. N.; DAUDT, R. S. Diagnóstico da floricultura no Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 561-563, 1999.

MACKIE, K. A.; MÜLLER, T.; KANDELER, E. Remediation of copper in vineyards - A mini review. **Journals Environmental Pollution**, California, v. 167, p. 16-26. 2012.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda., 1980. 252p.

MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C.; SILVA, J. J. L. S. Desafios, técnicas e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 1-11, 2011.

MENDES, C. S. **Flutuação de inoculo no ar, desenvolvimento e validação de um sistema de previsão do míldio da videira**. 2002. 123f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2002.

MIRLEAN, N.; ROISENBERG, A.; CHIES, J. O. Metal contamination of vineyard soils in wet subtropics (Southern Brazil). **Journals Environmental Pollution**, California, v. 149, n.1, p. 10-17, 2007.

NACHTIGALL, G. R.; NOGUEIROL, R. C.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. Copper concentration of vineyard soils as a function of pH variation and addition of poultry litter. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 50, n. 6, p. 941-948, 2007.

OLIVEIRA, D. L.; ROCHA, C.; MOREIRA, P. C. LAUDARES, S. O. Plantas nativas do cerrado: uma alternativa para fitorremediação. **Revista Estudos**, Goiânia, v. 36, n. 11-12, p. 1141-1159, 2009.

OLIVEIRA, O. L. P.; JUERGENS, J. P.; BELLÉ, V.; RIGO, J. C. **Manejo do solo e da cobertura verde em videiras visando sustentabilidade**. EMBRAPA Uva e Vinho, Bento Gonçalves, set. 2004. (Comunicado Técnico 55).

PERUCH, L. A. M.; BRUNA, E. D. Relação entre doses de calda bordalesa e de fosfito potássico na intensidade do míldio e na produtividade da videira cv. Goethe. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2413-2418, 2008.

ROMBALDI, C. V.; BERGAMASQUI, M.; LUCCHETTA, L.; ZANUZO, M.; SILVA, J. A. Produtividade e qualidade de uva, cv. Isabel, em dois sistemas de produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 89-91, 2004.

SANTOS, C. F.; NOVAK, E. Plantas nativas do cerrado e possibilidades em fitorremediação. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 7, n. 1, p. 67-77, 2013.

SANTOS, H. P.; CHAVARRIA, G. Cultivo de videira em ambiente protegido. In: CHAVARRIA, G.; SANTOS, H. P. (Ed.). **Fruticultura em ambiente protegido**. Brasília: Embrapa, 2012. 278p.

SANTOS, H. P.; MELO, G. W. B.; LUZ, N. B.; TOMASI, R. J. **Comportamento fisiológico de plantas de aveia (*Avena strigosa*) em solos com excesso de cobre**. EMBRAPA Uva e Vinho, Bento Gonçalves, jun. 2004. (Comunicado Técnico 49).

SILVA, R. F. **Tolerância de espécies florestais arbóreas e fungos ectomicorrízicos ao cobre.** 2007. 134f. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

SÔNEGO, O. R.; GARRIDO, L. R.; BOTTON, M.; SORIA, S. J.; HICKEL, E. R. **Recomendações para o manejo das doenças fúngicas e das pragas da videira.** Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2002. 12p. (Circular técnica, 39).

SOUTO, K. M. **Fitorremediação de solo de várzea contaminado com os herbicidas imazetapir e imazapique.** 2011. 111f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 4<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 719p.

TIBURTIUS, E. R. L. **Remediação de solos e águas contaminadas por compostos orgânicos voláteis (BTX), utilizando processos fenton e lavagens com biosurfactantes.** 2008. 179f. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

VENDRUSCOLO, D. **Seleção de plantas para fitorremediação de solo contaminado por cobre.** 2013. 58f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

ZEITOUNI, C. F. **Eficiência de espécies vegetais como fitoextratoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um latossolo vermelho amarelo distrófico.** 2003. 91f. Dissertação (Mestrado Agricultura Tropical e Subtropical - Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2003.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Relações cobre-solo-planta

O cobre (Cu) foi, provavelmente, o primeiro metal a ser descoberto e trabalhado pelo homem, há mais de 7.000 anos (RODRIGUES; SILVA; GUERRA, 2012). *Cuprum* do latim, deriva da palavra *cyprium*, usada para designar a ilha de Chipre (MAAR, 2008), sendo a principal fonte do metal no mundo antigo, muito utilizado no fabrico de armas e utensílios (OORTS, 2013). Na indústria é o terceiro metal mais usado, depois do Fe e do Al, com aplicações em redes elétricas, construção civil, transporte, moedas, entre outros (ANDRADE et al., 1997).

O cobre é classificado, na Tabela Periódica dos Elementos, como um metal de transição externa, pertence ao grupo 11 (1B), peso atômico (63,6), número atômico (29) e massa específica de  $8,96 \text{ g cm}^{-3}$  (EUROPEAN COPPER INSTITUTE, 2014). E, também é considerado um elemento traço essencial, para vários processos enzimáticos, incluindo a oxidase de citocromo C e superóxido dismutase, sendo vital para a saúde de todos os organismos vivos (VALLS; LORENZO, 2002; OORTS, 2013).

A Organização Mundial da Saúde estima a faixa aceitável de ingestão diária de Cu entre a 1,0 a 1,4 mg, para adultos entre 50 a 70 kg (WHO, 1998), contudo, nos Estados Unidos e no Brasil a ingestão média diária de Cu recomendada é de máximo 0,9 mg (ATSDR, 2004; AMANCIO, 2011). No Brasil, em relação à potabilidade de água para o consumo humano, o Ministério da Saúde, estabelece limite máximo de concentração de Cu de  $2,0 \text{ mg L}^{-1}$  (BRASIL, 2004) e, para o lançamento de efluentes, o Ministério do Meio Ambiente, permite concentração máxima de Cu dissolvido de  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  (CONAMA, 2005; 2011).

Em solos, os dados dos teores totais de Cu são relativos e variam muito conforme o processo de formação, apresentando uma abundância natural de, aproximadamente,  $60 \text{ mg kg}^{-1}$  na crosta terrestre (PEDROZO; LIMA, 2001; OORTS, 2013). Fiskell (1965) atribuiu valores de Cu na faixa de  $1 \text{ a } 3 \text{ mg kg}^{-1}$  para solos deficientes e mais de  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  para solos com acúmulo de resíduos cúpricos oriundos das pulverizações.

Como recurso natural, o solo é lentamente renovável, abriga a flora, a fauna e o armazenamento da água, além de propiciar a sobrevivência do homem com a produção de alimentos e obras de engenharia (STRECK et al., 2008), tendo a produtividade de alimentos

como a sua principal função (MELO; MELO; MELO, 2004). De matriz complexa, o solo envolve diversos compostos minerais e orgânicos, resultantes das interações de fatores de formação através do tempo (BECK et al., 2000; STRECK et al., 2008). Atua como um tampão natural, controlando o transporte de elementos químicos e substâncias para a atmosfera, hidrosfera e biota (MELO; MELO; MELO, 2004).

No entanto, o sistema solo-planta é um sistema aberto e complexo, principalmente, no que se refere à dinâmica nutricional, dependendo da disponibilidade no solo, que se dá em função da entrada de corretivos e fertilizantes, e pela saída por volatilização, lixiviação e erosão dos mesmos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; HARTEMINK; BOURKE, 2000). E, na planta pela essencialidade para o desenvolvimento pleno, podendo ser absorvidos, translocados e acumulados, em quantidades deficientes ou excessivas podendo causar disfunções e distúrbios (MALAVOLTA, 2008; SANTOS, 2009).

Deste modo, a fertilidade do solo e a nutrição vegetal têm relações estreitas, sobretudo quando atreladas a eficiência agrônômica. A primeira referência desta relação foi na Antiguidade, por Aristóteles (384-322 a.C.) filósofo e biólogo grego, que mencionou como a “alimentação” das plantas ocorria pelo solo. Mas, foi Just von Liebig (1803-1873), o primeiro cientista a lançar a essencialidade dos elementos na produção de alimentos, mesmo em fases de especulação e sem precisão experimental, provou ser bastante correta (BONATO et al., 1998; RODRIGUES, 2002). A ordem de essencialidade fitomineral é dada por: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl, Mo, Co, Ni e Se (MALAVOLTA, 2008). Estes nutrientes, de forma geral, exercem funções importantes no metabolismo dos seres vivos, sendo essenciais para plena função biológica. Entretanto, a concentração limítrofe do dano ao benefício depende de cada espécie e da biodisponibilidade nutricional no sistema solo-planta (BARRA et al., 2000; VALLS; LORENZO, 2002).

Na nutrição mineral de plantas, o cobre é classificado como um micronutriente essencial para o pleno desenvolvimento da planta (MALAVOLTA, 2008). Como micronutriente, sua deficiência causa perdas de produção em várias culturas, especialmente, em cereais (ZEITOUNI, 2003). Por outro lado, o acúmulo no solo pode causar fitotoxidez às plantas, dependendo da espécie cultivada e, principalmente, das propriedades do solo que determinam esta dinâmica (MANTOVANI, 2009). Em excesso, também provoca toxicidade para os microrganismos do solo, danificando a mineralização de resíduos vegetais e a fixação de nitrogênio (N) em legumes (SANTOS, 2005).

O cobre é um elemento pouco móvel e a sua dinâmica no sistema solo-planta é bastante complexa e afetada por inúmeros fatores do meio. No solo, a retenção de Cu ocorre



por ligações físico-químicas e sua labilidade é dependente do ligante, como a matéria orgânica e óxidos, e da condição mineralógica, geoquímica e física (CASALI et al., 2008; MELO et al., 2008). O pH da solução do solo afeta de forma significativa a mobilidade do Cu. Em ambientes ácidos este apresenta maior mobilidade e adsorção pelos óxidos, enquanto em pH acima de 6,0 favorece a sua retenção, especialmente, em solos com elevado grau de intemperização (SODRÉ; LENZI; COSTA, 2001). Em solos calcariados a mineralização da matéria orgânica é estimulada, liberando cobre para a solução (CAMARGO, 2006).

Na solução do solo, o cobre encontra-se na forma iônica  $\text{Cu}^{2+}$  e como quelados solúveis. A sua absorção pelas plantas ocorrem 95% por fluxo de massa, sendo mais efetivo a pequenas distâncias, pois em distâncias maiores movimenta-se por lixiviação complexado a radicais orgânicos (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; FAQUIN, 2005; PRADO, 2008). Já o transporte, via xilema, na forma de Cu-quelado (aminoácidos), pelo processo de transpiração para a parte aérea, e a redistribuição do cobre, na planta, são restritos em função da pouca mobilidade, sendo comuns sintomas de deficiência ocorrer nas folhas mais novas (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; PRADO, 2008).

## 2.2 Fitorremediação

As ações antrópicas em busca do desenvolvimento econômico geram contaminação do sistema solo-água-atmosfera. Em áreas agrícolas, o resultado do uso demasiado de fertilizantes e de agrotóxicos, favoreceu a contaminação do solo, sobretudo, por metais pesados. Assim, a descontaminação ambiental é, geralmente, lenta, gradativa e onerosa.

Os metais pesados referem-se à biodisponibilidade destes elementos no ambiente, englobando seus aspectos toxicológicos (LIMA; MERÇON, 2011), os quais são altamente prejudiciais ao sistema solo-planta, influenciando na dinâmica das suas interações. Alguns metais, como Cu, Zn e Ni são considerados essenciais para crescimento e desenvolvimento das plantas (GOHRE; PASZKOWSKI, 2006; MALAVOLTA, 2008), enquanto Pb e Cd são tóxicos, mesmo em níveis de elemento traço (GONÇALVES-JÚNIOR, 2013).

Nas plantas, elementos metálicos em excesso, provocam fitotoxidez, inibindo o crescimento típico da planta, levando a senescência precoce das mesmas (COUTINHO; BARBOSA, 2007). Atuando, diretamente, sobre a bioquímica e procedimentos fisiológicos vegetais, a nível celular e molecular resultando na desativação de enzimas e nos bloqueios dos

grupos funcionais de moléculas metabolicamente importantes, reduzindo organelas celulares impedindo a fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2009; MOOSAVI; SEGHATOLESLAMI, 2013).

No solo, os metais pesados tendem a acumularem-se em camadas superiores, as agricultáveis, em função da sua baixa mobilidade (ANSELMO; JONES, 2005). Este processo eleva o pH da solução e diminui a sua capacidade de reter metais, o que favorece a solubilização e a mobilidade destes elementos, tornando-os fitodisponíveis (ZEITOUNI, 2003). Todavia, para contensão dos efeitos lesivos dos metais pesados no solo, tem-se utilizado o processo de fitorremediação (*fito* do grego “planta” e *remediação* do latim “voltar ao que era antes, limpar”). Este processo tem ação direta quando a utilização de plantas e indireta com estímulo da microbiota rizosférica que exsudam substâncias pelas raízes (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007; COUTINHO; BARBOSA, 2007; SOUTO, 2011; OLIVEIRA, 2012), obtendo boa relação custo-benefício, especialmente, ambiental ao mesmo tempo em que o embeleza (OLIVEIRA et al., 2009; MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011).

A fitorremediação é uma técnica complexa que envolve o sistema solo-planta-contaminante e suas adaptações biogeoquímicas, sendo influenciada pelos processos fisiológicos das plantas, pelas características edafoclimáticas locais e pela distribuição espacial e concentração do contaminante (ANSELMO; JONES, 2005; MONTEIRO, 2005). Além de, promover a reabilitação da estrutura e da ecologia do solo, de maneira, a aumentar a porosidade, a infiltração da água e a quantidade de C orgânico no solo e, reduzindo a erosão (MERKL; RAFT; ARIAS, 2006; MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011). Esta técnica tem a finalidade de degradar ou reduzir a níveis não tóxicos os contaminantes no solo (MARIANO; OKUMURA, 2012).

De acordo, com Gratão et al. (2005), Ghosh e Singh (2005), Pilon-Smits (2005), Oliveira et al. (2009), Mariano e Okuruma (2012) e Moosavi e Seghatoleslami (2013) os métodos de fitorremediação dos solos podem ocorrer por diversos processos, como:

- **Fitodegradação** (ou fitotransformação): as plantas degradam ou mineralizam contaminantes orgânicos através de processos metabólicos por enzimas específicas, como nitroreduases e lactases;
- **Fitoestabilização** (ou fitoadsorção): as plantas convertem os contaminantes em formas menos móveis (insolúveis), sem que haja a sua remoção dos solos, assim estabilizando-os e reduzindo o risco para a saúde humana e para o ambiente;
- **Fitoestimulação** (ou rizorremediação): há uma proliferação de microrganismos degradativos na rizosfera, os quais usam os metabólitos exsudados

da planta como fonte de carbono e energia. Esta técnica limita-se a compostos orgânicos;

- **Fitoextração** (ou fitoacumulação): as raízes absorvem os contaminantes armazenando, transportando e/ou acumulando-os na parte aérea das plantas. É aplicada, principalmente, para metais (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni);
- **Fitofiltração** (ou rizofiltração): as plantas absorvem e concentram os contaminantes de um meio aquoso, visando fitorremediar águas subterrâneas, superficiais e residuais com baixas concentrações de contaminantes;
- **Fitovolatilização**: as plantas convertem os contaminantes em suas formas não tóxicas (voláteis) liberando-os na atmosfera, como Hg, Se e As.

Dentre estes processos os que têm demonstrado potencial promissor para a descontaminação do solo por metais pesados são a fitoestabilização e a fitoextração (ANDRADE; TAVARES; MAHLER, 2007; OLIVEIRA, 2012). No sistema metal-planta, a adaptação das plantas as condições químicas do ambiente favorece a absorção e o acúmulo dos metais nas raízes, podendo translocá-los para outros órgãos de reserva como caule, folha, fruto (MELO; MELO; MELO, 2004). Deste modo, a biodisponibilidade dos metais pesados no solo para a extração ou estabilização por plantas aptas a este processo vem a contribuir para a melhoria das áreas contaminadas. Contudo, a seleção de plantas aptas para estes métodos de descontaminação do solo depende diretamente, de pesquisas com visão multidisciplinar, envolvendo várias áreas do conhecimento, tais como: fitotecnia, biologia, ciência do solo, engenharia agrícola, geografia, química, entre outros.

Uma problemática recorrente em nível mundial é o acúmulo excessivo de Cu no solo em áreas vitivinícolas (MACKIE; MÜLLER; KANDELER, 2012). Este acúmulo é proveniente das aplicações constantes de agroquímicos, como as caldas a base de sulfato de cobre, que é utilizado no controle fitossanitário, principalmente, no mídio da videira (SÔNEGO et al., 2005). Segundo os autores, Kabata-Pendias e Pendias (2001), o teor de Cu superior a  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  no solo é considerado excessivo e fitotóxico.

Pesquisas realizadas utilizando a fitorremediação com objetivo de minimizar os efeitos nocivos do Cu no solo, vêm demonstrando resultados eficientes e com baixo impacto ambiental, por tratar-se de uma biotecnologia simples de fácil (SANTOS et al., 2010; MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011). Mackie, Müller e Kandeler (2012) elencaram espécies vegetais utilizadas mundialmente para este fim (Tabela 2.1), que apresentaram potencial

fitorremediador, contemplando plantas na sua maioria voltadas a adubação verde e cobertura do solo.

Tabela 2.1 – Plantas com potencial fitorremediador de cobre ao redor do mundo em áreas de vitivinicultura.

PAÍSES	ESPÉCIES UTILIZADAS	PESQUISADORES
França	<i>Dactylis glomerata</i> L., <i>Poa annua</i> L., <i>Andryala intergrifolia</i> L., <i>Hypochoeris radicata</i> L., <i>Senecio vulgaris</i> L., <i>Sanguisorba minor</i> Scop., <i>Rumex acetosella</i> L., <i>Allium polyanthum</i> Schultes & Schultes F. e <i>Rubia peregrina</i> L.	(BRUN et al., 1998)
	<i>Zea mays</i> cv. Gaucho	(BRUN et al., 2001)
	<i>Lycopersicon esculentum</i> cv. St Pierre	(CHAIGNON et al., 2003)
Portugal	<i>Brassica juncea</i> L.	(MA et al., 2009)
Sérvia	<i>Brassica napus</i> L.	(ZEREMSKI-SKORIC et al., 2010)
Eslovênia	<i>Brassica rapa</i> L.	(KOS; LESSTAN, 2004)
Espanha	32 espécies	(POSCHENRIEDER et al., 2001)
Chile	<i>Silene vulgaris</i> L. e <i>Elsholtzia splendens</i> N. F. M.	(SONG et al., 2004)
Reino Unido		
China	<i>Silene vulgaris</i> L. e <i>Elsholtzia splendens</i> N. F. M.	(SONG et al., 2004)
	<i>Elsholtzia splendens</i> N.F.M. e <i>Trifolium repens</i> L.	(CHEN et al., 2006)
Brasil	<i>Avena sativa</i> L.	(ANDREAZZA et al., 2010)
	<i>Arachis pintoi</i> K.G.	(ANDREAZZA et al., 2011)*
	<i>Avena strigosa</i> DC., <i>Canvalia ensiformis</i> (L.) D.C.	(VENDRUSCULO, 2013)*
	Bean e <i>Mucuna cinereum</i> (Piper & Tracy)	

Fonte: Adaptado de Mackie, Müller e Kandeler (2012). \*Não consta no documento adaptado.

### 2.3 Cenário atual do setor florícola brasileiro

A floricultura é a produção comercial de flores e plantas ornamentais com fins econômicos exigindo conhecimentos técnicos aliados ao gerenciamento e comercialização, sendo de alta rentabilidade e com grande potencial de consumo interno, envolvendo uma grande diversidade de produtos, além de formas de cultivo (KÄMPF, 2000; PETRY; BELLÉ, 2000).

O agronegócio florícola brasileiro é o terceiro maior produtor e segundo maior exportador mundial do setor, com 90% da produção em propriedades de pequeno porte, aproximadamente 1,8 hectares (IBRAFLOR, 2014a; ANDRADE, 2015). Ao longo dos

últimos anos, a floricultura empresarial brasileira vem adquirindo notável desenvolvimento e se caracterizado como um dos mais promissores segmentos da horticultura intensiva no campo do agronegócio nacional (JUNQUEIRA; PEETZ, 2014a).

Com cultivo de mais de 350 espécies e 3.000 variedades, o setor apresenta consumo *per capita* nacional estimado em R\$ 26,68 (IBRAFLOR, 2014a). Destes, 48,6% foram gastos em plantas ornamentais, 31,4% em flores e folhagens cortadas e 20% em flores e plantas envasadas (JUNQUEIRA; PEETZ, 2014b). Isto permite mostrar como o setor floreiro necessita de tecnologias avançadas, conhecimento técnico, sistema eficiente de produção, distribuição e comercialização (CORRÊA, PAIVA, 2009; SILVA, 2012).

O complexo agroindustrial das flores no Brasil configura a cadeia de flores e plantas ornamentais em três agregados (CLARO et al., 1999). O primeiro é formado pelos fornecedores de insumos, o segundo é constituído pelos produtores rurais e o terceiro é formado pelos leilões, supermercados, varejistas (floriculturas), funerárias e, finalmente, os consumidores. O maior centro de desenvolvimento, produção e comercialização da floricultura no Brasil encontra-se no Estado de São Paulo, no município de Holambra, que realiza os principais eventos no segmento, sediando as empresas especializadas em insumos, tecnologias e material propagativo do setor.

A Cooperativa Veiling Holambra e o Instituto Brasileiro de Floricultura (IBRAFLOR), ambos sediados em Holambra, SP, são responsáveis por nortear a produção de flores e plantas ornamentais do país, estabelecendo padrões de qualidade e critérios de comercialização para o setor, em consonância com as normas mundiais. De maneira geral, os produtos do setor devem apresentar no mínimo 90% de uniformidade do lote quanto à altura da planta, diâmetro da planta, número de flores abertas, ponto de colheita, ausência de defeitos, entre outros (COOPERATIVA VEILING HOLAMBRA, 2013; IBRAFLOR, 2013a).

A área florícola cultivada no país, em 2014, foi de 13.770 hectares, sendo 1.200 ha em estufas, 270 ha em telados e 12.300 ha em campo. A produção é destinada em 88,3% para plantas arbóreas e arbustivas para jardins, 5,9% para plantas e flores envasadas e mudas e, 5,7% em flor e folhagens de corte (IBRAFLOR, 2014b). A produção de grama nacional é contabilizada separadamente, sendo estimada em 18 mil ha, produzidas, principalmente, nos Estados de SP, RJ, PR, MG e na região nordeste (IBRAFLOR, 2014a).

O Estado do Rio Grande do Sul é o terceiro maior consumidor de flores e plantas ornamentais atrás apenas de São Paulo e Distrito Federal. A área de cultivo estadual é de 914 hectares sob a responsabilidade de 1.534 produtores, que comercializam seus produtos em

1.645 pontos de venda (IBRAFLOR, 2013b). Contudo, a produção gaúcha atende cerca de 50% da demanda do Estado, principalmente, em razão dos fatores climáticos, em apenas 13% do que é vendido, é produzido no RS em flores cortadas e envasadas, os demais 87% são provenientes de outros Estados, principalmente, São Paulo e Santa Catarina (DOMIT, 2013).

## 2.4 Espécies floríferas cultivadas neste trabalho

### 2.4.1 Calla lily (*Zantedeschia* spp.)

As espécies do gênero *Zantedeschia*, pertencente à família Araceae, são conhecidas popularmente como copo-de-leite, zantedeschia, cala colorida e, internacionalmente como calla lily. Estas espécies se caracterizam como plantas herbáceas, nativas do continente africano, mais especificamente da África do Sul (MÁRQUEZ, 1999; SEGEREN, 2011) e, apresentam grande demanda comercial no país (CARNEIRO et al., 2012), devido a grande variedade de cores e formas aliadas a resistência e a durabilidade de suas hastes florais.

As inflorescências compostas por uma espádice (Figura 2.1), sobre a qual se distribuem as flores masculinas e femininas, rodeadas por uma bráctea colorida que recebe o nome de espata (MÁRQUEZ, 1999). A espata pode apresentar coloração branca ou variar em diversos tons de rosa, lilás, amarelo, laranja até enegrecidas, além da ocorrência de cultivares bicolors (NEUHAUS et al., 2011; BLOOMZ, 2012). Com folhagem decídua no inverno, membranácea verde com pontos translúcidos brancos, de altura 40-70 cm, com caule tuberoso, de florescimento durante a primavera e verão (SINGH; WYK; BAIJNATH, 1996; MÁRQUEZ, 1999; LORENZI, 2013).

A propagação comercial é feita por meio de tubérculos, que se desenvolvem muito lentamente, contudo o emprego das técnicas de cultura de tecidos tem acelerado a propagação da espécie (ARELLO, 1998). O ciclo de cultivo para a produção das hastes florais varia entre 16 a 28 semanas, conforme a região produtora (CARNEIRO et al., 2012).

Esta espécie apresenta boa adaptação a diversos tipos de climas, com faixa térmica entre 18-28° C durante o dia e 12-18° C à noite (AITKEN; NIXON, 2010; BLOOMZ, 2012) e, solos com pH do solo na faixa de 6 a 6,8 (BLOOMZ, 2012). Contudo, a espécie requer solos com boa drenagem e porosidade, textura média e com alta fertilidade que influenciam,

diretamente no rendimento e na qualidade das hastes (MÁRQUEZ, 1999; CARNEIRO et al., 2012). A principal doença desta espécie é *Erwinia carotovora* uma bactéria que provoca grandes perdas desde o processo de aclimatização até em cultivo protegido ou em campo (ZANELLA, 2006).

Em relação à nutrição mineral, Fonseca (2010) classifica a ordem de requerimento de macronutrientes e micronutrientes para calla lily na ordem decrescente:  $K > N > Ca > P > S > Mg$  e,  $Fe > Zn > B > Mn > Cu$ , respectivamente. Em relação ao Cu, Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) indicam teores foliares considerados adequados deste micronutriente para espécies bulbosas como o lírio (*Lilium* spp.) variam entre 8 a 50 mg kg<sup>-1</sup>, estendendo-se as zantedeschias.

Fonseca (2010) também cita que o requerimento de Cu é baixo, apesar disso, registra acúmulo deste micronutriente na faixa de 4 a 12 µg planta<sup>-1</sup> para parte aérea e para tubérculos respectivamente, em cultivo fertirrigado com o fornecimento de 0,36% Cu na solução nutritiva. Contudo, sugere-se que a pequena quantidade de Cu acumulado na planta é em função da disponibilidade deste micronutriente no substrato, no solo ou mesmo na solução nutritiva fornecida por fertirrigação.

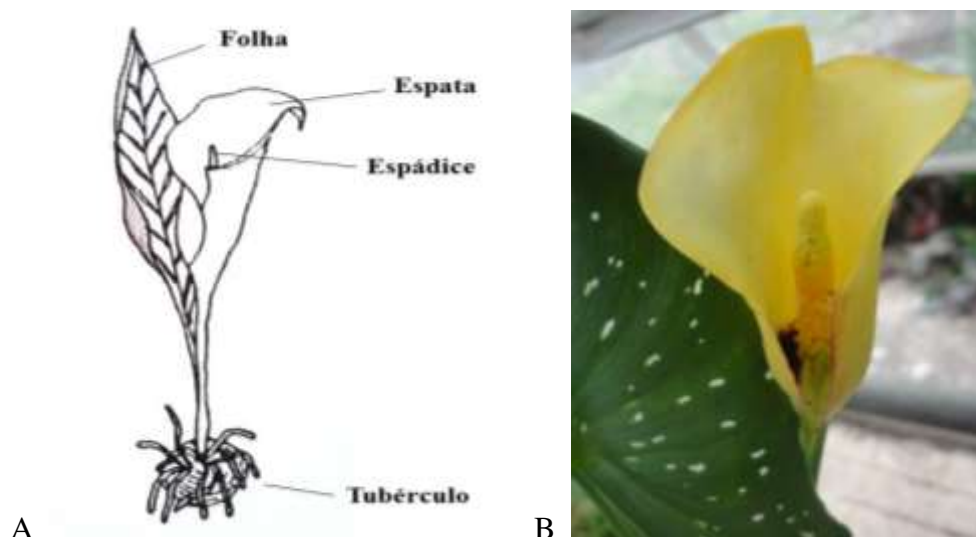


Figura 2.1 – *Zantedeschia* spp. A: Ilustração botânica, B: Fotografia. Fonte: Adaptado de Márquez (1999) e Menegaes, J. F. (2014).

#### 2.4.2 Cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.)

O gênero *Dianthus* da família Caryophyllaceae, distingue-se pela exuberância e coloração de suas flores, englobando varias espécies comerciais desde flores de corte, como o cravo (*Dianthus caryophyllus*), a forrações de jardim, como a cravina dos poetas (*D. barbatus*), a cravina de jardim ou chinesa (*D. chinensis*) e a cravina aranha (*D. superbus*), além das espécies híbridas, resultado do melhoramento vegetal (MIKULÍK; VINTER 2002; PILON, 2004). O nome do gênero *Dianthus* (do grego *dios* “divino” e *anthos* “flores”), significa “a flor dos deuses”, com potencial de floração durante todo ano, de odor característico, além de uma vasta gama de cores e formas (LARSON, 1992; SCHWAB, 2011).

As espécies de jardim, as forrações ou flores anuais, contemplam uma grande diversidade de espécies de caráter ornamental, especialmente, pelo seu intenso florescimento. Recebem esta denominação em função da sua sazonalidade de cultivo e floração, atualmente, cerca de 70 espécies são cultivadas para este propósito, sendo praticamente todas propagadas por sementes (BELLÉ, 2000).

A cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) é uma flor anual, cultivada no outono-inverno (Figura 2.2). É uma planta herbácea perene, entouceirada, ereta, 30-40 cm de altura, com florescimento exuberante. Originária da Ásia e Europa aprecia climas frios, como os de altitude do Sul do país, em que é indicado o cultivo e, multiplica-se por semente (LORENZI, 2013). O ciclo da espécie, desde a semeadura até a floração, varia de 15 a 17 semanas (BELLÉ, 2000). A faixa térmica de crescimento ótimo para a cultura é de 17 a 20° C (SAKATA ORNAMENTALS, 2011). O cultivo em solo com textura arenosa a argilosa, ocorre, preferencialmente, com pH do solo variando de 5,5 a 6,8 (SATO; LESSA, 2012). Contudo, adapta-se bem a solos pobres e ácidos, apresentando moderada resistência à seca (SIMONA et al., 2012), no entanto, o excesso de umidade propicia o surgimento de doenças fúngicas, resultando no apodrecimento radicular (BELLÉ, 2000).

Em relação à nutrição mineral, não são exigentes, contudo, devem-se realizar adubações regulares para manutenção da planta (SCHWAB, 2011). Em relação ao Cu, Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) indicam que os teores foliares considerados adequados deste micronutriente para espécies de cravos (*Dianthus* sp.) variam entre 8 a 30 mg kg<sup>-1</sup>.

Em relação ao potencial fitorremediativo plantas das famílias Caryophyllaceae, Lamiaceae e Scrophulariaceae adaptam-se bem a solo com altos teores de Cu, sendo



indicadoras deste elemento em área de mineralização na China e na Austrália (CANNON, 1960; BROOKS et al., 1980; FRIZZO, 2002). Trabalho realizado por Zhuang et al. (2007) verificaram habilidades fitorremediativas do *D. chinensis* em áreas contaminadas por metais pesados, como Pb, Zn e Cd, onde esta espécie apresentou bom desenvolvimento característico, sendo tolerante ao cultivo nestes ambientes.



Figura 2. 2 – *Dianthus chinensis* L. A: Ilustrações botânicas, B: Fotografia. Fonte: Adaptado de Winkelman (1910) e Menegaes, J. F. (2014).

#### 2.4.3 Crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev<sup>2</sup>)

O crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev), pertencente à família Asteraceae, é originária da China, com registro de mais de 2.000 anos (BARBOSA et al., 2012). É uma das flores de maior comercialização no país, com cultivo como flor de corte e envasada, sendo a terceira flor mais comercializada em vaso no Brasil (AKI, 2010). Em 2013, entre as principais espécies cultivadas no Brasil, o crisântemo destacou-se em 15% na categoria de flor de corte e 7% como flor envasada (JUNQUEIRA; PEETZ, 2014b).

A preferência por esta espécie se dá devido à grande diversidade de cores, formas de inflorescências, durabilidade de vaso, excelente resposta ao fotoperíodo o que possibilita ser cultivado durante o ano todo (BELLÉ, 2000). O florescimento do crisântemo é induzido pelo

<sup>2</sup> Sinonímia: *Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitamura

fotoperíodo crítico que varia de 12 e 14 horas (dia curto), ou seja, noite longa. Valores acima deste, as plantas permanecem em estado vegetativo e, quando abaixo as plantas são assim induzidas à floração (MELLO, 2003). E, temperatura a diurna na faixa de 23 a 25° C e noturnas em torno de 18° C, são recomendadas para o cultivo da espécie (BARBOSA et al., 2012). O solo ou substrato deve ser bem drenado e rico em matéria orgânica, com pH do solo entre 5,5 e 7 (PETRY, 2000).

O período que compreende entre o início da indução ao início da floração, são classificadas como: precoces - florescem entre de 7 a 9 semanas; médias - florescem entre 10 a 12 semanas e, tardias - que florescem entre 13 a 15 semanas (BELLÉ, 2000). A cultivar de crisântemo Dark Fiji apresenta flores gigantes do tipo decorativo (Figura 2.3), hastes grossas, folhas grandes, mas com porte mediano e com classificação termozero, sendo cultivada como flor de corte e vaso (BELLÉ, 2000).

Em relação às exigências nutricionais requeridas pela cultura de crisântemo são elevadas, na ordem decrescente:  $K > N > Ca > P > Mg > S > Fe > Zn > B > Mn > Cu$  (FERNANDES; OLIVEIRA; HAAG, 1975; MOTA et al., 2013). Em relação ao requerimento nutricional por Cu, é comum apresentar deficiências, que ocorrem normalmente em folhas mais novas, apresentando clorose e, conseqüentemente necrose, implicando no florescimento (FERREIRA, 2009). Deste modo, Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) indicam que os teores foliares considerados adequados deste micronutriente para a cultura de crisântemo variam entre 10 a 50 mg kg<sup>-1</sup>.



Figura 2.3 – *Dendranthema grandiflora* Tzevelev cv. Dark Fiji. A: Ilustração botânica, B: Fotografia. Fonte: Adaptado de Stock (2014) e Menegaes, J. F. (2014).

## Referências Bibliográficas

AITKEN, A. G.; NIXON, C. **Growing futures case study series: Callas lilies Zantedeschia** – a novel export flower crop with a global impact. Auckland, New Zealand: Martech Consulting Group Ltda. 2010. Disponível em: <[http://www.growingfutures.com/files/calla\\_lilies.pdf](http://www.growingfutures.com/files/calla_lilies.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2014.

AKI, A. **Associação Brasileira do Agronegócio de Flores e Plantas, Dados do setor, 2010**. Disponível em: <<http://www.abafep.com.br>>. Acesso em: 18 fev. 2015.

AMANCIO, O. M. S. **Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes Cobre**. Força-tarefa Alimentos Fortificados e Suplementos Comitê de Nutrição. ILSI Brasil International Life Sciences Institute do Brasil. São Paulo. v. 19, ago, 2011. 16p.

ANDRADE, J. C. M; TAVARES, S. R. L.; MAHLER, C. F. **Fitorremediação: o uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 176p.

ANDRADE, L. **Produtores de flores e plantas ornamentais expandem produção com novos canais de venda**. 2015. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Empreender/noticia/2015/03/produtores-de-flores-e-plantas-ornamentais-expandem-producao-com-novos-canais-de-venda.html>>. Acesso em: 05 mar. 2015.

ANDRADE, M. L. A.; VIERA, J. R. M.; CUNHA, L. M. S; KELLER, M. C.; FULDA, R. S. **Indústria do cobre - área de operações industriais 2 - AO2**. 1997. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br>>. Acesso em: 08 jan. 2015.

ANDREAZZA, R.; BORTOLON, L.; PIENIZ, S.; GIACOMETTI, M.; ROEHRS, D.D.; LAMBAIS, M.R.; CAMARGO, F.A.O. Potential phytoextraction and phytostabilization of perennial peanut on copper contaminated vineyard soils and copper mining waste. **Journals Biological Trace Element Research**, Bethesda, v. 143, n. 3, p. 1729-1739, 2011.

ANSELMO, A. L. F.; JONES, C.M. Fitorremediação de Solos Contaminados – O Estado da Arte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25. 2005, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: PUCRS, 2005. Disponível em <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2005\\_Enegep1005\\_0558.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2005_Enegep1005_0558.pdf)>. Acessado em: 27 nov. 2014

ARELLO, E. F. **Copo-de-leite neozelandês (*Zantedeschia elliottii*) micropropagação de plantas ornamentais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 72p. (Boletim Técnico 174). Campinas. 1998.

ATSDR - Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **Toxicological profile for copper**. New York, 2004. 314p.

BARBOSA, J. G.; MUNIZ, M. A.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, M. S. Crisântemo. In: PAIVA, P. D. O; ALMEIDA, E. F. A. **Produção de flores de corte**. v. 1. Lavras: UFLA. 2012. 244-277p.

BARRA, C. M.; SANTELLI, R.E.; ABRAO, J. J.; GUARDIA, M. Especificação de arsênio – uma revisão. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 1, p.58-70, 2000.

BECK, F. L.; BOHNEN, H.; CABEDA, M. S. V.; CAMARGO, F. A. O.; KÄMPF, N.; MEURER, E. J. **Projeto pedagógico - ensino de graduação**. Boletim técnico n. 6. In: MEURER, E. J.; Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Genesis, 2000. 174p.

BELLÉ, R. A. **Caderno Didático de Floricultura**. Curso de Agronomia, UFSM. 2000. 142p.

BLOOMZ. **Specialists in Zantedeschia breeding, Tissue Culture, harvest, handling and distribution**. Zantedeschia Production. Zantedeschia Technical Bulletin C01/12. Disponível em < <http://www.bloomz.co.nz/Products/Zantedeschia/Catalogue>> Acessado em: 22 fev. 2014.

BONATO, C. M.; FILHO, C. J. R.; MELGES, E.; SANTOS, V. D. **Nutrição mineral de plantas**. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 1998. 58p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº. 518**: Controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.

BROOKS, R. R.; REEVES, R. D.; MORRISON, R. S.; MALAISE, F. Hyperaccumulation of copper and cobalt – A review. **Bulletin Societe Royale de Botanique de Belgique**, n. 113, p. 166-172. 1980.

CAMARGO, O. A. **Reações e interações de micronutrientes no solo**. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_3/Micronutrientes/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/Micronutrientes/Index.htm)>. Acesso em: 18 fev. 2015.

CANNON, H. L. Botanical prospecting for ore deposits. **Science**, v. 132, n. 3427, p. 591-598, 1960.

CARNEIRO, D. N. M.; SANTOS FILHO, A. B.; CARNEIRO, L. F.; PAIVA, P. D. O. Callas. In: PAIVA, P. D. O; ALMEIDA, E. F. A. **Produção de flores de corte**. Vol. 1. Lavras: UFLA. 2012. 114-146p.

CASALI, C.A.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S.; BRUNETTO, G.; CORCINI, A. L. M.; KAMINSKI, J.; MELO, J. W. B. Formas e desorção de cobre em solos cultivados com videira na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1479-1487, 2008.

CLARO, D. P.; SANTOS, A. C.; ALENCAR, E.; ANTONIALI, L. M.; LIMA, J. B. **O Complexo Agroindustrial das Flores do Brasil e suas peculiaridades**. Organizações Rurais e Agroindustriais. Revista de Administração da UFLA. Lavras, v.1, n. 2, 1999.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 430**, de 13 de maio de 2011. Correlações: Complementa e altera a Resolução nº 357/2005. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2011.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº. 357**: Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as

condições e padrões de lançamento de efluentes, e outras providências. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2005.

COOPERATIVA VEILING HOLAMBRA. **Produtos – Critérios de classificação de produtos**. 2013. Disponível em: <<http://www.veiling.com.br/produtos/>>. Acesso em: 25 out. 2014.

CORRÊA, P. R.; PAIVA, P. D. O. Agronegócio da floricultura brasileira. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 21, n. 4, p. 253-261, 2009.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização. **Revista Silva Lusitana**. Lisboa, v. 15, n. 1, p. 103-117, 2007.

DOMIT, S. CEASA/RS - CENTRAIS DE ABASTECIMENTO DO RIO GRANDE DO SUL S.A. **Gaúchos estão entre os maiores consumidores de flores do país, 2013**. Disponível em: <<http://www.ceasars.com.br/detalhe-noticia&id=2040>>. Acesso em: 15 nov. 2014.

EUROPEAN COPPER INSTITUTE. **About Copper – properties**. 2014. Disponível em: <<http://www.copperalliance.eu/>>. Acesso em: 08 jan. 2015.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2005. 186p.

FERNANDES, P. D.; OLIVEIRA, G. D.; HAAG, H. P. **Nutrição mineral de plantas ornamentais VII – Absorção e deficiências de nutrientes pelo *Chrysanthemum morifolium* L. cv. Suzuki**. VOLUME XXXII p. 471-492, 1975. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aesalq/v32/40.pdf>>. Acessado em: 02 mar. 2015.

FERREIRA, L. D. B. **Características fitotécnicas e acúmulo de nutrientes em cultivares de crisântemo para vaso, em Goianira – GO**. 2009. 132f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

FISKELL, J. G. A. Copper. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D. WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARCK, F. E. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Part 2: Chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 1078-1089. (Agronomy, 9).

FONSECA, A. S. **Absorção de nutrientes em duas cultivares de copo-de-leite colorido (*Zantedeschia* sp.) sob fertirrigação**. 2010. 87f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrônomicas Campus de Botucatu, Botucatu. 2010.

FRIZZO, T. C. E. **Zoneamento da vegetação e sua relação com metais pesados na Mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS**. 2002. 137f. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

GHOSH, M., SINGH, S. P. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. **Asian Journal on Energy and Environment**, v. 6, n. 4, p. 214-231. 2005.

GOHRE, V.; PASZKOWSKI, U. Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation. **Planta**. v. 223, n. 6, p. 1115-1122, 2006.

GONÇALVES-JÚNIOR, A. C.; CARVALHO, E. A.; COELHO, G. F.; SCHWANTES, D.; NACKE, H.; MORAES, A. J. Disponibilidade de nutrientes e elementos potencialmente

tóxicos para as plantas de hissopo em solo arenoso sob adubação mineral e orgânica. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 12, n. 2, p.105-114, 2013.

GRATÃO, P. L.; PRASAD, M. N. V.; CARDOSO, P. F.; LEA, P. J.; AZEVEDO, R. A. Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in the environment. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Rio de Janeiro, 17, n. 1, p. 53-64, 2005.

HARTEMINK, A.; BOURKE, R.M. Nutrient deficiencies of agricultural crops in Papua New Guinea. **Outlook on Agriculture**, London, v. 29, n. 2, p. 97-108. 2000.

IBRAFLOR - INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **Boletim IBRAFLOR**. nov. e dez. v. 51, ano 05, 2014a. Disponível em: <<http://www.ibraflor.com/publicacoes/vw.php?cod=230>>. Acesso em: 12 jan. 2015.

IBRAFLOR - INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **Boletim IBRAFLOR**. out. v. 50, ano 05, 2014b. Disponível em: <<http://www.ibraflor.com/publicacoes/vw.php?cod=230>>. Acesso em: 12 jan. 2015.

IBRAFLOR - INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **Boletim IBRAFLOR**. maio v. 34, ano 04, 2013a. Disponível em: <<http://www.ibraflor.com/publicacoes/vw.php?cod=200>>. Acesso em: 02 jun. 2014.

IBRAFLOR - INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. **Números do Setor - Mercado Interno de 2013**. 2013b. Disponível em: <[http://www.ibraflor.com/ns\\_mer\\_interno.php](http://www.ibraflor.com/ns_mer_interno.php)>. Acesso em: 16 ago. 2014.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. **Balanco da floricultura brasileira em 2013**. 2014b. Disponível em: <<http://www.jornalentreposto.com.br/index.php/noticias/201-balanco-da-floricultura-brasileira-em-2013>>. Acesso em: 18 maio 2014.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. O setor produtivo de flores e plantas ornamentais do Brasil, no período de 2008 a 2013: atualizações, balanços e perspectivas. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 20, n.2, p. 115-120, 2014a.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3<sup>th</sup> ed. Boca Raton: Florida, CRC Press, 2001. 413p.

KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 254p.

LARSON, R. A. **Introduction to Floriculture**. San Diego, California, 2nd ed., 1992. 636p.

LIMA, V. F.; MERÇON, F. Metais Pesados no Ensino de Química. **Revista Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 199-205, 2011.

LORENZI, H. **Plantas para jardim no Brasil: herbáceas, arbustivas e trepadeiras**. Nova Odessa. Instituto Plantarum, 2013.1120p.

MAAR, J. H. **História da química - Primeira Parte - dos primórdios a Lavoisier**. Florianópolis: Conceito, 2008. 199p.

MACKIE, K. A.; MÜLLER, T.; KANDELER, E. Remediation of copper in vineyards - A mini review. **Journals Environmental Pollution**, California, v. 167, p. 16-26. 2012.

MALAVOLTA, E. **O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agronômicos, econômicos e ambientais**. IPNI – Internation Plant Nutriion Institute. Informações Agronômicas. n. 121, 2008. 10p.

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

MANTOVANI, A. **Composição química de solos contaminados por cobre: formas, sorção e efeito no desenvolvimento de espécies vegetais**. 2009. 165f. (Tese doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MARIANO, D. C.; OKUMURA, R. S., Aspectos agronômicos, uso pelo homem e mecanismos da fitorremediação: uma revisão. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v.5, n. edição especial, p. 85-101, 2012.

MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C.; SILVA, J. J. L. S. Desafios, técnicas e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 1-11, 2011.

MÁRQUEZ, M. P. **Zantedeschia: Calla Lily**. Santa fé de Bogotá, Colômbia: Ediciones HortiTecnia, 1999, 54p.

MELLO, J. B. **Uso do ácido giberélico e dias curtosinterrompidos em crisântemo de corte (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) “Calábria” e “Lameet Bright”**. 2003. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

MELO, G. M. P.; MELO, V. P.; MELO, W. J. **Metais pesados no ambiente decorrente da aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola**. Ministério do Meio Ambiente. 2004. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/CB5F6214/LODOMETAL.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2014.

MELO, G. W. B.; CASALI, C. A.; BRUNETTO, G.; RHEINHEIMER, D. S.; MOTERLE, D. F.; KAMINSKI, J. **Cobre em solos cultivados com a videira na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul**. EMBRAPA Uva e Vinho. Bento Gonçalves, RS. Junho, 2008. (Comunicado Técnico 86).

MERKL, N.; KRAFT, R. S.; ARIAS, M. Effect of the tropical grass *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Staf on microbial population an activity in petroleum-contaminated soil. **Microbiological Research**, v. 161, n. 1, p. 80-91, 2006.

MIKULÍK, J.; VINTER, V. Evaluation of factors affecting germination of *Dianthus superbus* L. *Subsp. Superbus*. **Acta Universitatis Palackianae Olomucensis Facultas Rerum Naturalium**, Biologica, v.39-40, p.13-18, 2001-2002.

MONTEIRO, M. T.; TAVARES, S. R. L.; BARBOSA, M. C. Caracterização de substratos a serem utilizados em um projeto de fitorremediação de sedimento de dragagem proveniente do

- Canal do Fundão-RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30, 2005. Recife. **Anais...** Recife, 2005.
- MOOSAVI, S. G.; SEGHATOLESLAMI, M. J. Phytoremediation: A review. **Advance in Agriculture and Biology**. v. 1, n. 1, p. 5-11, 2013.
- MOTA, P, R, D.; FIORIM, A. C. R.; BÔAS, R. L. V.; FOLEGATTI, M. V.; LUDWIG, F.; SILVA, M. E. A. Condutividade elétrica da solução nutritiva e acúmulo de macro e micronutrientes no cultivo de crisântemo. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 1, p.81-89, 2013.
- NEUHAUS, M.; BELLÉ, R. A.; PEITER, M. X.; BACKES, F. A. A. L.; SCHWAB, N. T. **Cultivo de calla lily**. Informe Técnico – CCR – UFSM. ISSN 1984-6126. n. 31, 2011.
- OLIVEIRA, D. L.; ROCHA, C.; MOREIRA, P. C. LAUDARES, S. O. Plantas nativas do cerrado: uma alternativa para fitorremediação. **Revista Estudos**, Goiânia, v. 36, n. 11-12, p. 1141-1159, 2009.
- OLIVEIRA, L. M. **Potencial de samambaias para fitorremediação de arsênio**. 2012. 105f. Tese (Doutorado em Ciência do solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- OORTS, K. Copper. In: ALLOWAY, B. J. (Ed.) **Heavy Metals in Soils - trace metals and metalloids in soils and their bioavailability**. 3th Edition Springer Environmental Pollution. v. 22, 2013, 367-394 p.
- PEDROZO, M. F. M.; LIMA, I. V. **Ecotoxicologia do cobre e seus compostos**. Salvador: Caderno de referencia ambiental, v. 2. 2001. 128p.
- PETRY, C. Cultivo de crisântemo. In: PETRY, C. (org.) **Plantas ornamentais aspectos para produção**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo. 2000. 103-112p.
- PETRY, C.; BELLÉ, S. Situação da floricultura. In: PETRY, C. (org.) **Plantas ornamentais aspectos para produção**. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo. 2000. 13-20p.
- PILON, P. Dianthus. **Greenhouse Product News**. v. 14, n. 6, 2004.
- PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual Review Plant Biology**, v. 56, p. 15-39, 2005.
- PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. São Paulo: UNESP, 2008, 408p.
- RODRIGUES, L. R. F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. Jaboticabal: FUNEP, 2002, 762p.
- RODRIGUES, M. A.; SILVA, P. P. GUERRA, W. Cobre – elemento químico. **Revista Química Nova na Escola**. São Paulo, v. 34, n. 3, p. 161-162, 2012.
- SAKATA ORNAMENTALS. **Dianthus Diamond**. 2011. Disponível em: <<http://www.sakataornamentals.com/ccLib/image/plants/PDF-3277.pdf>>. Acessado em: 27 nov. 2014.



SANTOS, C. G. G.; RODELLA, A. A.; ABREU, C. A.; CSCIONEI, A. R. Vegetable species for phytoextraction of boron, copper, lead, manganese and zinc from contaminated soil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.6, p.713-719, 2010.

SANTOS, G. C. G. **Comportamento de B, Zn, Cu, Mn e Pb em solo contaminado sob cultivo de plantas e adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes de efeito tóxico**. 2005. 153f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

SANTOS, O.S. **Hidroponia**. Santa Maria: UFSM/Colégio Politécnico, 2009. 392p.

SATO, A. Y; LESSA, M. A. Cravo. In: PAIVA, P. D. O; ALMEIDA, E. F. A. **Produção de flores de corte**. Vol. 1. Lavras: UFLA. 2012. 222-243p.

SCHWAB, N. T. **Disponibilidade hídrica no cultivo de cravina em vasos com substrato de cinzas de casca de arroz**. 2011. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

SEGEREN, M. I. **Apostila de Cultivo de Zantedeschia (Calla) ou Copo-de-leite colorido**. Holambra. 2011, 16p.

SILVA, L. C. **Caracterização do setor atacadista de flores e plantas ornamentais no Brasil**. 2012. 136f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Lavras, Lavras, 2012.

SIMONA, L.; CERASELA, P.; LAZAR, A. MARIA, B. Influence of growth regulators on morphogenetic processes under in vitro condition. **Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology**, v. 16, n. 2, p. 197-202, 2012.

SINGH, Y., WYK, A. E. V.; BAIJNATH, H. Taxonomic notes on the genus *Zantedeschia* Spreng. (Araceae) in southern Africa. **South African Journal of Botany**, Johannesburg, v. 62, n. 6, p.321-324, 1996.

SODRÉ, F. F.; LENZI, E.; COSTA, A. C. S. Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 324-330, 2001.

SÔNEGO, O. R.; GARRIDO, L. R.; BOTTON, M.; SORIA, S. J.; HICKEL, E. R. **Recomendações para o manejo das doenças fúngicas e das pragas da videira**. Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2002. 12p. (Circular técnica, 39).

SOUTO, K. M. **Fitorremediação de solo de várzea contaminado com os herbicidas imazetapir e imazapique**. 2011. 111f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

STOCK. **Flor de crisântemo**. 2014. Disponível em: <<http://pt.dreamstime.com/foto-de-stock-royalty-free-flor-do-cris%C3%A2ntemo-image34830015>>. Acesso em 06 set. 2014.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. Ed. – Porto Alegre: EMATER/RS – ASCAR, 2008. 222p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 4ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 719p.

VALLS, M.; LORENZO, V. Exploiting the genetic and biochemical capacities of bacteria for remediation of heavy metal pollution. **FEMS Microbiology Reviews**, v. 26, n. 4, p. 327-338, 2002.

VENDRUSCOLO, D. **Seleção de plantas para fitorremediação de solo contaminado por cobre**. 2013. 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Copper**. Geneva: HWO, 1998. (Environmental Health Criteria 200).

WINKELMAN, R. **Dianthus**. Encyclopaedia Britannica. 11th ed., vol. 5. New York: The Encyclopaedia Britannica Company, 1910. Disponível em: <[http://etc.usf.edu/clipart/60800/60884/60884\\_dianthus.htm](http://etc.usf.edu/clipart/60800/60884/60884_dianthus.htm)>. Acesso em 06 set. 2014.

ZANELLA, M. **Cadeia de produção de *Zantedeschia* spp. no estado de São Paulo**. 2006, 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

ZEITOUNI, C. F. **Eficiência de espécies vegetais como fitoextratoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um latossolo vermelho amarelo distrófico**. 20103. 91f. Dissertação (Mestrado Agricultura Tropical e Subtropical - Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais) – Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2003.

ZHUANG, P.; YANG, Q. W.; WANG, H. B.; SHU, W. S. Phytoextraction of heavy metals by eight plant species in the field. **Water Air Soil Pollut**, v. 184, p. 135-242, 2007.

### 3 CAPÍTULO I

## POTENCIAL DE FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM COBRE POR *Zantedeschia* spp. SUBMETIDA A DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO

### Resumo

A contaminação por metais pesados, como Cu, é resultado do controle fitossanitário, interferindo sobre a dinâmica do sistema solo-planta-água, sobretudo em áreas vitivinícolas. Deste modo, o presente trabalho objetivou avaliar o desenvolvimento e o consumo hídrico da calla lily (*Zantedeschia* spp.) submetida a diferentes estratégias de irrigação, sendo cultivada em solo com excesso de cobre. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x3 (quatro teores de cobre e três estratégias de irrigação), com cinco repetições. O balanço hídrico foi realizado a cada três dias e, o solo utilizado foi coletado no município de Pinto Bandeira, RS, localizado na Serra Gaúcha, em área de vitivinicultura. O experimento foi realizado, no período de outubro de 2013 a março de 2014, em casa de vegetação do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da UFSM, em Santa Maria, RS. Verificou-se que os teores do Cu adicionados ao solo não interferiram no consumo hídrico diário da calla lily, obtendo médias diárias de 0,5, 0,8 e 1,2 mm dia<sup>-1</sup> para as lâminas de 40, 60 e 80% CRA (capacidade de retenção de água no vaso), respectivamente. Calla lily pode ser cultivada em ambientes com altos teores de Cu, pois a planta apresenta tolerância ao mesmo.

**Palavras-chave:** Calla lily, cobre, consumo hídrico, fitorremediação.

## PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF COPPER IN SOIL CONTAMINATED PER *Zantedeschia* spp. SUBMITTED TO DIFFERENT IRRIGATION

### Abstract

The contamination by heavy metals such as Cu is a result of phytosanitary control, interfering on the dynamics of soil-plant-water system, especially in wine areas. Thus, this study aimed to evaluate the development and the water consumption of calla lily (*Zantedeschia* spp.) under different irrigation strategies and being grown in soil with excess copper. The experimental design was completely randomized in a factorial 4x3 (four copper levels and three irrigation strategies), with five repetitions. The water balance was performed every three days and the soil was collected in the municipality of Pinto Bandeira, RS, in viticulture area. The experiment was carried out from October 2013 to March 2014 in the greenhouse of the Floriculture of the Department of Plant Science at UFSM, Santa Maria, RS. It was found that Cu content added to the soil did not interfere with the daily water consumption calla lily, obtaining average daily 0.5, 0.8 and 1.2 mm day<sup>-1</sup> for the blades 40, 60 and 80% CRA (water retention capacity of the vessel), respectively. Calla lily can be grown in environments with high Cu, because the plant is tolerant to it.

**Key words:** Calla lily, copper, water consumption, phytoremediation.

### 3.1 Introdução

O cobre é utilizado na agricultura há anos com a finalidade fitossanitária, sobretudo, na fruticultura com a aplicação na forma de caldas para o controle fúngico. Desenvolvida em 1882, pelo botânico francês Pierre M. A. Millardet, em Bourdeaux na França (MACKIE; MÜLLER; KANDELER, 2012), a calda bordalesa é uma mistura de sulfato de cobre, óxido de cálcio e água  $[(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2)]$ . Desde então, é utilizada mundialmente como fungicida e bactericida na vitivicultura (JEYAKUMAR et al., 2014), atendendo sua finalidade fitossanitária. Contudo, seu uso contínuo, contribuiu para o acúmulo de Cu na superfície do solo. Teores superiores a  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ , provocam alterações nos tecidos vegetais, em nível bioquímico e fisiológico (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001; SANTOS et al., 2004), resultando em perdas consideráveis no potencial produtivo.

A fim de, minimizar os efeitos nocivos do Cu no solo, a utilização da técnica fitorremediativa vem demonstrando resultados eficientes (MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011). Todavia, a seleção de espécies vegetais com este potencial depende, diretamente, de pesquisas constantes, visando o aprimoramento da técnica. Desta forma, estudos com plantas floríferas ornamentais, em função, principalmente, da versatilidade de cultivo, característico da floricultura nacional, torna-se um campo explorável para a fitorremediação.

Entre as espécies ornamentais, as inflorescências do gênero *Zantedeschia*, conhecidas popularmente como copo-de-leite, zantedeschia e calla lily (MÁRQUEZ, 1999; SEGEREN, 2011), tem expandido a sua demanda comercial no país (CARNEIRO et al., 2012), devido a grande variedade de cores e formas aliada a resistência e a durabilidade de suas hastes florais. Originária do continente africano, da família Araceae, a cultura da calla lily torna-se uma opção interessante de cultivo, em função do exotismo e da exuberância de suas inflorescências (FONSECA, 2010). Conforme a região produtora, seu ciclo de cultivo varia entre 16 a 28 semanas (CARNEIRO et al., 2012), com boa adaptação a diversos tipos de climas e solos, com pH do solo na faixa de 6 a 6,8 (AITKEN; NIXON, 2010; BLOOMZ, 2012).

Entretanto, a compreensão da relação da água no sistema solo-planta-atmosfera auxilia no entendimento dos mecanismos de resposta da planta aos distintos fatores ambientais. A qualidade do solo aliada ao manejo hídrico são fatores que afetam, diretamente, a produtividade, especialmente, na floricultura, setor que visa à qualidade estética e fitossanitária de seus produtos (BELLÉ, 2000; KÄMPF, 2000). O suprimento de água às

plantas é determinado pela habilidade da cultura em utilizar a água disponível no solo, tendo relação direta com a demanda atmosférica, interagindo no dossel vegetativo, na evapotranspiração, na aeração e na temperatura do solo (CARLESSO, 1995; PAIVA; OLIVEIRA, 2006). A irrigação é uma prática fundamental com impacto direto no crescimento e desenvolvimento vegetal (FARIAS; SAAD, 2005). Na floricultura, as irrigações refletem, diretamente, na qualidade do produto final. Irrigações excessivas prejudicam a qualidade das flores favorecendo a proliferação de patógenos, enquanto que irrigações deficitárias causam redução no crescimento em decorrência da baixa extração de água (SEVERINO, 2007; GIRARDI et al., 2012).

Em função da adaptabilidade da calla lily a diferentes solos e climas. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento e o consumo hídrico da cultura da calla lily cultivada em solo oriundo da vitivinicultura apresentando excesso de cobre.

### 3.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado, no período de outubro de 2013 a março de 2014, em casa de vegetação do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da UFSM, localizado em Santa Maria, RS (29°43' S; 53°43' W e altitude de 95m). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x3 (quatro teores adicionados de Cu no solo e três estratégias de irrigação), com cinco repetições, totalizando 60 unidades experimentais. O fator A foi composto por quatro doses de Cu, adicionados, por quilo de solo, nas quantidades de zero (sem adição), 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>. O fator D foi composto por três estratégias de irrigação, com o fornecimento de lâminas de água nas porcentagens de 40, 60 e 80% da capacidade de retenção de água no vaso (CRA).

O solo utilizado foi coletado em área vitivinícola do município de Pinto Bandeira, RS, localizado na Serra Gaúcha, na profundidade de 0-20 cm. O solo da região é classificado como Cambissolo Húmico (STRECK et al., 2008). O laudo da análise química do solo antes do cultivo, realizada no Laboratório de Solos da UFSM (LAS-UFSM), apresentou as seguintes características: argila 19%; matéria orgânica 3,8%; textura 4; pH<sub>água(1:1)</sub> 6,2; índice SMP 6,3; CTC<sub>efet.</sub> 9,8; CTC<sub>pH 7</sub> 22,9; saturação de bases 86,5%; saturação por Al zero; Ca 15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg 4,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; S 13 mg dm<sup>3</sup>; P-Mehlich 22,8 mg dm<sup>-3</sup>; K 216 mg dm<sup>-3</sup>; Cu 173,9 mg dm<sup>-3</sup>; Zn 21mg dm<sup>-3</sup>; B 0,3 mg dm<sup>-3</sup>. Os teores adicionados de cobre no solo foram

por meio de sulfato de cobre pentahidratado [CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O], nas quantidades de zero (sem adição), 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub> por tratamento. Sendo que 100 mg de CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O possui 63,9% de Cu.

Os tubérculos de calla lily (*Zantedeschia* spp.) foram adquiridos do município de Holambra, SP. Antes do plantio realizou-se o pré-tratamento dos tubérculos com ácido giberélico em solução de 100 mg L<sup>-1</sup>, por 10 minutos. Os recipientes utilizados (vasos) foram de número 15, com 1,3 L de volume, 14,5 cm de diâmetro superior e 11 cm de diâmetro inferior, 12 cm de altura, de material plástico na cor preto, com distribuição de 10 vasos m<sup>-2</sup>. A densidade de plantio correspondeu a uma unidade por vaso. A distribuição dos vasos foi aleatória sobre as bancadas no interior da casa de vegetação (Apêndice A).

A determinação da capacidade de retenção de água no vaso (CRA) utilizando solo como substrato, ocorreu conforme a metodologia descrita por Kämpf, Takane e Siqueira (2006), obtida pela Equação:

$$CRA_{total} = P_2 - P_1 \quad (3.1)$$

Em que,  $P_2$  (g) = peso do vaso + peso do solo + peso da água,  $P_1$  (g) = peso do vaso + peso do solo seco; equivalendo a água a 1g a 1 mL. A partir, da  $CRA_{total}$  foram obtidas as estratégias de irrigação com as porcentagens de 40, 60 e 80% da  $CRA_{total}$ , conforme a fórmula descrita por Mello (2006) e adaptada, expressa na Equação:

$$PV_{n\%} = (CRA_{total} * n\%) + PV_{seco} + PMT \quad (3.2)$$

Onde:  $PV_{n\%}$  é o peso do vaso para cada tratamento (g);  $CRA_{total}$  é a capacidade total de retenção de água no vaso (g);  $n\%$  é o limite estipulado da  $CRA_{total}$ ;  $PV_{seco}$  é o peso do vaso preenchido com solo seco (g);  $PMT$  é o peso médio dos tubérculos (13,2g). Os pesos dos vasos para cada tratamento resultaram em:  $PV_{40\%} = 1.301,2$  g para o tratamento de 40% CRA;  $PV_{60\%} = 1.415,2$  g para o tratamento de 60% CRA e  $PV_{80\%} = 1.529,2$ g para o tratamento de 80% CRA, estes valores atribuídos por tratamento foram utilizados para a tomada do balanço hídrico.

O monitoramento dos dados para o balanço hídrico iniciou três dias após o plantio (25/10/2013), permanecendo até o encerramento do ensaio (21/03/2014), totalizando 150 dias de cultivo, com o intervalo de tempo de aferição dos vasos de três dias ( $\Delta t=3$ ). Para a

avaliação do consumo hídrico (balanço hídrico) da cultura de calla lily para cada recipiente utilizou-se a Equação:

$$E_{tr} = \sum_{i=1}^L M_i - \sum_{i=1}^L M_{i+1} + I \quad (3.3)$$

Onde:  $E_{tr}$  é a evapotranspiração real da planta em vaso,  $M_i$  é o peso do solo e da água contida no vaso,  $M_{i+1}$  é o peso do solo e água remanescente após  $\Delta t$ ,  $I$  é a irrigação aplicada no vaso no intervalo de tempo, e  $i$  é o índice que representa o intervalo de tempo considerado para o balanço. A drenagem e o escoamento superficial foram desconsiderados, pois o experimento foi realizado em recipientes e a irrigação máxima foi menor que a  $CRA_{total}$ , não havendo percolação e nem saturação nos vasos.

A variação do armazenamento de água no vaso ( $M_i - M_{i+1}$ ) ocorreu por meio da pesagem dos vasos em balança analógica de capacidade de 5 kg. Os valores de consumo de água obtidos pela diferença de peso ( $g \text{ dia}^{-1}$ ) foram transformados em valores correspondentes à lâmina de água ( $mm \text{ dia}^{-1}$ ) através de multiplicações pela área do vaso. O consumo hídrico acumulado (CHA) foi obtido pela soma das quantidades de água consumidas diariamente ao longo do ciclo, para cada um dos tratamentos. O uso e eficiência de água (UEA) foram obtidos pela relação da fitomassa seca (parte aérea e tubérculo) com o consumo hídrico acumulado. A reposição hídrica foi realizada de forma manual até atingir o peso estipulado por tratamento, mantendo-os limites da CRA. A água utilizada (~ 100%) foi da chuva, captada e armazenada em baldes, descartado o primeiro volume.

Avaliou-se a altura média da planta, fitomassa fresca e seca da parte aérea e dos tubérculos por planta, e área foliar estimada pela metodologia descrita por Muçouçah, Klar e Muçouçah (2006). A secagem das plantas ocorreu em estufa de ventilação forçada a  $65^\circ \text{ C}$  até atingir peso constante, para determinação da fitomassa seca. Na sequência as subamostras do material vegetal seco foram trituradas em moinho tipo Willey, submetidas à digestão nítrico-perclórica e a quantificação das concentrações de Cu nos tecidos vegetais foram efetuadas por espectrofotometria de absorção atômica, no Laboratório de Absorção e Emissão Atômica da Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo (USP). Os teores de Cu no solo após o cultivo foram amostrados por análise química no LAS-UFSM (Anexo A).

O fator médio de translocação (FT), o fator médio de bioacumulação na parte aérea (FCA) e o fator médio de bioconcentração no tubérculo (FCO) foram avaliados conforme as metodologias descritas por Caille, Zhao e Mcgrath (2005) e Yoon et al. (2006), expressas nas Equações:

$$FT = \frac{\text{concentração de Cu na fitomassa seca da parte aérea}}{\text{concentração de Cu na fitomassa seca do tubérculo}} \quad (3.4)$$

$$FCA = \frac{\text{concentração de Cu na fitomassa seca da parte aérea}}{\text{teor de Cu disponível no solo após o cultivo}} \quad (3.5)$$

$$FCO = \frac{\text{concentração de Cu na fitomassa seca do tubérculo}}{\text{teor de Cu disponível no solo após o cultivo}} \quad (3.6)$$

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa estatístico SISVAR, onde foi testada a interação entre dois fatores A e D (quatro teores adicionados de Cu no solo e três estratégias de irrigação), pelo teste F, com 5% de probabilidade de erro. Sendo esta não significativa (<sup>ns</sup>), foram realizadas análises de regressão para os fatores A e D de forma independente. As análises de variâncias (ANOVA) e os ajustes das equações por teste de regressão estão apresentados nos Apêndices B e C, respectivamente.

### 3.3 Resultados e Discussão

#### 3.3.1 Consumo hídrico

A Figura 3.1 relaciona o consumo hídrico da calla lily aos dados meteorológicos, para as três lâminas de disponibilidade hídrica, em função dos diferentes teores adicionados de cobre no solo. Verificou-se que a média da umidade relativa do ar foi em torno de 76% (dados INMET *Campus* da UFSM). Carneiro et al. (2012) recomendam umidade relativa do ar próximo a 60%, para evitar desidratações severas nas plantas, o que não ocorreu neste experimento.

Observou-se que as temperaturas médias do ar foram de 36,3 e 18,2° C de máximas e de mínimas registradas no interior da casa de vegetação, respectivamente, permanecendo acima da faixa recomendadas para a cultura da calla lily, entre 18-28 °C durante o dia e 12-18° C à noite (BLOOMZ, 2012).



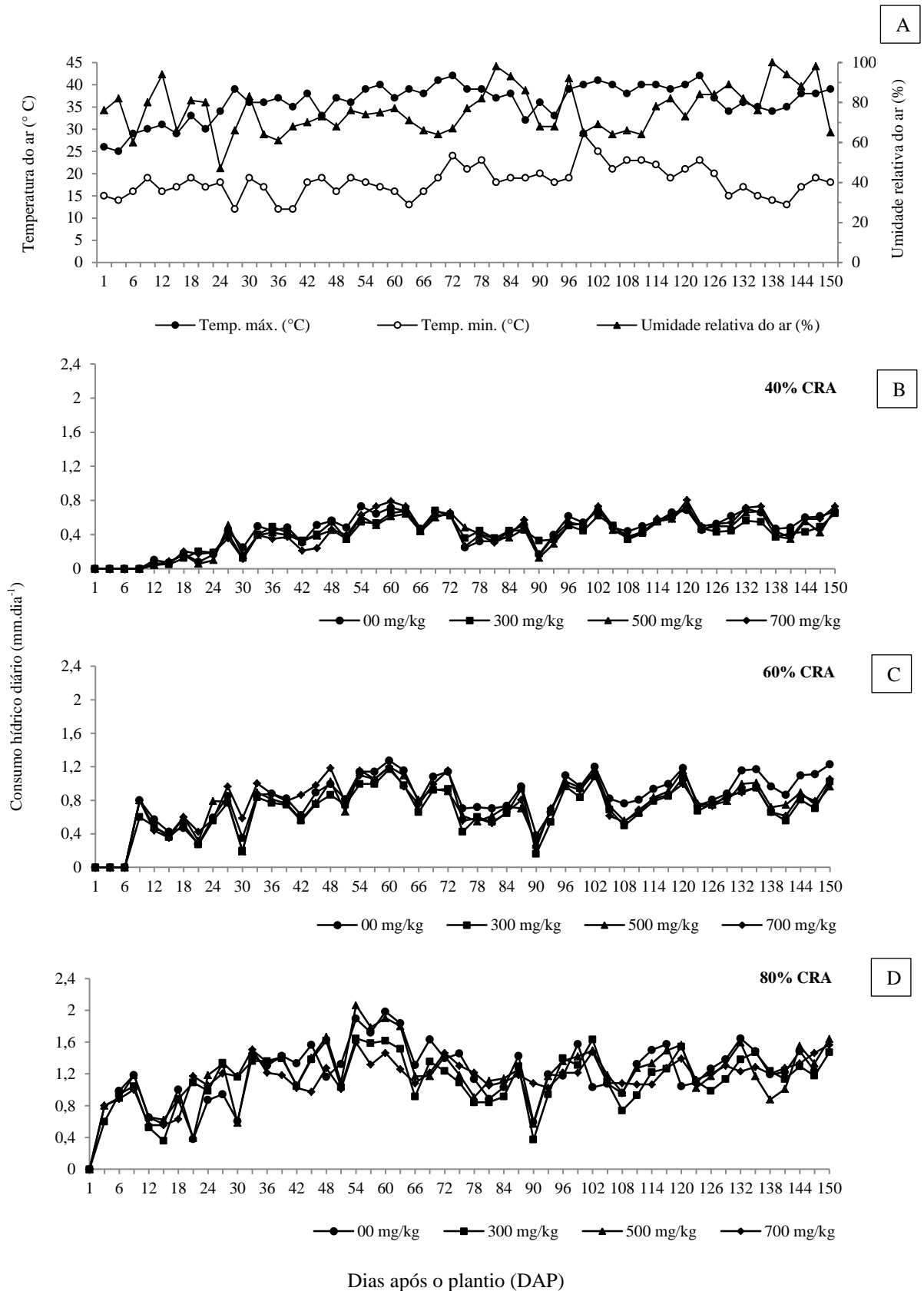


Figura 3.1 – *Calla lily* (*Zantedeschia* spp.) cultivada em 150 dias (1 a 150 DAP) em função dos diferentes teores adicionados de Cu no solo (zero, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). A: Temperaturas do ar máxima e mínima (° C) e umidade relativa do ar (%); B: Consumo hídrico (mm dia<sup>-1</sup>) de 40% CRA (capacidade de retenção de água no vaso); C: Consumo hídrico (mm dia<sup>-1</sup>) de 60% CRA; D: Consumo hídrico (mm dia<sup>-1</sup>) de 80% CRA. Santa Maria, RS, 2014.

A diferença de temperatura, observada durante o período experimental, pode ter causado distúrbios fisiológicos na planta, como a não indução floral. E, constatou-se visualmente o amarelecimento foliar e necrose nas bordaduras foliares, os quais foram mais expressivos conforme o incremento de Cu adicionado no solo (Figura 3.2). Carneiro et al. (2012) relatam que para a cultura da calla lily, temperaturas extremas ou déficit hídrico causam estresse na planta induzindo dormência e precedendo a senescência foliar. Observou-se que este cultivo foi exposto na sua totalidade à faixa térmica acima da recomendada, permanecendo próximo da temperatura limite de colapso por estresse térmico vegetal.

Temperaturas elevadas, acima deste ponto de compensação, a fotossíntese não repõe o carbono usado como substrato para respiração, como consequência, há uma diminuição das reservas de carboidratos na relação parte aérea-raiz, causando desequilíbrio fisiológico (FLOSS, 2004; LARCHER, 2004), como a não indução floral.

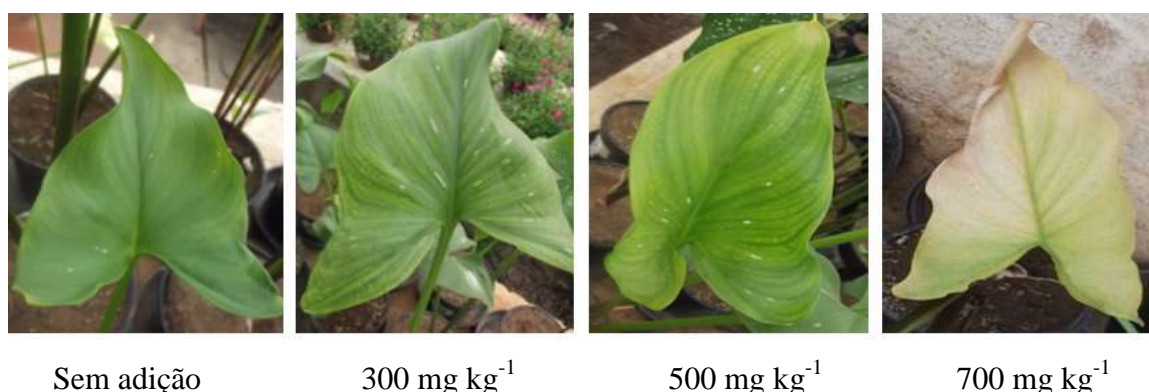


Figura 3.2 – Ilustrações das folhas de calla lily (*Zantedeschia* spp.) em função dos diferentes teores adicionados de Cu no solo (zero (sem adição), 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). Santa Maria, RS, 2014.

Verificou-se que para as três estratégias de irrigações adotadas (40, 60 e 80% CRA) os teores de Cu adicionados ao solo (zero, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>) não interferiram no consumo de água pela cultura. Pois, houve uma semelhança no consumo hídrico diário para cada um dos teores adicionado de Cu no solo, conforme exposto na Figura 3.1, resultando em um consumo médio diário de 0,5, 0,8 e 1,2 mm dia<sup>-1</sup> para as lâminas de 40, 60 e 80% CRA, respectivamente, independente dos teores cúpricos adicionados no solo.

Observou-se que o consumo hídrico é crescente conforme a disponibilidade de água as plantas, ao incremento de fitomassa e ao aumento da demanda evaporativa, o qual coincidiu com a elevação da temperatura e com a redução da umidade relativa do ar, para todos os

tratamentos. Corroborando com os resultados deste experimento, as autoras Schawb (2011) e Girardi (2012) relataram semelhante desempenho hídrico para cravina de corte (*Dianthus hybrida* cv. Melody) e gipsofolia (*Gypsophila paniculata* L.), respectivamente, ambas cultivadas em vaso com cinza da casca de arroz carbonizada.

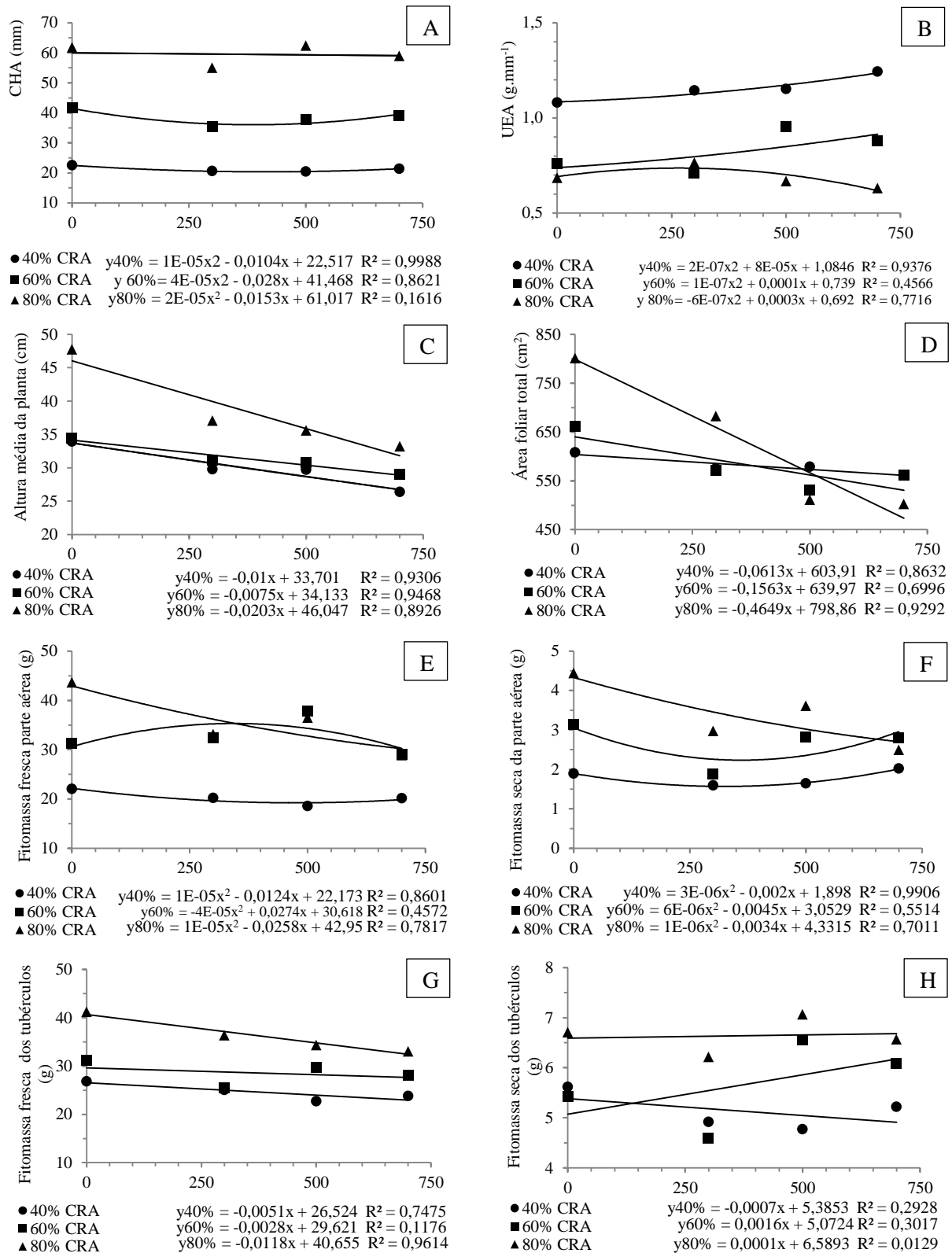
### 3.3.2 Parâmetros fitotécnicos

Na Figura 3.3 observa-se a avaliação dos parâmetros fitotécnicos de cultivo em 150 dias da calla lily e, verificou-se que não houve efeito significativo da interação dos fatores A e D (quatro teores adicionados de cobre no solo e três estratégias de irrigação), para estes parâmetros.

Verificou-se que o consumo hídrico acumulado do cultivo da calla lily nas estratégias de irrigação de 40, 60 e 80% CRA, apresentaram médias de 21,2; 38,5 e 59,5 mm, respectivamente, conforme a Figura 3.3 A, havendo pouca oscilação na demanda hídrica entre os diferentes teores de Cu adicionados no solo. Ressalta-se que, o correto manejo de irrigação deve manter-se contínuo, durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, favorecendo a umidade do solo para suprimento hídrico e fluxo de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> (GRIMM, 2007; PETRY et al., 2007).

Observou-se que o uso e eficiência da água obtiveram médias de 1,15; 0,83 e 0,69 g mm<sup>-1</sup> para as lâminas hídricas de 40, 60 e 80% CRA, respectivamente, conforme a Figura 3.3 B. Isto indica que a estratégia de irrigação de 40% CRA otimizou o uso da água para a manutenção dos tecidos balanceando com o acúmulo de fitomassa seca. Segundo Carlesso (1995) durante o período de déficit hídrico a condutividade estomatal é ajustada para manter em equilíbrio, nas folhas, o balanço de água na planta.

Na Figura 3.3 C observou-se que o incremento do teor de Cu no solo proporcionou um decréscimo na altura média de planta para todas as estratégias de irrigação, nos distintos teores adicionados de Cu no solo (zero, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>), obtendo médias de 38,7; 32,7; 32,0 e 29,5 cm, respectivamente, independente das estratégias de irrigações adotadas. No entanto, para a comercialização da calla lily em vaso não há definição pré-estabelecida para altura da planta, a Cooperativa Veiling Holambra (2014) exige apenas 90% de uniformidade quanto à altura e a formação da planta.



Teores adicionados de Cu no solo (mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>)

Teores adicionados de Cu no solo (mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>)

Figura 3.3 – Parâmetros fitotécnicos da calla lily (*Zantedeschia* spp.) submetidas as 40, 60 e 80% da capacidade de retenção de água no vaso (CRA) em função dos diferentes teores adicionados de Cu no solo (zero, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). A: consumo hídrico acumulado (CHA); B: uso e eficiência da água (UEA); C: altura média da planta; D: área foliar total; E: fitomassa fresca da parte aérea e F: fitomassa seca da parte aérea; G: fitomassa fresca dos tubérculos; H: fitomassa seca dos tubérculos. Santa Maria, RS, 2014.

Em relação à área foliar (AF) da calla lily verificou-se um decréscimo no maior conteúdo adicionado de Cu no solo, 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>, para todas as estratégias de irrigação, com médias de 580,9; 581,4 e 624,5 cm<sup>2</sup> AF, para 40, 60 e 80% de CRA respectivamente, conforme a Figura 3.3 D. Conclui-se que o manejo de irrigação afetou o crescimento da área foliar, resultados semelhantes deste experimento foram constatados por Muçouçah, Klar e Muçouçah (2006), cultivando calla lily em substrato em função do nível freático de 10 e 38 cm, apresentaram área foliar de 789,2 e 1.011,6 cm<sup>2</sup>, respectivamente.

Observou-se a produção de fitomassa fresca média da parte aérea de 42,6; 45,2 e 50,4 g planta<sup>-1</sup> e dos tubérculos de 57,4; 45,7 e 49,6 g planta<sup>-1</sup> para as estratégias de irrigação correspondente a 40, 60 e 80% de CRA, respectivamente, conforme a Figura 3.3 E e G. A partição da fitomassa seca foi de 24,2; 32,8 e 34,2% para parte aérea (folhas) e 75,8; 67,2 e 65,8% para parte radicular (tubérculos e raízes), conforme a Figura 3.3 F e H. Carneiro (2009) observou que a fitomassa seca da parte aérea (folhas e hastes florais) corresponde a 53,6% e parte radicular (tubérculos e raízes) 46,4% da fitomassa seca total do copo-de-leite (*Z. aethiopica* Spreng.). O acúmulo de fitomassa seca nos tubérculos ocorre em função da translocação de fotoassimilados da parte aérea para os tubérculos, visando o crescimento e o desenvolvimento dos mesmos, característico de plantas com órgão de reserva, como a calla lily (PAIVA, 2000; FONSECA, 2010).

A umidade presente na parte aérea foi de 91,1; 91,6 e 90,4% e, para os tubérculos foi de 79,1; 80,1 e 80,8% em relação ao fornecimento de água disponível conforme as estratégias de irrigação adotadas 40, 60 e 80%, respectivamente.

### 3.3.3 Relação das concentrações de Cu na parte aérea e nos tubérculos com as doses aplicadas

Observa-se na Figura 3.4, após o cultivo de 150 dias, que as plantas de calla lily apresentaram em fitomassa seca da parte aérea concentrações médias de Cu nas quantidades de 70,8; 36,3; 44,1 e 33,1 µg kg<sup>-1</sup>, sob os teores adicionados de Cu no solo de zero, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>, respectivamente. E, em fitomassa seca dos tubérculos observou-se que as concentrações médias de Cu foram de 199,6; 283,4 535,9 e 564,3 µg kg<sup>-1</sup>, aos respectivos teores de cobre incrementado ao solo. Esta diferença no particionamento do conteúdo de Cu da matéria seca da calla lily, em parte aérea e tubérculo, pode ser atribuída ao processo fisiológico de maturação da própria da planta.

Destaca-se que ao final da fase de crescimento vegetativo da cultura de calla lily ocorre uma paralisação gradual no crescimento e no desenvolvimento da planta em altura e iniciando a senescência foliar, sendo este intensificado pela translocação dos nutrientes das folhas para os tubérculos (FONSECA, 2010). No cultivo de batata (*Solanum tuberosum* L.), Braun et al. (2011) relatam que os fotoassimilados e nutrientes são direcionados para o crescimento, sendo a partição para os tubérculos um dos fatores determinantes da produtividade.

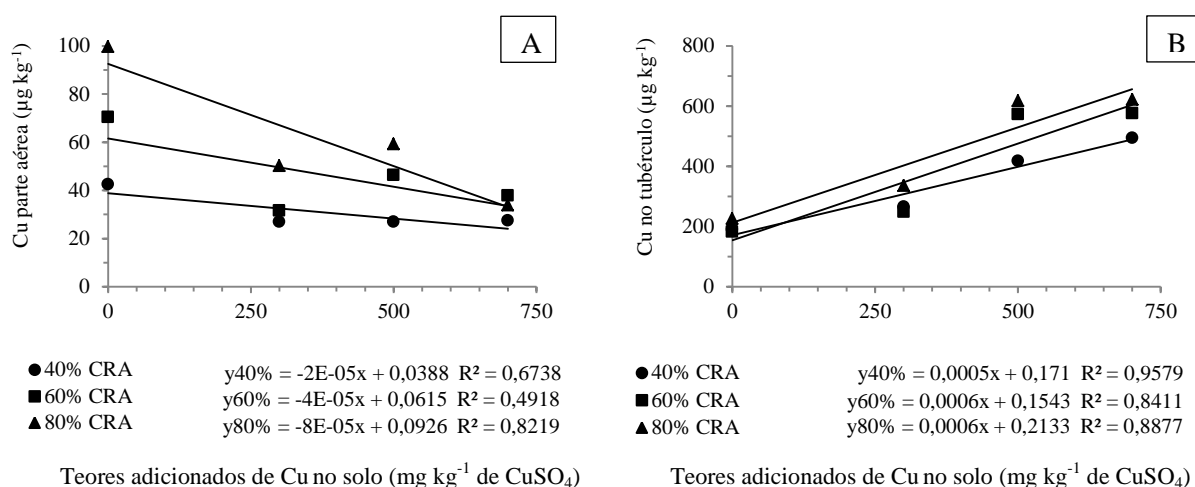


Figura 3.4 – Partição de cobre ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) na fitomassa seca da calla lily (*Zantedeschia* spp.) em função dos diferentes teores adicionados de Cu no solo (zero, 300, 500 e 700  $\text{mg kg}^{-1}$  de  $\text{CuSO}_4$ ). A: concentrações de Cu na fitomassa seca da parte aérea; B: concentrações de Cu na fitomassa seca dos tubérculos. Santa Maria, RS, 2014.

Contudo, na observação realizada por Fonseca (2010) o acúmulo Cu em fitomassa seca foi de 4,18 e 2,63  $\mu\text{g kg}^{-1}$  para parte aérea e de 12,19 e 12,85  $\mu\text{g kg}^{-1}$  para tubérculos das cultivares de calla lily Black Magic e Chianti, respectivamente, cultivadas sob fertirrigação por 84 dias com o fornecimento de 0,36% Cu na solução nutritiva. Isto demonstra que a planta de calla lily absorve ou retém o Cu conforme a sua disponibilidade em substrato, corroborando com os resultados deste experimento.

Após, o cultivo as plantas de calla lily apresentaram concentrações totais de Cu na planta de 56,2; 71,1; 103,8 e 108,3  $\text{mg kg}^{-1}$  para teores adicionados no solo de 00, 300, 500 e 700  $\text{mg kg}^{-1}$  de  $\text{CuSO}_4$ , respectivamente (Tabela 3.1). Todavia, a necessidade nutricional de Cu nas plantas é de 5 a 20  $\text{mg kg}^{-1}$  e, em fitomassa seca estas concentrações podem variar de 2 a 75  $\text{mg kg}^{-1}$  (MALAVOLTA, 1994; DECHEN; NACHTIGALL, 2006). Acima destes valores há prejuízo no crescimento e no desenvolvimento vegetal devido à toxicidade (OORTS, 2013). Deste modo, pode-se constatar que quanto maior o acúmulo de Cu nas

plantas de calla lily, este afeta negativamente o seu desenvolvimento em relação à altura de planta e a área foliar (Figura 3.3) e, ao aspecto visual (Figura 3.2).

Verificou-se que a concentração média de Cu na fitomassa seca da parte aérea foi de 17,33 mg kg<sup>-1</sup>. Almeida et al. (2009) cultivando copo-de-leite (*Z. aethiopica* Spreng.) em diferentes doses de adubação mineral encontrou concentração média de Cu nas folhas de 16,88 mg kg<sup>-1</sup>. Carneiro (2009) registrou a concentração acumulada de Cu na fitomassa seca da parte aérea de 9,7 mg kg<sup>-1</sup> para copo-de-leite (*Z. aethiopica* Spreng.) cultivado em fibra de coco (9,8 mg dm<sup>-3</sup> de Cu), no mesmo período de dias.

Tabela 3.1 – Teores adicionados de Cu no solo (Cu Solo); concentrações médias de Cu na fitomassa seca total (Cu Tot), na parte aérea (Cu PA) e no tubérculo (Cu Tub); fator médio de translocação (FT), fator médio de bioacumulação na parte aérea (FCA) e fator médio de bioconcentração no tubérculo (FCO) no cultivo da calla lily (*Zantedeschia* spp.). Santa Maria, RS, 2014.

<b>Cu Solo</b> (mg kg <sup>-1</sup> de CuSO <sub>4</sub> )	<b>Cu Tot</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	<b>Cu PA</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	<b>Cu Tub</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	<b>FT</b>	<b>FCA</b>	<b>FCO</b>
zero (sem adição)	56,16	22,42	33,74	0,66	0,10	0,15
300	71,01	16,91	54,10	0,31	0,04	0,12
500	103,80	16,41	87,40	0,19	0,03	0,14
700	108,28	13,58	94,69	0,14	0,02	0,12

Constatou-se que o maior acúmulo de Cu ocorreu na fitomassa seca dos tubérculos, correspondendo a percentuais totais acumulado na planta de 60,1; 76,2; 84,5 e 87,5% para teores adicionados no solo de 00, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>, respectivamente. Tal fato indica uma retenção deste metal é maior conforme as quantidades presente no solo, neste caso sem danos as plantas. Resultados similares foram observados por Gómez, Correa e Flores (2010) cultivando calla lily (*Z. elliptica* Engler) em solo de regiões cafeeiras na Colômbia com excesso de Cu, os quais observaram na fitomassa seca dos tubérculos o acúmulo de 86,75 mg kg<sup>-1</sup> de Cu.

Na Tabela 3.1 observa-se que os fatores de translocação, de bioacumulação na parte aérea e de bioconcentração no tubérculo, após o cultivo da calla lily submetida aos diferentes teores adicionados de cobre no solo, alcançaram fatores médios nos valores de 0,33; 0,05 e 0,13 respectivamente. Contudo, todos estes fatores foram menores que um (1), pois este valor é o parâmetro indicativo de absorção de metais na planta e, quanto mais próximo deste valor

maior a eficiência de absorção (BAKER; WHITING, 2002; MCGRATH; ZHAO, 2003; AMARAL, 2013). Apesar disso, Araújo et al. (2011) diz que as plantas com fatores menores que um, apresentam tolerância aos elementos metálicos, como o Cu.

Observou-se neste ensaio experimental que a calla lily é uma planta absorvente e retentora de Cu. Plantas com estas características podem facilitar o processo natural de transferência e de distribuição do Cu nos componentes do ecossistema, através da sua ciclagem biogeoquímica (SOARES et al., 2001; CHAVES et al., 2010; CAIRES et al., 2011). Deste modo, apesar das plantas de calla lily apresentarem baixos índices dos fatores de FT e FCO, estes indicam um potencial de fitoacumulação de cobre, sobretudo, em tubérculo, por consequência tolerante a altos teores deste elemento no solo.

### 3.4 Conclusão

O consumo hídrico diário ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) da calla lily foi crescente conforme o fornecimento da lâmina de água, contudo, os teores cúpricos adicionados no solo não interferiam neste consumo. Ao longo do ciclo houve um aumento no consumo hídrico, nas três estratégias de irrigação adotadas, devido à principalmente, as condições climáticas e ao incremento de fitomassa.

A planta de calla lily apresentou tolerância aos distintos teores de Cu no solo, com as maiores concentrações deste metal nos tubérculos, podendo ser cultivada em ambientes apresentando excesso de Cu no solo. Contudo, as plantas de calla lily apesar da sua rusticidade e boa adaptação a diversos tipos de solos e climas, quando submetidas a cultivo com elevados teores de Cu no solo não obtém qualidade estética visual mínima para sua comercialização em floricultura.

### Referências Bibliográficas

AITKEN, A. G.; NIXON, C. **Growing futures case study series: Callas lilies Zantedeschia** – a novel export flower crop with a global impact. Auckland, New Zealand: Martech Consulting



Group Ltda. 2010. Disponível em: <[http://www.growingfutures.com/files/calla\\_lilies.pdf](http://www.growingfutures.com/files/calla_lilies.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2014.

ALMEIDA, E. F. A.; PAIVA, P. D. O.; CARVALHO, J. G.; POLIVEIRA, N. P.; FONSECA, J.; CARNEIRO, D. N. M. Efeito do silício no desenvolvimento e na nutrição mineral de copo-de-leite. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 103-113, 2009.

AMARAL, D. C. **Estudos ultraestruturais e da capacidade bioacumuladoras de Zn, Cd e Pb por plantas em área de mineração de zinco**. 2013. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

ARAÚJO, A. S. A.; GUILHERME, L. R. G.; LOPES, G., CAMPOS, M. L. Fitorremediação de solos contaminados com arsênio (As) utilizando braquiária. **Revista Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 84-91, 2011.

BAKER, J. M.; WHITNG, S. N. In search of the Holy Grrail – a further step in understanding metal hyperaccumulation? **New Phytology**, Oxford, v. 155, p. 1-7, 2002.

BELLÉ, S. Irrigação de plantas ornamentais. In: PETRY, C. (Org.) **Plantas ornamentais aspectos para a produção**. Passo Fundo: EDIUPF, 2000. 62-68p.

BLOOMZ. **Specialists in Zantedeschia breeding, Tissue Culture, harvest, handling and distribution**. Zantedeschia Production. Zantedeschia Technical Bulletin C01/12. Disponível em <<http://www.bloomz.co.nz/Products/Zantedeschia/Catalogue>> Acesso em: 22 fev.2014.

BRAUN, H.; FONTES, P. C. R.; BUSATO, C.; CECON, P. R. Teor e exportação de macro e micronutrientes nos tubérculos de cultivares de batata em função do nitrogênio. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 50-57, 2011.

CAILLE, N.; ZHAO, F.J.; MCGRATH, S.P. Comparison of root absorption, translocation and tolerance of arsenic in the hyperaccumulator *Pteris vittata* and the nonhyperaccumulartor *Pteris tremula*. **New Phytologist**, Palo Alto, v. 165, p. 755-761, 2005.

CAIRES, S. M.; FONTES, M. P. F.; FERNANDES, R. B. A.; NEVES, J. C. L.; FONTES, R. L. F. Desenvolvimento de mudas de cedro-rosa em solo contaminado com cobre: tolerância e potencial para fins de fitoestabilização do solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.35, n.6, p.1181-1188, 2011.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 183-188, 1995.

CARNEIRO, D. N. M. **Acúmulo de nutrientes em copo-de-leite em fase inicial de cultivo**. 2009. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

CARNEIRO, D. N. M.; SANTOS FILHO, A. B.; CARNEIRO, L. F.; PAIVA, P. D. O. Callas. In: PAIVA, P. D. O; ALMEIDA, E. F. A. **Produção de flores de corte**. Lavras: UFLA. 2012. 114-146p.

CHAVES, L. H. G.; MESQUITA, E. F.; ARAUJO, D. L.; FRANÇA, C. P. Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-manso. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 167-176, 2010.

COOPERATIVA VEILING HOLAMBRA. **Produtos – Critérios de classificação de produtos**. 2014. Disponível em: <<http://www.veiling.com.br/produtos/>>. Acesso em: 05 fev. 2015.

DECHEN, M.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M, (Ed.) **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2006, 327-354p.

FARIAS, M. F.; SAAD, J. C. C. Crescimento e qualidade de crisântemo cultivado em vaso sob ambiente protegido. **Revista Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 740-742, 2005.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê**. 2.ed. Passo Fundo: UPF, 2004. 536p.

FONSECA, A. S. **Absorção de nutrientes em duas cultivares de copo-de-leite colorido (*Zantedeschia* sp.) sob fertirrigação**. 2010. 87f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrônomicas Campus de Botucatu, Botucatu. 2010.

GIRARDI, L. B. **Disponibilidade hídrica na produção de gipsolia (*Gypsophila paniculata*) em vasos com substrato de casca arroz carbonizada**. 2012. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

GIRARDI, L. B.; PEITER, M. X.; BELLÉ, R. A.; BACKES, F. A. A. L.; SOARES, F. C.; IVAIR VALMORBIDA, I. Disponibilidade hídrica e seus efeitos sobre o desenvolvimento radicular e a produção de gipsófila envasada em ambiente protegido. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 1, p. 501-509, 2012.

GÓMEZ, S.; CORREA, C. R. B.; FLORES, J. C. M. Absorción de nutrientes en *Zantedeschia elliottiana* variedad Cristal Blush y su relación con la producción de biomasa em condiciones de la zona cafetera de Colombia. **Acta Agronómica**, Palmira, v. 59, n. 4, p. 462-472, 2010.

GRIMM, E. L. **Efeito de diferentes níveis de irrigação na produtividade e ocorrência de requeima na cultura da batata**. 2007. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria. 2007.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Estação Meteorológica de Santa Maria, RS - *Campus* da UFSM (Universidade Federal de Santa Maria). **Dados meteorológicos do período de outubro de 2013 a março de 2014**.

JEYAKUMAR, P.; ANDERSON, C. W. N.; HOLMES, A.; MILLER, S. **Optimising copper sprays on kiwifruit: a review**. 2014. Disponível em: <[http://www.massey.ac.nz/~flrc/workshops/14/Manuscripts/Paper\\_Jeyakumar\\_1\\_2014.pdf](http://www.massey.ac.nz/~flrc/workshops/14/Manuscripts/Paper_Jeyakumar_1_2014.pdf)>. Acesso em: 8 jan. 2015.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3<sup>th</sup> ed. Boca Raton: Florida, CRC Press, 2001. 413p.

KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 254p.

KÄMPF, A. N.; TAKANE, R. J.; SIQUEIRA, P. T. V. **Floricultura: técnicas de preparo de substratos**. Brasília: LK Editora e Comunicação, 2006. 132p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA. 2004. 531p.

MACKIE, K. A.; MÜLLER, T.; KANDELER, E. Remediation of copper in vineyards - A mini review. **Journals Environmental Pollution**, California, v. 167, p. 16-26, 2012.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo, ProduQuímica, 1994, 40-62 p.

MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C.; SILVA, J. J. L. S. Desafios, técnicas e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 1-11, 2011.

MÁRQUEZ, M. P. **Zantedeschia: Calla Lily**. Santa Fé de Bogotá, Colômbia: Ediciones HortiTecnia, 1999. 54p.

MCGRATH, S. P.; ZHAO, F. J. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 14, n. 3, p. 277-282, 2003.

MELLO, R. P. **Consumo de água do lírio asiático em vaso com diferentes substratos**. 2006. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MUÇOUÇAH, M. F.S.; KLAR, E. V.; MUÇOUÇAH, F. J. Área foliar e evapotranspiração de callas cultivadas em substrato em função do nível freático **Revista Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 119-129, 2006.

OORTS, K. Copper. In: ALLOWAY, B. J. (Ed.) **Heavy Metals in Soils - trace metals and metalloids in soils and their bioavailability**. 3th Edition Springer Environmental Pollution. v. 2, 2013, 367-394p.

PAIVA, R. **Fisiologia de plantas ornamentais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2000, 88p.

PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. **Fisiologia e Produção Vegetal**. Lavras. Ed. UFLA, 2006. 104p.

PETRY, M. T.; ZIMMERMANN, F. L.; CARLESSO, R.; MICELON, C. J.; KUNZ, J. H. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 531-539, 2007.

SANTOS, H. P.; MELO, G. W. B.; LUZ, N. B.; TOMASI, R. J. **Comportamento fisiológico de plantas de aveia (*Avena strigosa*) em solos com excesso de cobre**. EMBRAPA Uva e Vinho, Bento Gonçalves, jun. 2004. (Comunicado Técnico 49).

SCHWAB, N. T. **Disponibilidade hídrica no cultivo de cravina em vasos com substrato de cinzas de casca de arroz**. 2011. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

SEGEREN, M. I. **Apostila de Cultivo de Zantedeschia (Calla) ou Copo-de-leite colorido**. Holambra. 2011. 16p.

SEVERINO, C. A. M. **Dossiê técnico: controle da irrigação em floricultura**. Salvador: Rede de Tecnologia da Bahia – RETEC/BA, 2007. 22p.

SOARES, C. R. F. S.; ACCIOLY, A. M. A.; MARQUES, T. C. L. L. S. M.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de árvores em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 03, p. 302-315, 2001.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. Ed. Porto Alegre: EMATER/RS – ASCAR, 2008. 222p.

YOON, J.; CAO, X.; ZHOU, Q.; MA, L.Q. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. **Science of the Total Environment**, New York, v.368, p.456-464, 2006.

## 4 CAPÍTULO II

### **FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM COBRE UTILIZANDO *Dianthus chinensis* L. COM DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

#### **Resumo**

A contaminação ambiental por metais pesados, como Cu é resultado da ação antrópica sobre o sistema solo-planta-água, principalmente, em áreas agrícolas, como a vitivinicultura. Deste modo, o presente trabalho objetivou avaliar o desenvolvimento e o consumo hídrico da cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) e seus efeitos sobre o cultivo em solo oriundo de áreas de vinhedos apresentando excesso de Cu, que seja promissor a fitorremediação. O solo utilizado foi coletado no município de Pinto Bandeira, RS, localizado na Serra Gaúcha. O experimento foi realizado, no período de março a julho de 2014, em casa de vegetação do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da UFSM, em Santa Maria, RS. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x3 (quatro teores de cobre e três estratégias de irrigação), com cinco repetições. Os dados para o balanço hídrico foram obtidos a cada três dias. Verificou-se que os teores do Cu adicionados ao solo não interferiram no consumo hídrico diário da cravina de jardim, obtendo médias diárias de 0,42; 0,72 e 0,91 mm dia<sup>-1</sup> para as lâminas de 40, 60 e 80% CRA, respectivamente. Os resultados demonstraram que a espécie apresentou bom desenvolvimento vegetal em todas as estratégias de irrigação adotadas e aptidão fitorremediadora para solo contaminado por Cu.

**Palavras-chave:** Cravina de jardim, consumo hídrico, fitorremediação.

### **PHYTOREMEDIATION CONTAMINATED SOIL WITH COPPER USING *Dianthus chinensis* L. WITH IRRIGATION DIFFERENT**

#### **Abstract**

Environmental contamination by heavy metals such as Cu is the result of human action on the soil-plant-water system, especially in agricultural areas such as viticulture. Thus, this study aimed to evaluate the development and the water consumption of dianthus (*Dianthus chinensis* L.) and its effect on the culture in ground come from areas of vineyards presenting excess Cu, which is promising to phytoremediation. The soil was collected in the municipality of Pinto Bandeira, RS. The experiment was carried out from March to July 2014 in the greenhouse of the Floriculture of the Department of Plant Science at UFSM, Santa Maria, RS. The experimental design was completely randomized in a factorial 4x3 (four copper levels and three irrigation strategies), with five repetitions. The data for the water balance was obtained every three days. It was found that Cu content added to the soil will not interfere with the daily water consumption dianthus obtaining daily averages 0.42; 0.72 mm and 0.91 day<sup>-1</sup> for the blades 40, 60 and 80% CRA, respectively. The results showed that the species showed good plant development in all irrigation strategies adopted and fitorremediadora fitness for soil contaminated by Cu

**Key words:** Dianthus, water consumption, phytoremediation.

## 4.1 Introdução

A contaminação do solo por metais pesados é um dos principais problemas ambientais da atualidade, especialmente, em áreas agrícolas. Na vitivinicultura, o uso contínuo de fungicidas cúpricos na forma de caldas para o controle fitossanitário, tem colaborado para elevar os teores de Cu no solo, gerando, anualmente, um incremento próximo de  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  (ARIAS et al., 2004). Esse metal permanece na superfície do solo, devido a sua baixa mobilidade e afeta a capacidade máxima de adsorção em perfil (CASALI et al., 2008; OORTS, 2013). A essencialidade nutricional do Cu como micronutriente varia de 5 a  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  (MALAVOLTA, 1994), contudo, a absorção, a translocação e o acúmulo nos tecidos, dependem diretamente da disponibilidade deste elemento no solo, que em quantidades excessivas provocam disfunções e distúrbios na planta (HARTEMINK; BOURKE, 2000; MALAVOLTA, 2008; SANTOS, 2009), inibindo seu crescimento e, conseqüentemente perdas na produção (COUTINHO; BARBOSA, 2007).

Os solos contaminados são resultantes da interferência antrópica sobre o manejo no sistema solo-água-planta, com impacto direto na produtividade, pois há alteração dos mecanismos bioquímicos e morfofisiológicos das plantas (FONTANA; FONSECA, 2013), inclusive no aproveitamento hídrico. Na agricultura, a água é um recurso fundamental e limitado (REICHARDT; TIMM, 2004), sendo necessário a sua maximização em termos de finalidade do uso e da eficiência (CARLESSO; ZIMMERMAN; PETRY, 2000). Desta forma, o manejo adequado da irrigação torna-se imprescindível para obtenção de produtividade, suprindo as necessidades hídricas da cultura (PEREIRA et al., 2005). Na floricultura comercial, este manejo é uma das tarefas mais importantes na produção de flores e plantas ornamentais, especialmente, no cultivo em vasos, em virtude da limitação hídrica, do alto risco de murcha ou senescência precoce da planta (BELLÉ, 2000a), diferentemente, das condições de cultivo em canteiros (KÄMPF, 2000; FERMINO 2003).

No setor de florícola, as flores anuais destacam-se pelo seu florescimento e forma, possibilitando a delimitação e embelezando de caminhos e ambientes (LORENZI, 2013), cerca de 70 espécies são cultivadas para este propósito, adaptando-se a diversos tipos de climas e solos (BELLÉ, 2000b). Entre as flores anuais cultivadas comercialmente, *Dianthus chinensis* L., conhecido popularmente como cravina de jardim ou cravina chinesa, da família Caryophyllaceae, distingue-se pela exuberância e coloração de suas flores. Planta herbácea perene, entouceirada, ereta, 30-40 cm de altura, cultivada no outono-inverno, originária da

Ásia e Europa, aprecia climas frios como os de altitude do Sul do país, em que é indicado o cultivo (LORENZI, 2013). Adapta-se bem a solos pobres e ácidos, apresentando moderada resistência à seca (SIMONA et al., 2012).

Diante do exposto, e visando minimizar os efeitos deletérios do cobre no solo, com uso de estratégia fitorremediativa, entre eles a fitoextração. Esta técnica caracteriza-se por ser economicamente viável, não invasiva, além de manter a fertilidade do solo (MACKIE; MÜLLER KANDELER, 2012). Sendo esta sugerida para ambientes com contaminação no solo, como as áreas de vinhedos (JADIA; FULEKAR, 2009; KIDD et al., 2009). No entanto, a seleção de plantas aptas para o cultivo nesses ambientes é uma prática necessária, uma vez que a interface solo-água-plantas é um sistema aberto e complexo, sobretudo, no que se refere à dinâmica nutricional e ao consumo hídrico.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento e o consumo hídrico da cravina de jardim e seus efeitos sobre o cultivo em solo oriundo da vitivinicultura apresentando excesso de cobre e que seja promissor a fitorremediação.

## 4.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado, no período de março a julho de 2014, em casa de vegetação do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da UFSM, localizado em Santa Maria, RS (29°43' S; 53°43' W e altitude de 95m).

O delineamento experimental foi conduzido de forma inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4x3 (quatro teores adicionados de cobre no solo e três estratégias de irrigação), com cinco repetições, totalizando 60 unidades experimentais. O fator A foi composto por quatro teores adicionados de cobre por quilo de solo nas quantidades de zero (sem adição), 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>. O fator D foi composto por três estratégias de irrigação com o fornecimento de lâminas de água nas porcentagens de 40, 60 e 80% da capacidade de retenção de água no vaso (CRA).

O solo utilizado foi coletado em área vitivinícola do município de Pinto Bandeira, RS, localizado na Serra Gaúcha, a profundidade 0-20 cm, classificado como Cambissolo Húmico (STRECK et al., 2008). O laudo da análise química do solo antes do cultivo, realizada no Laboratório de Solos da UFSM (LAS-UFSM), apresentou as seguintes características: argila 12%; matéria orgânica 5%; textura 4; pH<sub>água(1:1)</sub> 5,8; índice SMP 6,2; CTC<sub>efet.</sub> 15; CTC<sub>pH 7</sub>

18,5; saturação de bases 80,8%; saturação por Al zero; Ca 11,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg 2,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; S mg dm<sup>3</sup>; P-Mehlich 66,1 mg.dm<sup>-3</sup>; K 264 mg dm<sup>-3</sup>; Cu 188,7 mg dm<sup>-3</sup>; Zn 25 mg dm<sup>-3</sup>; B 0,8 mg dm<sup>-3</sup>. Os teores adicionados de cobre no solo foram por meio de sulfato de cobre pentahidratado [CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O], nas quantidades de zero (sem adição), 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub> por tratamento. Sendo que 100 mg de CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O possui 63,9% de Cu.

As mudas de cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) utilizadas neste experimento foram obtidas a partir da sementeira, no dia 26/03/2014, do híbrido F1 da empresa Sakata Seed Sudamerica<sup>®</sup> variedade Carmine Rose. A sementeira ocorreu em bandejas de isopor (poliestireno expandido) com duas sementes por alvéolo, em substrato comercial H-Decker<sup>®</sup>, com irrigações diárias. Após 15 dias, realizou-se o transplante das mudas (10/04/2014), nos vasos contendo solo conforme o delineamento experimental. Os vasos utilizados foram de número 15, com 1,3 L de volume, 14,5 cm de diâmetro superior e 11 cm de diâmetro inferior, 12 cm de altura, de material plástico na cor preto, com distribuição de 10 vasos m<sup>-2</sup>. A distribuição dos vasos foi aleatória sobre as bancadas no interior da casa de vegetação (Apêndice A).

A determinação da capacidade de retenção de água no vaso (CRA) utilizando solo como substrato, ocorreu conforme a metodologia descrita por Kämpf, Takane e Siqueira (2006), obtida pela Equação:

$$CRA_{total} = P_2 - P_1 \quad (4.1)$$

Em que,  $P_2$  (g) = peso do vaso + peso do solo + peso da água,  $P_1$  (g) = peso do vaso + peso do solo seco; equivalendo a água a 1g a 1 mL. A partir, da  $CRA_{total}$  foram obtidas as estratégias de irrigação com as porcentagens de 40, 60 e 80% da  $CRA_{total}$ , conforme a fórmula descrita e adaptada por Mello (2006) expressa na Equação:

$$PV_{n\%} = (CRA_{total} * n\%) + PV_{seco} \quad (4.2)$$

Onde:  $PV_{n\%}$  é o peso do vaso para cada tratamento (g);  $CRA_{total}$  é a capacidade total de retenção de água no vaso (g);  $n\%$  é o limite estipulado da  $CRA_{total}$ ;  $PV_{seco}$  é o peso do vaso preenchido com solo seco (g). Os pesos dos vasos para cada tratamento resultaram em:  $PV_{40\%} = 1.200$  g para o tratamento de 40% CRA;  $PV_{60\%} = 1.310$ g para o tratamento de 60% CRA e  $PV_{80\%} = 1.420,2$ g para o tratamento de 80% CRA, estes valores atribuídos por tratamento foram utilizados para a tomada do balanço hídrico.



O monitoramento dos dados para o balanço hídrico iniciou três dias após o plantio (13/04/2014) e permanecendo até o encerramento do ensaio (09/07/2014), totalizando 90 dias de cultivo, com o intervalo de verificação de três dias ( $\Delta t=3$ ). Para o cálculo do balanço hídrico em recipiente utilizou-se a Equação:

$$E_{tr} = \sum_{i=1}^L M_i - \sum_{i=1}^L M_{i+1} + I \quad (4.3)$$

Onde:  $E_{tr}$  é a evapotranspiração real da planta em vaso,  $M_i$  é o peso do solo e da água contida no vaso,  $M_{i+1}$  é o peso do solo e água remanescente após  $\Delta t$ ,  $I$  é a irrigação aplicada no vaso no intervalo de tempo, e  $i$  é o índice representa o intervalo de tempo considerado para o balanço. A drenagem e o escoamento superficial foram desconsiderados, pois o experimento foi realizado em recipientes e a irrigação máxima foi menor que a  $CRA_{total}$ , não havendo percolação e nem saturação nos vasos. A variação do armazenamento de água no vaso ( $M_i - M_{i+1}$ ) ocorreu por meio da pesagem dos vasos em balança analógica de capacidade de 5 kg. Os valores de consumo de água obtidos pela diferença de peso ( $g \text{ dia}^{-1}$ ) foram transformados em valores correspondentes à lâmina de água ( $mm \text{ dia}^{-1}$ ) através da multiplicação pela área do vaso. O consumo hídrico acumulado (CHA) foi obtido pela soma das quantidades de água consumidas diariamente ao longo do ciclo, para cada um dos tratamentos. O uso e eficiência de água (UEA) foram obtidos pela relação da fitomassa seca da parte aérea com o consumo hídrico acumulado. A reposição hídrica foi realizada de forma manual até atingir o peso estipulado por tratamento, mantendo-os limites da CRA. A água utilizada (~ 100%) foi coletada da chuva e armazenada em baldes, descartado o primeiro volume.

Avaliou-se altura média da planta; número médio de hastes e flores, fitomassa fresca e seca da parte aérea e das raízes por planta. Também foi avaliada a cobertura de vaso (CBV), que relaciona o diâmetro de planta com o diâmetro do vaso. Adotou-se a escala de notas de 1 a 5 (BELLÉ, 2000b), onde, observada em vista superior, a nota 1 corresponde a até 20% de CBV e nota 5 a 100% de CBV, sendo as notas intermediárias correspondentes aos intervalos percentuais de cobertura de vaso.

A secagem das plantas ocorreu em estufa de ventilação forçada a 65° C até atingir peso constante, para determinação da fitomassa seca. Na sequência as subamostras do material vegetal seco foram trituradas em moinho tipo Willey, submetidas à digestão nítrico-perclórica e a quantificação das concentrações de Cu nos tecidos vegetais foram efetuadas por espectrofotometria de absorção atômica, no Laboratório de Absorção e Emissão Atômica da

Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo (USP). Os teores de Cu no solo após o cultivo foram amostrados por análise química no LAS-UFSM (Anexo B).

Os cálculos do número efetivo de plantas totais (PENt) e do número efetivo de parte aérea de plantas (PENpa) foram conforme a metodologia descrita por Garcia, Faz e Cunna (2004) e Sun, Zhou e Diao (2008). O fator de translocação (FT), o fator de bioacumulação da parte aérea (FCA) e o fator de bioconcentração das raízes (FCO) foram avaliados conforme as metodologias descritas por Caille, Zhao, Mcgrath (2005) e Yoon et al. (2006) e, taxa de extração de metal (MER) ocorreu conforme a fórmula descrita por Mertens et al. (2005), expressas nas Equações:

$$FT = \frac{\text{concentração de Cu na fitomassa seca da parte aérea}}{\text{concentração de Cu na fitomassa seca da raiz}} \quad (4.4)$$

$$FCA = \frac{\text{concentração de Cu na fitomassa seca da parte aérea}}{\text{teor de Cu disponível no solo após o cultivo}} \quad (4.5)$$

$$FCO = \frac{\text{concentração de Cu na fitomassa seca da raiz}}{\text{teor de Cu disponível no solo após o cultivo}} \quad (4.6)$$

$$MER = \frac{(Cu_{\text{planta}} \times FM_{\text{Tot}})}{(Cu_{\text{solo}} \times M_{\text{raiz}})} \times 100 \quad (4.7)$$

Onde:  $Cu_{\text{planta}}$  é a concentração de cobre na fitomassa seca total,  $FM_{\text{Tot}}$  é a fitomassa total,  $Cu_{\text{solo}}$  é o teor de Cu disponível no solo após o cultivo e  $M_{\text{raiz}}$  é a massa do volume de solo enraizada pela espécie.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa estatístico SISVAR, onde foi testada a interação entre dois fatores A e D (quatro teores adicionados de cobre no solo e três estratégias de irrigação) pelo teste F, com 5% de probabilidade de erro. Sendo esta não significativa (<sup>ns</sup>), foram realizadas análises de regressão para os fatores A e D de forma independente. As análises de variâncias (ANOVA) e os ajustes das equações por teste de regressão estão apresentados nos Apêndices D e E, respectivamente.

### 4.3 Resultados e Discussão

#### 4.3.1 Consumo hídrico

No período de condução do experimento a amplitude térmica média do ar registrada no interior da casa de vegetação foi de 27,3 e 13,0° C de máxima e de mínima, respectivamente, conforme a Figura 4.1. Segundo Sakata Ornamentals (2011), a faixa térmica de crescimento ótimo para cravina de jardim é de 17 a 20° C. E, a média da umidade relativa do ar foi de 92,5% (dados INMET *Campus* da UFSM). Furlan (2001) e Milani (2012) ressaltam que elevada umidade do ar reduzem a evapotranspiração e quando associadas a elevadas temperaturas favorecem o aparecimento de doenças, contudo, este fator não foi observado no experimento.

Na Figura 4.1, verificou-se que em todos os tratamentos houve um aumento constante no consumo hídrico diário ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), sendo este mais acentuado próximo ao final do ciclo de cultivo (90 dias). Resultados semelhantes foram observados por Schwab et al. (2013) para cravina de corte (*Dianthus hybrida* cv. Melody) atribuindo esta demanda hídrica ao incremento do desenvolvimento vegetal pelo aumento na intensidade dos processos transpiratórios da planta.

Observou-se que ao longo do ciclo de cultivo as estratégias de irrigação com 60 e 80% CRA apresentaram maior variação que a lâmina de fornecimento de água a 40% CRA, conforme a Figura 4.1. Isso pode ser atribuído em função do aumento crescente da fitomassa, da própria disponibilidade hídrica do solo e das variações das condições ambientais (CARLESSO; SANTOS, 1999; FLOSS, 2004). Tal fato ocorre porque a demanda hídrica da planta é distinta em cada estágio fenológico, visando à manutenção dos seus processos fisiológicos (SILVA et al., 2013).

Verificou-se que os teores do Cu adicionados ao solo não interferiram no consumo de água pela cultura (Figura 4.2), todos os teores cúpricos testados apresentaram semelhança na demanda hídrica diária, com o consumo médio diário de 0,42; 0,72 e 0,91  $\text{mm.dia}^{-1}$  para as lâminas de 40, 60 e 80% CRA, respectivamente. Ludwig et al. (2013) cultivando gérbera (*Gerbera jamesonii* L.) verificaram que conforme é reduzida a disponibilidade hídrica, aumenta a dificuldade na absorção da água. Uma vez que, durante o período de déficit hídrico há ajuste da condutividade estomatal para a manutenção do turgor na planta (CARLESSO, 1995; KERBAUY, 2008).

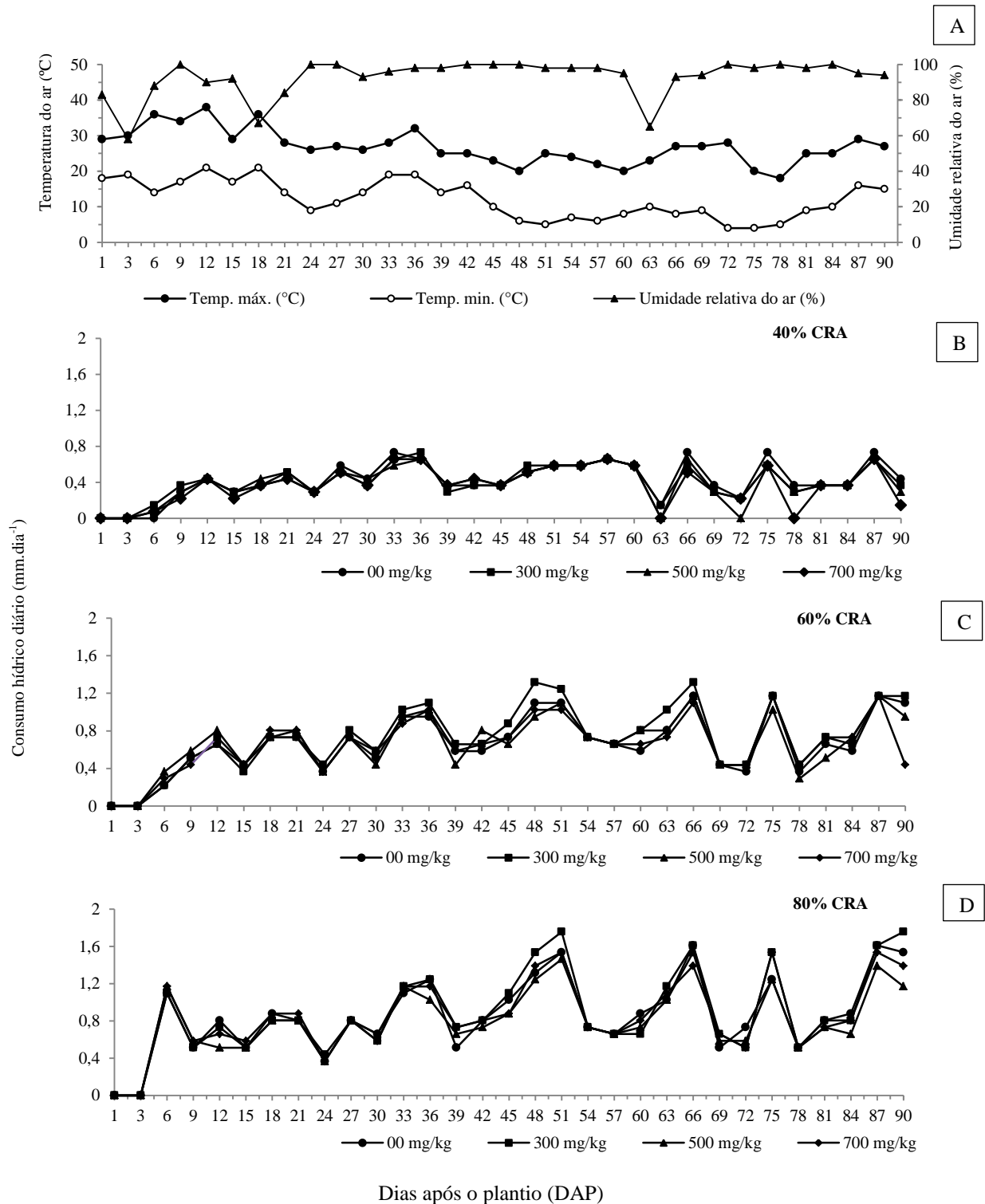


Figura 4.1 – Cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) cultivada em 90 dias de cultivo (1 ao 90 DAP) função dos diferentes teores adicionados de cobre no solo (zero, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). A: Temperaturas do ar máxima e mínima (°C) e umidade relativa do ar (%); B: Consumo hídrico (mm dia<sup>-1</sup>) de 40% CRA (capacidade de retenção de água no vaso); C: Consumo hídrico (mm dia<sup>-1</sup>) de 60% CRA; D: Consumo hídrico (mm dia<sup>-1</sup>) de 80% CRA. Santa Maria, RS, 2014.



Figura 4.2 – Ilustrações dos vasos de cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) em função dos diferentes teores adicionados de cobre no solo (zero, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). A: 40% CRA (capacidade de retenção de água no vaso); B: 60% CRA e C: 80% CRA. Santa Maria, RS, 2014. Foto: Menegaes, J. F. (2014).

#### 4.3.2 Parâmetros fitotécnicos

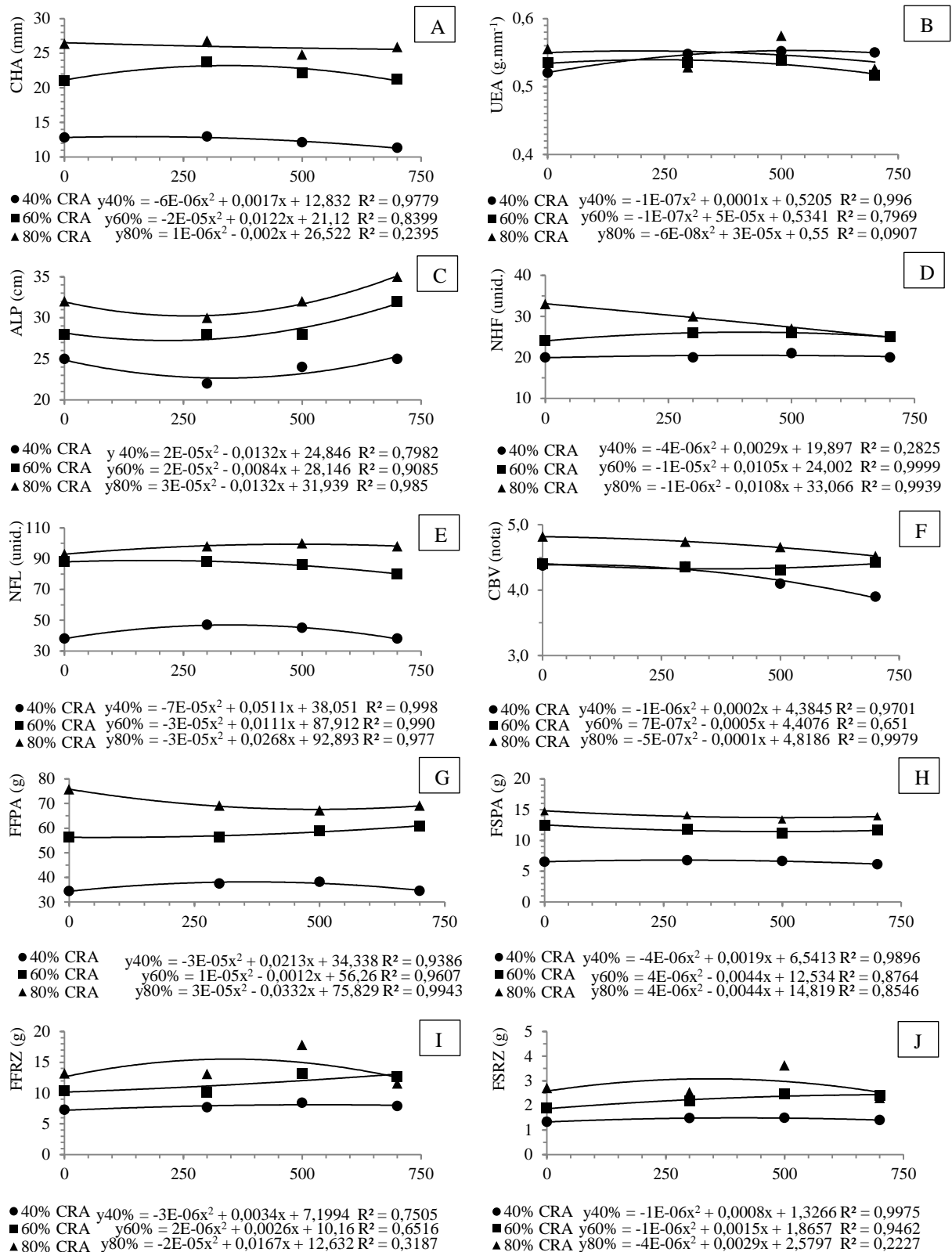
As Figuras 4.3 apresentam os resultados dos parâmetros avaliados em cravina de jardim após 90 dias de cultivo. Observou-se que não houve efeito significativo das interações dos fatores A e D (quatro teores adicionados de cobre no solo e três estratégias de irrigação), para estes parâmetros.

Na Figura 4.3 verifica-se que o consumo hídrico acumulado foi de 12,3; 22,0 e 26,0 mm, para as estratégias de irrigação 40, 60 e 80% CRA, respectivamente, com coeficiente de variação de 9,04%. E, o uso e a eficiência da água foram determinados pela relação entre a fitomassa seca da parte aérea e o consumo hídrico acumulado, resultando nas médias de 0,53; 0,53 e 0,55 g mm<sup>-1</sup> para as disponibilidades de 40, 60 e 80% CRA, respectivamente, apresentando o coeficiente de variação de 8,62%.

A deficiência hídrica, nas plantas, afeta diretamente, o potencial do consumo hídrico e conseqüentemente, os mecanismos e processos fisiológicos relacionados ao crescimento vegetal (LIBERATO et al., 2006; GONÇALVES; SILVA; GUIMARÃES, 2009; FERREIRA et al., 2012). Contudo, para a cultura do crisântemo, Rego (2009), conclui que a eficiência do uso da água com a utilização da menor lâmina, neste caso 50% CRA, não reduziu a produtividade da cultura e possibilitou uma economia de água.

Em relação às alturas médias das plantas que o desempenho similar nas diferentes estratégias de irrigação, de forma, ascendentes conforme o aumento do teor de Cu no solo. Martín (2011) cultivando cravo (*Dianthus caryophyllus* Linn) em vaso com fornecimento de 35, 70 e 100% CRA verificou que a altura da planta foi crescente conforme a disponibilidade de água no vaso.

Verificou-se o acúmulo de fitomassa da parte aérea (folhas, hastes e flores) nos tratamentos sem adição de Cu no solo, em todas as estratégias de irrigação apresentaram desempenho superior aos demais tratamentos em que foi adicionado Cu, tanto para a fitomassa fresca quanto para a mesma em matéria seca. Observou-se que a fitomassa fresca e em matéria seca das raízes em relação aos teores de Cu no solo obtiveram desempenhos similares, com 80,4% de umidade geral média.



Teores adicionados de Cu no solo (mg.kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>) Teores adicionados de Cu no solo (mg.kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>)

Figura 4.3 – Parâmetros fitotécnicos da cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) submetidas a 40, 60 e 80% da capacidade de retenção de água no vaso (CRA) em função dos diferentes teores adicionados de cobre no solo (00, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). A: Consumo Hídrico Acumulado (CHA); B: Uso e Eficiência da Água (UEA); C: Altura média da Planta (ALP); D: Número médio da Haste Foliar (NHF); E: Número médio de Flores (NFL); F: Nota de Cobertura de Vaso (CBV); G: Fitomassa Fresca da Parte Aérea (FFPA); H: Fitomassa Seca da Parte Aérea (FSPA); I: Fitomassa Fresca das Raízes (FFRZ) e J: Fitomassa Seca das Raízes (FSRZ). Santa

Maria, RS, 2014.

O número de haste foliar representa o perfilhamento da cultura o que afeta o número de folhas e flores e, conseqüentemente, a qualidade da cobertura de vaso. Pois, quanto maior o perfilhamento maior o número de folhas e flores, resultando em vasos de melhor qualidade comercial. Parizi et al. (2010) e Ludwig et al. (2013) em estudo com diferentes lâminas de irrigação para a cultura do kalanchoe (*Kalanchoe blossfeldiana* Poelln.) e da gérbera (*Gerbera jamesonii* L.), respectivamente, verificaram que há aumento no número de folhas, conforme o incremento de água disponível no vaso, corroborando com os resultados deste ensaio.

Os critérios de qualidade de vaso propostos por Bellé (2000b) e Barbosa et al. (2003) relacionam a altura de planta com a altura do vaso, com a finalidade de formar um conjunto harmônico que esconda toda a superfície do vaso. Assim, observou-se que em todas as estratégias de irrigação, deste experimento, apresentaram boa cobertura de vaso para todas as estratégias de irrigação adotadas, obtendo média de 4,2; 4,4 e 4,7 para 40, 60 e 80% CRA, respectivamente (Figura 4.3 e 4.4).

Durante o ciclo florífero da cravina de jardim verificou-se que o ponto de comercialização é com 50% da abertura dos botões, pois neste estágio a planta apresenta nota de cobertura de vaso igual a 4,0, ou seja, 80% da superfície do vaso. Milani (2012) cita que quanto maior a nota atribuída à cobertura do vaso para *D. chinensis* L., maior o preenchimento do vaso devido ao número de ramificações da planta, originando maior número de botões florais.

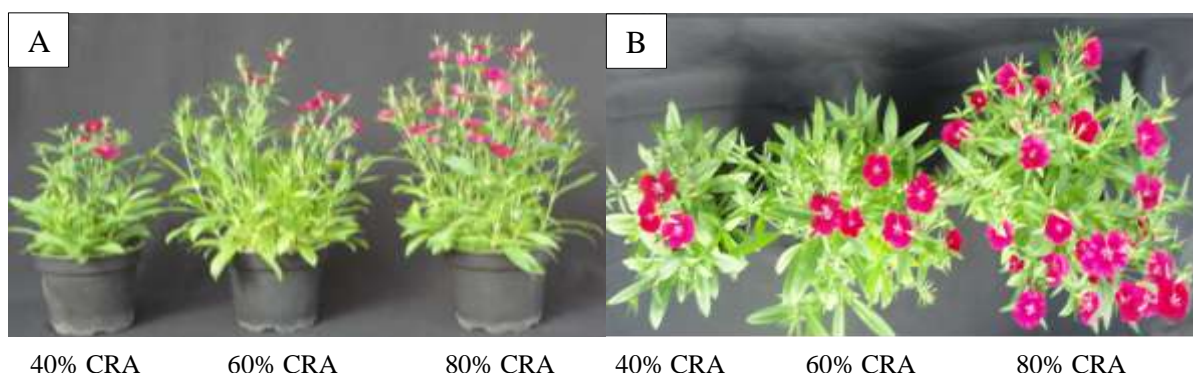


Figura 4.4 – Ilustrações dos vasos de cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.). A: vista frontal e B: vista superior. \*CRA: capacidade de retenção de água no vaso. Santa Maria, RS, 2014. Foto: Menegaes, J. F. (2014).

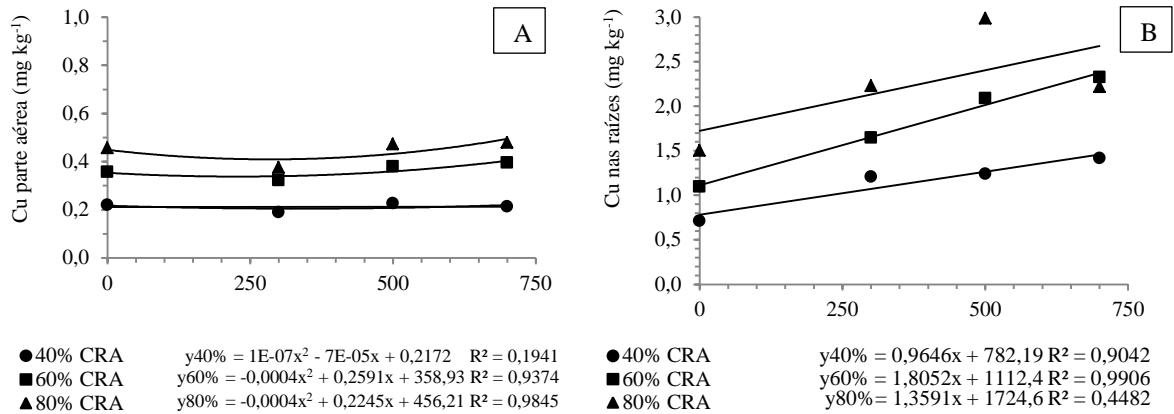


#### 4.3.3 Relação das concentrações de Cu na parte aérea e nas raízes com as doses aplicadas

Na Figura 4.5 observou-se que a partição do conteúdo de Cu na fitomassa seca da cravina de jardim, em média foi de 3,8% e 96,2 % de Cu concentrado na parte aérea e nas raízes, respectivamente, com a proporcionalidade de 1:25. Corroborando com a produção de fitomassa fresca tanto da parte aérea como das raízes (Figura 4.3), as quais foram crescentes com o incremento de Cu no solo, obtendo a mesma convergência para todas as estratégias de irrigação testadas. Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) relatam diz que o Cu tende a acumular nas raízes devido a sua baixa mobilidade. Marsola, Miyazawa e Pavan (2005) cultivando feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos contaminados por metais pesados, entre eles o Cu, atribuíram que a grande diferença entre as concentrações deste elemento na parte aérea e na raiz deve-se ao mecanismo de redução da difusão de cátion no interior do tecido, protegendo-o da intoxicação. Pois, a demasiada retenção de Cu nas raízes pode ser um indicativo de tolerância da planta ao excesso deste elemento no solo, diagnosticando o seu grau de contaminação (GARBSU; ALKORTA, 2001; ZANCHETA et al., 2011).

A capacidade de absorção do metal e a produção de biomassa são os fatores preponderantes para a eficiência da sua fitoextração (MCGRATH; ZHAO, 2003). No solo, os metais pesados, como o Cu, tendem a acumularem-se nas camadas superiores, as agricultáveis, em função da sua baixa mobilidade (ANSELMO; JONES, 2005), no entanto, em condições ácidas há maior mobilidade e adsorção pelos óxidos (SODRÉ; LENZI; COSTA, 2001), favorecendo a disponibilidade do Cu, tornando-o fitodisponível (BUSTAMENTE, 1993).

O cultivo da cravina de jardim foi em pH 5,8, na faixa de alta disponibilidade do elemento no solo e, conseqüentemente, resultando na elevada concentração de Cu nas raízes. Brooks (1983) e Frizzo (2002) relatam que aproximadamente 33% do cobre disponível é absorvido pela planta em pH 6 e 100% em pH 4. Zhuang et al. (2007) selecionando materiais vegetais com habilidades fitorremediativas em áreas contaminadas por Pb, Zn e Cd, verificaram que o *D. chinensis* apresentou altas concentrações na parte aérea de 146 mg kg<sup>-1</sup> Pb; 282 mg kg<sup>-1</sup> Zn e 6 mg kg<sup>-1</sup> Cd e, nas raízes de 163 mg kg<sup>-1</sup> Pb; 228 mg kg<sup>-1</sup> Zn e 7,2 mg kg<sup>-1</sup> Cd, tornando-o tolerante a ambientes contaminados por estes elementos.



Teores adicionados de Cu no solo (mg.kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>)      Teores adicionados de Cu no solo (mg.kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>)

Figura 4.5– Concentrações de Cu (mg kg<sup>-1</sup>) na fitomassa da parte aérea e nas raízes da cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) submetidas a 40, 60 e 80% da capacidade de retenção de água no vaso (CRA) em função dos diferentes teores adicionados de cobre no solo 00, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). Santa Maria, RS, 2014.

Na Tabela 4.1 expõe o número efetivo de plantas de cravina de jardim capazes de remover do solo 1 g de Cu, na sua totalidade (PENt) e na parte aérea (PENpa). E, observa-se que o número efetivo de plantas varia conforme as estratégias de irrigação adotada (40, 60 e 80% de CRA), neste caso o condicionamento hídrico afetou, diretamente a produção de fitomassa (Figura 4.3) e, por consequência implicou na variação da taxa de extração de Cu (MER). Esta taxa, MER, indica em porcentagem a aptidão da planta em extrair o metal do solo em função da sua produção de fitomassa (MERTENS et al., 2005). O que pode ser comprovado na Tabela 4.1, em que estas taxas foram crescentes conforme o aumento da disponibilidade de água no solo (CRA).

A produção de fotoassimilados e as relações de acúmulo de fitomassa entre as partes aérea e radicular são variáveis e dependentes das condições hídricas do solo, as quais são essenciais para muitos processos metabólicos básicos para a realização da fotossíntese, como taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (WINTER, 1976; KERBAUY, 2008; TAIZ; ZEIGER, 2009).

Verificou-se, na Tabela 4.1, uma grande diferença entre os números efetivos de plantas totais (PENt) e de parte aérea (PENpa), isto atribui-se ao elevado acúmulo de Cu nas raízes, além do condicionamento hídrico. Zancheta et al. (2011) verificaram semelhante desempenho de acúmulo de Cu nas raízes das plantas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC Bean) cultivadas em solução nutritiva com excesso de Cu, os autores atribuíram este desempenho a tolerância das plantas ao metal.

Tabela 4.1 – Número efetivo de plantas totais (PENt), número efetivo de parte aérea de plantas (PENpa) e taxa de extração de cobre (MER) do cultivo de cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) submetidas a 40, 60 e 80% da capacidade de retenção de água no vaso (CRA) em função dos diferentes teores adicionados de cobre no solo 00, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). Santa Maria, RS, 2014.

Parâmetros	CRA	Teores de Cu adicionados no solo (mg kg <sup>-1</sup> de CuSO <sub>4</sub> )			
		zero	300	500	700
PENt (plantas*)	40%	1.073,9	714,9	681,6	614,0
	60%	687,9	508,1	405,0	367,3
	80%	510,4	383,7	289,0	370,7
PENpa (plantas*)	40%	4.530,2	5.270,4	4.416,5	4.689,0
	60%	2.797,6	3.096,5	2.634,5	2.524,3
	80%	2.188,6	2.658,5	2.115,4	2.083,6
MER (%)	40%	2,6	3,8	3,9	4,0
	60%	4,2	6,2	6,5	7,3
	80%	5,4	7,4	8,3	8,5

\*Número de plantas de cravina de jardim capazes de remover 1 g de Cu em 90 dias de cultivo.

Entre os fatores de fitorremediação do solo destaca-se o fator de bioconcentração do elemento na raiz (FCO), que expõe a relação entre o residual de Cu no solo e a concentração deste elemento nas raízes em fitomassa seca (Tabela 4.2). Assim, caracteriza a espécie de cravina de jardim como acumuladora de Cu. Zhuang et al. (2007) verificaram habilidades fitorremediativas do *D. chinensis* em áreas contaminadas por metais pesados, como Pb, Zn e Cd, apresentando FCO de 0,18; 0,34 e 1,3, respectivamente. Assim, a cravina de jardim pode ser considerada uma planta tolerante a ambientes contaminados por metais pesados, com capacidade fitoextrativa, concentrando metais, principalmente nas raízes, sem prejuízo ao seu desenvolvimento característico.

A capacidade de fitoextração é mensurada através de fatores de acumulação, transferência e/ou concentração, que quanto mais próximo de um (1), maior a eficiência absorvente ou retentora do metal em tecidos vegetais (BAKER; WHITING, 2002; MCGRATH; ZHAO, 2003; AMARAL, 2013).

Contudo, observou-se que a translação de Cu na planta foi baixo, expressado pelo fator de translocação (FT). Resultados semelhantes foram encontrados por Andrezza e Camargo (2011) para as espécies de *Bidens pilosa* L. e *Plantago lanceolata* L. cultivadas em solos de vitivinicultura com excesso de Cu, apesar disso, os autores, relatam que estas espécies demonstraram alta tolerância a este elemento, com FT nos valores de 0,04 e 0,15,

respectivamente. Devido à sua baixa mobilidade, o Cu não está prontamente disponível a planta, permanecendo fortemente ligado às paredes celulares das raízes.

Tabela 4.2 – Doses adicionados de CuSO<sub>4</sub> no solo (Cu Solo); concentrações médias de Cu na fitomassa seca total (Cu Tot), na parte aérea (Cu PA) e na raiz (Cu Rz); fator médio de translocação (FT), fator médio de bioacumulação na parte aérea (FCA) e fator médio de bioconcentração na raiz (FCO) no cultivo cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.). Santa Maria, RS, 2014.

<b>Cu Solo</b> (mg kg <sup>-1</sup> de CuSO <sub>4</sub> )	<b>Cu Tot</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	<b>Cu PA</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	<b>Cu Rz</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	<b>FT</b>	<b>FCA</b>	<b>FCO</b>
Zero (sem adição)	586,75	31,42	555,33	0,06	0,16	2,88
300	832,87	26,52	806,35	0,03	0,14	4,15
500	898,43	33,67	864,77	0,04	0,17	4,47
700	966,95	34,46	932,49	0,04	0,18	4,94

Todavia, sua mobilidade nos tecidos vegetais pode aumentar com o nível de suprimento do elemento (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001; CHAVES et al., 2010), afetando o fator de bioacumulação na parte aérea (FCA). Entretanto, resultados deste experimento demonstraram que os fatores FCA mantiveram-se constante para todos os teores adicionados de Cu no solo, corroborando a tolerância da cravina de jardim cultivada em áreas com excesso deste elemento.

Em áreas de cultivo de videiras, plantas de cobertura tendem a auxiliar no controle da erosão e na fertilidade do solo (MORLAT; JACQUET, 2003; MACKIE; MÜLLER, KANDELER, 2012), preferencialmente, as nativas e as ornamentais que se desenvolvem vigorosamente em ambientes contaminados por metais pesados, sendo a fitorremediação uma estratégia de boa relação custo-benefício, especialmente, ambiental ao mesmo tempo em que o embeleza (MOFFAT, 1995; OLIVEIRA et al., 2009; MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011).

#### 4.4 Conclusão

O incremento de Cu adicionado no solo, em diferentes doses, não interferiu no consumo hídrico diário ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) da cravina de jardim, sendo crescente conforme o fornecimento de lâmina de água, acentuando-se próximo ao final do ciclo de cultivo, devido ao desenvolvimento vegetal característico.

A espécie *D. chinensis* apresentou alta tolerância e eficiência na retenção de grandes concentrações de Cu, em diferentes teores de Cu presente no solo, sobretudo, nas raízes. Apresentando características fitorremediativas para áreas de vitivinícolas, como as da Serra Gaúcha. As plantas de cravina de jardim obtiveram ótimo desenvolvimento vegetal e florífero em todos os teores cúpricos adicionados ao solo, apresentando bom preenchimento de vaso, sendo indicada como planta de cobertura.

A disposição das plantas de cravina de jardim deve ser na linha de cultivo das videiras, buscando, além de fitorremediar o solo com excesso de Cu, vai também ajardinar o local, propiciando assim um atrativo turístico a mais nestas áreas.

#### Referências Bibliográficas

AMARAL, D. C. **Estudos ultraestruturais e da capacidade bioacumuladoras de Zn, Cd e Pb por plantas em área de mineração de zinco.** 2013. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

ANDREAZZA, R.; CAMARGO, F. A. O. Caracterização de plantas nativas de áreas contaminadas com cobre como plantas fitorremediadoras. In: 7º Salão de Ensino UFRGS, Formação, Conhecimento e Inovação, 2011, Porto Alegre. **Anais eletrônicos ...** Porto Alegre: UFRGS, 2011. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/62889?locale=en>>. Acessado em: 17 fev. 2015.

ANSELMO, A. L. F.; JONES, C.M. Fitorremediação de Solos Contaminados – O Estado da Arte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25, 2005, Porto Alegre. **Anais eletrônicos ...** Porto Alegre: PUCRS, 2005. Disponível em <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP2005\\_Enegep1005\\_0558.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP2005_Enegep1005_0558.pdf)>. Acessado em: 27 nov. 2014

ARIAS, M.; LÓPEZ, E.; FERNÁNDEZ, D.; SOTO, B. Copper distribution and dynamics in acid vineyard soils treated with copper-based fungicides. **Journals Soil Science**, Baltimore, v. 169, n.11, p.796-805, 2004.

BAKER, J. M.; WHITING, S. N. In search of the Holy Grail – a further step in understanding metal hyperaccumulation? **New Phytology**, Oxford, v. 155, p. 1-7, 2002.

BARBOSA, J. G.; STRINGHETA, A. C. O.; MUNIZ, M. A. Plantio e condução das plantas. In: BARBOSA, J. G. **Crisântemos – produção de mudas, cultivo para corte de flor, cultivo em vaso e cultivo hidropônico**. Viçosa. 2003. 130-150p.

BELLÉ, R. A. **Caderno Didático de Floricultura**. Curso de Agronomia, UFSM. 2000b. 142p.

BELLÉ, S. Irrigação de plantas ornamentais. In: PETRY, C. (Org.) **Plantas ornamentais aspectos para a produção**. Passo Fundo: EDIUPF, 2000a. 62-68p.

BROOKS, R. R. **Biological methods of prospecting for minerals**. New York: Wiley-Interscience, 1983. 322p.

BUSTAMENTE, M. M. **Biomonitoring of heavy metals using higher plants growing at former mining site**. 1993. 197p. Dissertation (Doktor der Naturwissenschaften) – Fachbereich VI Geographie – Glawissenschaften der Universität of Trier, Trier.

CAILLE, N.; ZHAO, F.J.; MCGRATH, S.P. Comparison of root absorption, translocation and tolerance of arsenic in the hyperaccumulator *Pteris vittata* and the nonhyperaccumulator *Pteris tremula*. **New Phytologist**, Palo Alto, v.165, p.755-761, 2005.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.1, p.183-188, 1995.

CARLESSO, R.; SANTOS, R. F. Disponibilidade de água às plantas de milho em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p. 17-25, 1999.

CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, F. L.; PETRY, M. T. **Água no solo: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação**. Santa Maria: UFSM/Departamento de Engenharia Rural, 2000. 88p. (Caderno didático, n. 3).

CASALI, C.A.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S.; BRUNETTO, G.; CORCINI, A. L. M.; KAMINSKI, J.; MELO, J. W. B. Formas e desorção de cobre em solos cultivados com videira na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1479-1487, 2008.

CHAVES, L. H. G.; MESQUITA, E. F.; ARAUJOD. L.; FRANÇA, C. P. Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-manso. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 2, p. 167-176, 2010.

COUTINHO, H. D.; BARBOSA, A. R. Fitorremediação: considerações gerais e características de utilização. **Revista Silva Lusitana**. Lisboa, v. 15, n. 1, p. 103-117, 2007.

FERMINO, M. H.; **Método de análise para caracterização física de substratos para plantas**. 2003, 104f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. C.; FERRAZ, J. B. S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da-amazônia em área degradada e submetidas à adubação. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 393-401, 2012.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas: o estudo que está por trás do que se vê**. 2.ed. Passo Fundo: UPF, 2004. 536p.

FONTANA, D. C.; FONSECA, L. E. **Uso de dados de sensoriamento remoto para o monitoramento do estresse das culturas agrícolas**. 2013. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/leaa/arquivos/aulas/SERP35/SERP35%20aula%203%20-%20Detec%C3%A7%C3%A3o%20de%20estresses.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2014

FRIZZO, T. C. E. **Zoneamento da vegetação e sua relação com metais pesados na Mina Volta Grande, Lavras do Sul, RS**. 2002. 137f. Dissertação (Mestrado em Ecologia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FURLAN, R. A. **Avaliação da nebulização e abertura de cortinas na redução da temperatura do ar em ambiente protegido**. 2001. 146f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

GARBISU, C.; ALKORTA, I. Phytoextraction: a cost-effective plant based technology for the removal of metals from the environment. **Bioresource Technology**, Essese, v. 77, p. 229-236, 2001.

GARCIA, G.; FAZ, A.; CUNNA, M. Performance of *Piptatherum miliaceum* (*Smilo grass*) in edaphic Pb and Zn phytoemediation over a short growth period. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 54, n. 2-3, p. 245-250, 2004.

GONÇALVES, J. F. C.; SILVA, C. E. M.; GUIMARÃES, D. G. Características fotossintéticas e potencial hídrico foliar de plantas jovens de andiroba submetidas à deficiência hídrica e à reidratação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 1, p. 8-14, 2009.

HARTEMINK, A.; BOURKE, R.M. Nutrient deficiencies of agricultural crops in Papua New Guinea. **Outlook on Agriculture**, London, v. 29, n. 2, p. 97-108, 2000.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Estação Meteorológica de Santa Maria, RS - *Campus* da UFSM (Universidade Federal de Santa Maria). **Dados meteorológicos do período de março a julho de 2014**.

JADIA, C.D.; FULEKAR, M.H. Phytoremediation of heavy metals: recent techniques. **African Journal of Biotechnology**, n. 8, p. 921-928, 2009.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3<sup>th</sup> ed. Boca Raton: Florida, CRC Press, 2001. 413p.

KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 254p.

KÄMPF, A. N.; TAKANE, R. J.; SIQUEIRA, P. T. V. **Floricultura: técnicas de preparo de substratos**. Brasília: LK Editora e Comunicação, 2006. 132p.

- KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431p.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431p.
- KIDD, P., BARCELÓ, J., BERNAL, M.P., NAVARI-IZZO, F., POSCHENRIEDER, C., SHILEV, S., CLEMENTE, R., MONTERROSO, C. Trace element behaviour at the rootsoil interface: implications in phytoremediation. **Environmental and Experimental Botany**, n. 67, p. 243-259, 2009.
- LIBERATO, M. A. R.; GONÇALVES, J. F. C.; CHEVREULI, L. R.; NINA JUNIOR, A. R.; FERNANDES, A. V.; SANTOS JUNIOR, U. M. Leaf water potential, gas exchange and chlorophyll a fluorescence in acariquara seedlings (*Minquartia guianensis* Aubl.) under water stress and recovery. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 2, p. 315-323, 2006.
- LORENZI, H. **Plantas para jardim no Brasil: herbáceas, arbustivas e trepadeiras**. Nova Odessa. Instituto Plantarum, 2013.1120p.
- LUDWIG, F.; GUERRERO, A. C.; GONÇALVES, S. O.; FERNANDES, D. M.; BÔAS, L. V. Lâminas de fertirrigação e substratos na produção e qualidade de gébera de vaso. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 4, p. 635-646, outubro-dezembro, 2013
- MACKIE, K.A.; MÜLLER, T.; KANDELER, E. Remediation of copper in vineyards e A mini review. **Journals Environmental Pollution**, California, n. 167, p. 16-26. 2012.
- MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo, ProduQuímica, 1994. 40-62p.
- MALAVOLTA, E. **O futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agrônômicos, econômicos e ambientais**. IPNI – Internation Plant Nutriion Institute. Informações Agrônômicas. n. 121, 2008. 10p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C.; SILVA, J. J. L. S. Desafios, técnicas e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 1-11, 2011.
- MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Acumulação de cobre e zinco em tecidos do feijoeiro em relação com o extraído do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 92-98, 2005.
- MARTÍN, S. A. **Riego deficitario en distintas etapas del desarrollo de plantas ornamentales cultivadas en maceta**. 2011. 260f. Tesis (Doctorado en Producción Vegetal) - Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, 2011.
- MCGRATH, S. P.; ZHAO, F. J. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 14, n. 3, p. 277-282, 2003.



- MELLO, R. P. **Consumo de água do lírio asiático em vaso com diferentes substratos**. 2006. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.
- MERTENS, J.; LUYSSAERT, S.; VERHEYEN, K. Use and abuse of trace metal concentrations in plants tissue for biomonitoring and phytoextraction. **Environmental Pollution**, v. 138, n.1, p.1-4, 2005.
- MILANI, M. **Crescimento e desenvolvimento de mudas de cravina de jardim com diferentes substratos**. 2012. 95f. Dissertação (Mestrado em Agrobiologia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- MOFFAT, A. S. Plants proving their worth in toxic metal cleanup. **Science**, v. 269, p. 302-303, 1995.
- MORLAT, R., JACQUET, A. Grapevine root system and soil characteristics in a vineyard maintained long-term with or without interrow sward. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 54, p. 1-7, 2003.
- OLIVEIRA, D. L.; ROCHA, C.; MOREIRA, P. C. LAUDARES, S. O. Plantas nativas do cerrado: uma alternativa para fitorremediação. **Revista Estudos**, Goiânia, v. 36, n. 11-12, p. 1141-1159, 2009.
- OORTS, K. Copper. In: ALLOWAY, B. J. (Ed.) **Heavy Metals in Soils - trace metals and metalloids in soils and their bioavailability**. 3th Edition Springer Environmental Pollution. v. 22, 2013. 367-394 p.
- PARIZI, A.R.C.; PEITER, M.X.; ROBAINA, A.D.; SOARES, F.C.; VIVAN, G.A.; RAMÃO, C.J. Níveis de irrigação na cultura do kalanchoe cultivado em ambiente protegido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 854-861, 2010.
- PEREIRA, J. R. D.; CARVALHO, J. D. A.; MIGUEL, D. S.; SANTANA, M. J. Consumo de água pela cultura do crisântemo cultivada em ambiente protegido. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, São Paulo, v. 25, n.3, p. 651-659, 2005.
- REGO, J. L.; VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M.; ARAÚJO, W. F.; FURLAN, R. A.; BASTOS, F. G. C. Produtividade de crisântemo em função de níveis de irrigação. **Revista Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 1, p. 045-048, 2009.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004, 478p.
- SAKATA ORNAMENTALS. **Dianthus Diamond**. 2011. Disponível em: <<http://www.sakataornamentals.com/ccLib/image/plants/PDF-3277.pdf>>. Acessado em: 27 nov. 2014
- SANTOS, O.S. **Hidroponia**. Santa Maria: UFSM/Colégio Politécnico, 2009. 392p.
- SCHWAB, N. T.; PEITER, M. X.; BELLÉ, R. A.; BACKES, F. A. A. L.; ROBAINA, A. D.; FERRAZ, R. C. Consumo hídrico de cravina submetida a diferentes estratégias de irrigação e tamanhos de vaso. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 2, p. 328-336, 2013.

SILVA, A. R. A.; BEZERRA, F. M. L.; LACERDA, C. F.; PEREIRA FILHO, J. V.; FREITAS, C. A. S. Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 86-93, 2013.

SIMONA, L.; CERASELA, P.; LAZAR, A.; MARIA, B. Influence of growth regulators on morphogenetic processes under in vitro condition. **Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology**, v. 16, n. 2, p. 197-202, 2012.

SODRÉ, F. F.; LENZI, E.; COSTA, A. C. S. Utilização de modelos físico-químicos de adsorção no estudo do comportamento do cobre em solos argilosos. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 324-330, 2001.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. Ed. – Porto Alegre: EMATER/RS – ASCAR, 2008. 222p.

SUN, Y.; ZHOU, Q.; DIAO, C. Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cdhyperaccumulator *Solanum nigrum* L. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 1103-1110, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 4<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 719p.

WINTER, E. G. **A água, o solo e a planta**. São Paulo, EPU. 1976. 164p.

YOON, J.; CAO, X.; ZHOU, Q.; MA, L.Q. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. **Science of the Total Environment**, New York, v.368, p.456-464, 2006.

ZANCHETA, A. C. F.; ABREU, C. A.; ZAMBROSI, F. C. B.; ERISMANN, N. M.; LAGÔA, A. M. A. M. Fitoextração de cobre por espécies de plantas em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 737-744, 2011.

ZHUANG, P.; YANG, Q. W.; WANG, H. B.; SHU, W. S. Phytoextraction of heavy metals by eight plant species in the field. **Water Air Soil Pollut**, v. 184, p. 135-242, 2007.

## 5 CAPÍTULO III

### **FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM COBRE EM ÁREA VITIVINÍCOLA UTILIZANDO *Dendranthema grandiflora* Tzevelev cv. DARK FIJI**

#### **Resumo**

Elevados teores de Cu no solo, em áreas vitivinícolas, são oriundos do controle fitossanitário que vem causando danos às plantas. Deste modo, o presente trabalho objetivou avaliar o desenvolvimento do crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev) cv. Dark Fiji cultivado em diferentes épocas e seus efeitos sobre o cultivo em solo com excesso de Cu, como promissor a fitorremediação. O experimento foi realizado, no período de julho a dezembro de 2014, em casa de vegetação do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da UFSM, Santa Maria, RS. Em delineamento experimental conduzido de forma inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x2 (cinco teores adicionados de Cu no solo e dois ciclos de cultivo), com cinco repetições. As estacas de crisântemo foram coletadas no matrizeiro do Setor de Floricultura e, depois de enraizadas, as mudas foram transplantadas para os recipientes com capacidade para 1,15 L contendo solo coletado em área vitivinícola, do município de Bento Gonçalves, RS, localizado na Serra Gaúcha. Verificou-se, de maneira geral, que o primeiro ciclo de cultivo obteve desenvolvimento de plantas inferior à segunda época de cultivo, entretanto, observou-se que o incremento de Cu no solo afetou o crescimento e desenvolvimento típico da cultura. Entretanto, destaca-se o alto acúmulo de Cu nas raízes, indicando tolerância do cultivo da espécie nestes ambientes.

**Palavras-chave:** Crisântemo, ciclo de cultivo, fitorremediação.

### **PHYTOREMEDIATION OF COPPER IN AREA WITH WINE USING *Dendranthema grandiflora* Tzevelev cv. DARK FIJI**

#### **Abstract:**

High Cu content in the soil, in wine areas, come from the phytosanitary control that is causing damage to plants. Thus, this study aimed to evaluate the development of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev) cv. Dark Fiji grown in different times and their effects on soil cultivation with excess Cu, promising as phytoremediation. The experiment was conducted in the period from July to December 2014, in a greenhouse of the Floriculture of the Department of Plant Science at UFSM, Santa Maria, RS. Conducted in experimental design of randomized form in a factorial 5x2 (five levels of added Cu in soil and two crop cycles), with five repetitions. Chrysanthemum cuttings were collected in the Floriculture mother nursery and after-rooted, the seedlings were transplanted into containers with a capacity of 1.15 L containing soil collected in vineyard area in the municipality of Bento Gonçalves, RS. It has been found, in general, the first cycle obtained developing the second lower plants growing season, and however, it was observed that the increase of Cu in the soil affected the growth and development typical culture. However, there is the high accumulation of Cu in the roots, indicating tolerance of the species growing in these environments.

**Key words:** Chrysanthemum, cultivation cycle, phytoremediation.

## 5.1 Introdução

Na agricultura o controle fitossanitário é essencial, contudo, o uso demasiado de agroquímicos vem causando danos agroambientais consideráveis, como a contaminação do solo por Cu, principalmente, em áreas de vinhedos. Dentre os produtos fitossanitários cúpricos utilizados mundialmente como fungicida e bactericida no cultivo de videiras (JEYAKUMAR et al., 2014), destaca-se a calda bordalesa, uma mistura de sulfato de cobre, óxido de cálcio e água  $[(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2)]$ . Entretanto, as sucessivas aplicações desta calda no ano safra e ao longo dos anos, são preocupantes (ROMBALDI et al., 2004), em função da baixa mobilidade do Cu, que tende a acumular-se nas camadas superiores do solo, as agricultáveis (ANSELMO; JONES, 2005), elevando o pH e tornando-o fitodisponível (ZEITOUNI, 2003). Metais pesados, como o Cu, apesar de essenciais para o crescimento e desenvolvimento típico das plantas, são tóxicos quando em excesso no ambiente (DUCIC; POLLE, 2005), afetando a dinâmica no sistema solo-planta.

A minimização dos efeitos nocivos deste elemento em excesso no solo são, geralmente, lentos, gradativos e onerosos. Mesmo assim, métodos corretivos como a fitorremediação envolvendo o sistema solo-planta-contaminante e suas adaptações biogeoquímicas, têm apresentado, segundo Oliveira et al. (2009) e Marques, Aguiar e Silva (2011), resultados favoráveis com boa relação custo-benefício, especialmente, ambiental, ao mesmo tempo em que o embeleza. Porém, nem todas as espécies vegetais desenvolvem-se em ambientes contaminados (RIBEIRO-FILHO et al., 2001), necessitando, assim, identificar espécies tolerantes as características edafoclimáticas locais e ao contaminante (ANSELMO; JONES, 2005; MONTEIRO, 2005).

Em função da grande diversidade de produtos comerciais e da versatilidade de cultivo, a floricultura torna-se um campo agrônomico a ser estudado, visando identificar espécies com aptidão fitorremediativa. Entre as espécies floríferas de maior aceitação no mercado destaca-se o crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev), da família Asteraceae, originário da China. Em 2013, das flores cultivadas no Brasil, 15% das cortadas e 7% das envasadas foram de crisântemo (JUNQUEIRA; PEETZ, 2014).

O crisântemo é uma planta de insolação plena (BARBOSA et al., 2012), sendo a luz responsável por desencadear e controlar os processos associados ao acúmulo de fitomassa seca e o desenvolvimento da planta, da área foliar e emissão do botão floral (ALVARENGA et al., 2003; ROSSI et al., 2010). Com sensibilidade ao fotoperíodo, tem o florescimento

induzido naturalmente em dias menores a 14,5 horas de luz (GRUSZYNSKI, 2001; ROSSI et al., 2010). A temperatura é utilizada para controlar o tempo de florescimento, tornando possível a produção de flores o ano todo (STRECK, 2004; LESSA, 2009). Dentre as mais de 2.000 cultivares de crisântemo exploradas comercialmente, a cultivar Dark Fiji apresenta flores gigantes do tipo decorativo, hastes grossas, folhas grandes, com porte mediano e classificado como termozero (BELLÉ, 2000), podendo ser cultivada tanto em corte como em vaso.

Em função da possibilidade de cultivo anual desta espécie, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento da cultivar de crisântemo Dark Fiji cultivada em duas épocas de cultivo e seus efeitos sobre o cultivo em solo oriundo da vitivinicultura apresentando excesso de cobre.

## 5.2 Material e Métodos

O experimento foi realizado, no período de julho a dezembro de 2014, em casa de vegetação do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da UFSM, localizado em Santa Maria, RS (29°43' S; 53°43' W e altitude de 95m). Com delineamento experimental conduzido de forma inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x2 (cinco teores adicionados de cobre no solo e dois ciclos de cultivo), com cinco repetições, totalizando 50 unidades experimentais. O fator A foi composto por cinco concentrações adicionadas de cobre por quilo de solo nas quantidades de zero (sem adição) 250, 500, 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>. O fator D foi composto por dois ciclos de cultivo, o primeiro ciclo durante o período de 20 de junho a 01 de novembro de 2014 e, o segundo ciclo durante o período de 02 de setembro a 15 de dezembro de 2014, ambos com duração de 104 dias.

O solo utilizado classificado como Cambissolo Húmico (STRECK et al., 2008), foi coletado na Embrapa Uva e Vinho no município de Bento Gonçalves, RS, localizado na Serra Gaúcha, na profundidade de coleta de 0 a 20 cm. O laudo da análise química do solo antes do cultivo, realizada no Laboratório de Solos da UFSM (LAS-UFSM), apresentou as seguintes características: argila 28%; matéria orgânica 2%; textura 3,0; pH<sub>água(1:1)</sub> 5,5; índice SMP 6,0; CTC<sub>efet.</sub> 5,5; CTC<sub>pH 7</sub> 9,9; de saturação de bases 55,7%; saturação por Al zero; Ca 4,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg 0,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; S 25,2 mg dm<sup>-3</sup>; P-Mehlich 18,6 mg dm<sup>-3</sup>; K 152 mg dm<sup>-3</sup>; Cu 86,1 mg dm<sup>-3</sup>; Zn 20,2 mg dm<sup>-3</sup>; B 0,5 mg dm<sup>-3</sup>. Os teores adicionados de cobre no solo foram por

meio de sulfato de cobre pentahidratado [ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ], nas quantidades de zero (sem adição), 250, 500, 750 e 1.000  $\text{mg kg}^{-1}$  de  $\text{CuSO}_4$  por tratamento. Sendo que 100 mg de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  possui 63,9% de Cu.

As mudas de crisântemo cv. Dark Fiji foram preparadas a partir de estacas coletas no matrizeiro do Setor de Floricultura, com 8 cm de comprimento contendo 3 a 4 nós, em corte bisel (transversal), permanecendo as folhas inteiras nos nós superiores e retirados os demais. Após o corte, as bases das estacas foram submetidas ao tratamento com AIB (ácido indolbutílico) na forma de pó, na concentração de 1.000  $\text{mg kg}^{-1}$ . Imediatamente após o tratamento, as estacas foram alocadas em bandejas de plástico alveoladas (63 células), contendo o substrato CAC (casca de arroz carbonizada) a uma profundidade de 3 cm da base da mesma. As bandejas foram dispostas em câmara úmida, no interior da casa de vegetação, com irrigações diárias. Após, o enraizamento completo (com 22 dias), as mudas foram transplantadas para os recipientes de vasos plásticos de cor preta com capacidade para 1,15 L, de dimensões 9,5 cm de altura e 11 cm de diâmetro, com substrato composto por solo, com distribuição de 10 vasos  $\text{m}^{-2}$ , permanecendo por 12 semanas (82 dias). A distribuição dos vasos foi aleatória sobre as bancadas no interior da casa de vegetação (Apêndice A). Esta metodologia foi aplicada para ambos os ciclos.

O fotoperíodo foi calculado segundo a metodologia de Klein (1977). Avaliou-se altura média da planta, número médio de hastes e flores, comprimento médio das raízes, fitomassa fresca e seca da parte aérea e das raízes por planta. Para a determinação da fitomassa seca, a secagem das plantas ocorreu em estufa de ventilação forçada a 65° C até atingir peso constante, para determinação da fitomassa seca. Na sequência as subamostras do material vegetal seco foram trituradas em moinho tipo Willey, submetidas à digestão nítrico-perclórica e a quantificação das concentrações de Cu nos tecidos vegetais foram efetuadas por espectrofotometria de absorção atômica, no Laboratório de Absorção e Emissão Atômica da Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo (USP). Os teores de Cu no solo após o cultivo foram amostrados por análise química no LAS-UFSM (Anexo C).

Os cálculos do número efetivo de plantas totais (PENt) e do número efetivo de parte aérea de plantas (PENpa) foram conforme a metodologia descrita por Garcia, Faz e Cunna (2004) e Sun, Zhou e Diao (2008). O fator de translocação (FT), o fator de bioacumulação da parte aérea (FCA) e o fator de bioconcentração das raízes (FCO) foram avaliados conforme as metodologias descritas por Caille, Zhao, Mcgrath (2005) e Yoon et al. (2006) e, taxa de extração de metal (MER) ocorreu conforme a fórmula descrita por Mertens et al. (2005), expressas nas Equações:

$$FT = \frac{\text{concentração de Cu na fitomassa seca da parte aérea}}{\text{concentração de Cu na fitomassa seca da raiz}} \quad (5.1)$$

$$FCA = \frac{\text{concentração de Cu na fitomassa seca da parte aérea}}{\text{teor de Cu disponível no solo após o cultivo}} \quad (5.2)$$

$$FCO = \frac{\text{concentração de Cu na fitomassa seca da raiz}}{\text{teor de Cu disponível no solo após o cultivo}} \quad (5.3)$$

$$MER = \frac{(\text{Cu}_{\text{planta}} \times \text{FM}_{\text{Tot}})}{(\text{Cu}_{\text{solo}} \times \text{M}_{\text{raiz}})} \times 100 \quad (5.4)$$

Onde:  $\text{Cu}_{\text{planta}}$  é a concentração de cobre na fitomassa seca total,  $\text{FM}_{\text{Tot}}$  é a fitomassa total,  $\text{Cu}_{\text{solo}}$  é o teor de Cu disponível no solo após o cultivo e  $\text{M}_{\text{raiz}}$  é a massa do volume de solo enraizada pela espécie.

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa estatístico SISVAR, onde foram testadas as interações entre dois fatores A e D (cinco teores adicionados de cobre no solo e dois ciclos de cultivo), pelo teste F, com 5% de probabilidade de erro. Sendo esta não significativa (<sup>ns</sup>), foram realizadas análises de regressão para os fatores A e D de forma independente. As análises de variâncias (ANOVA) e os ajustes das equações por teste de regressão estão apresentados nos Apêndices F e G, respectivamente.

## 5.3 Resultados e Discussão

### 5.3.1 Épocas de cultivo

No período da condução do experimento as amplitudes térmicas médias do ar, registradas no interior da casa de vegetação, para o primeiro ciclo de cultivo foram de 28,4 e 18,2° C, de máxima e de mínima, respectivamente, e para o segundo ciclo de cultivo foram de 31,9 e 21,3° C, de máxima e de mínima, respectivamente, conforme a Figura 5.1 e, as médias da umidade relativa do ar foram de 84,4 e 77,4% para o 1° e 2° ciclos de cultivo, respectivamente (dados INMET *Campus* da UFSM). A faixa térmica média de cultivo de

crisântemo, as temperaturas diurna e noturna são de 25 e 18° C, respectivamente (BELLÉ, 2000; BARBOSA et al., 2012). Acredita-se que a variação térmica registrada no segundo ciclo de cultivo, não tenha afetado o desenvolvimento característico desta cultivar.

Os fotoperíodos médios, do plantio à colheita, foram de 12,01 e 13,2 horas para o 1° e 2° ciclos, respectivamente, permanecendo dentro da faixa crítica indicada para a cultura que varia de 12 e 14 horas, ou seja, noite longa (BARBOSA; ZUIN, 2003). Valores acima destes, as plantas permanecem em estado vegetativo e quando abaixo são induzidas à floração (MELLO, 2003). A formação floral é induzida dentro de certos limites de temperaturas, enquanto outras temperaturas são efetivas para o desenvolvimento e o crescimento das flores (LARCHER, 2004).

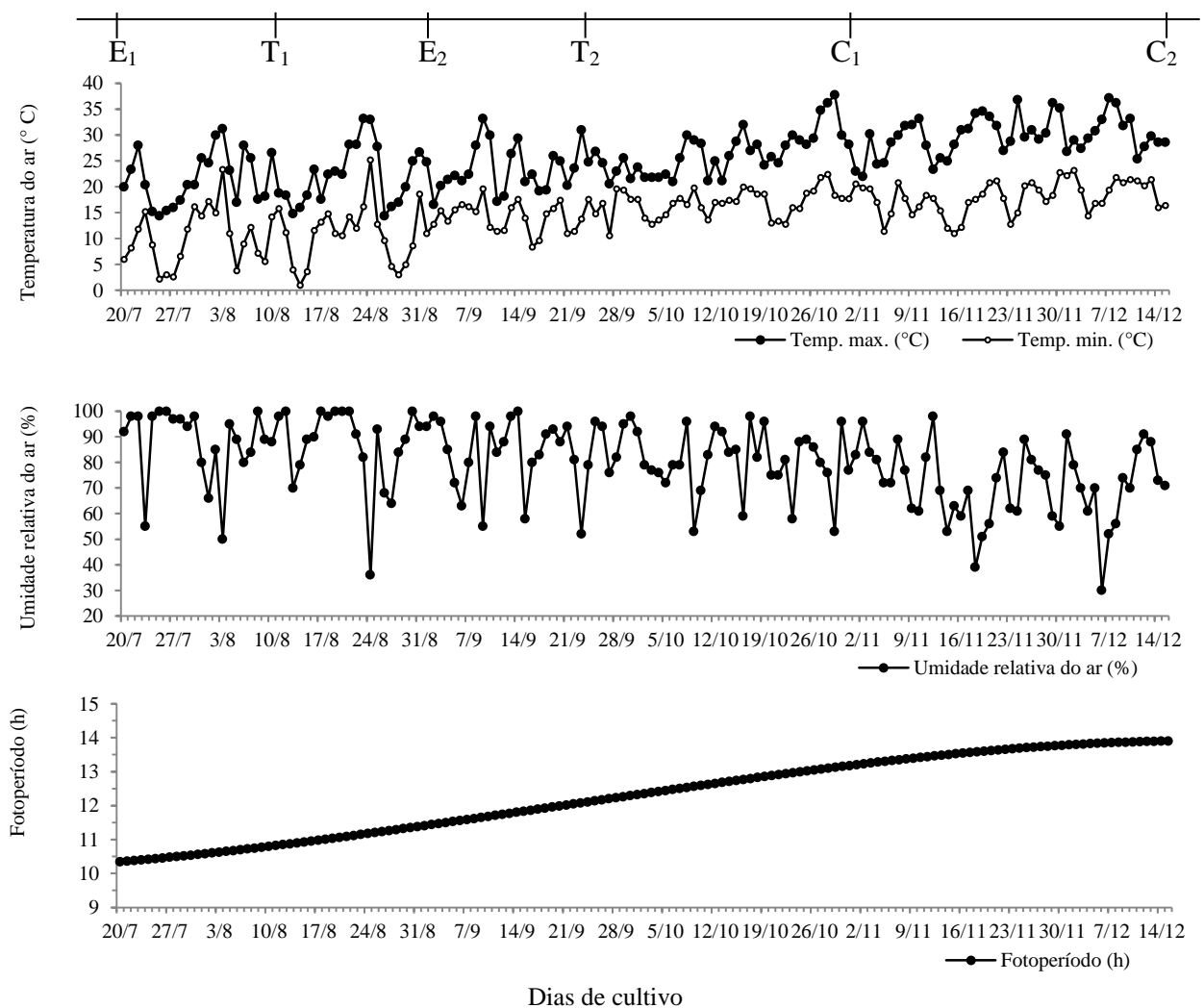


Figura 5.1– Temperaturas máxima e mínima do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e fotoperíodo (h) de julho a dezembro de 2014 para o cultivo de crisântemo cv. Dark fiji (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev). E: data da estaquia, T: data do transplante, C: data da colheita, 1: primeiro ciclo e 2: segundo ciclo. Santa Maria, RS, 2014.



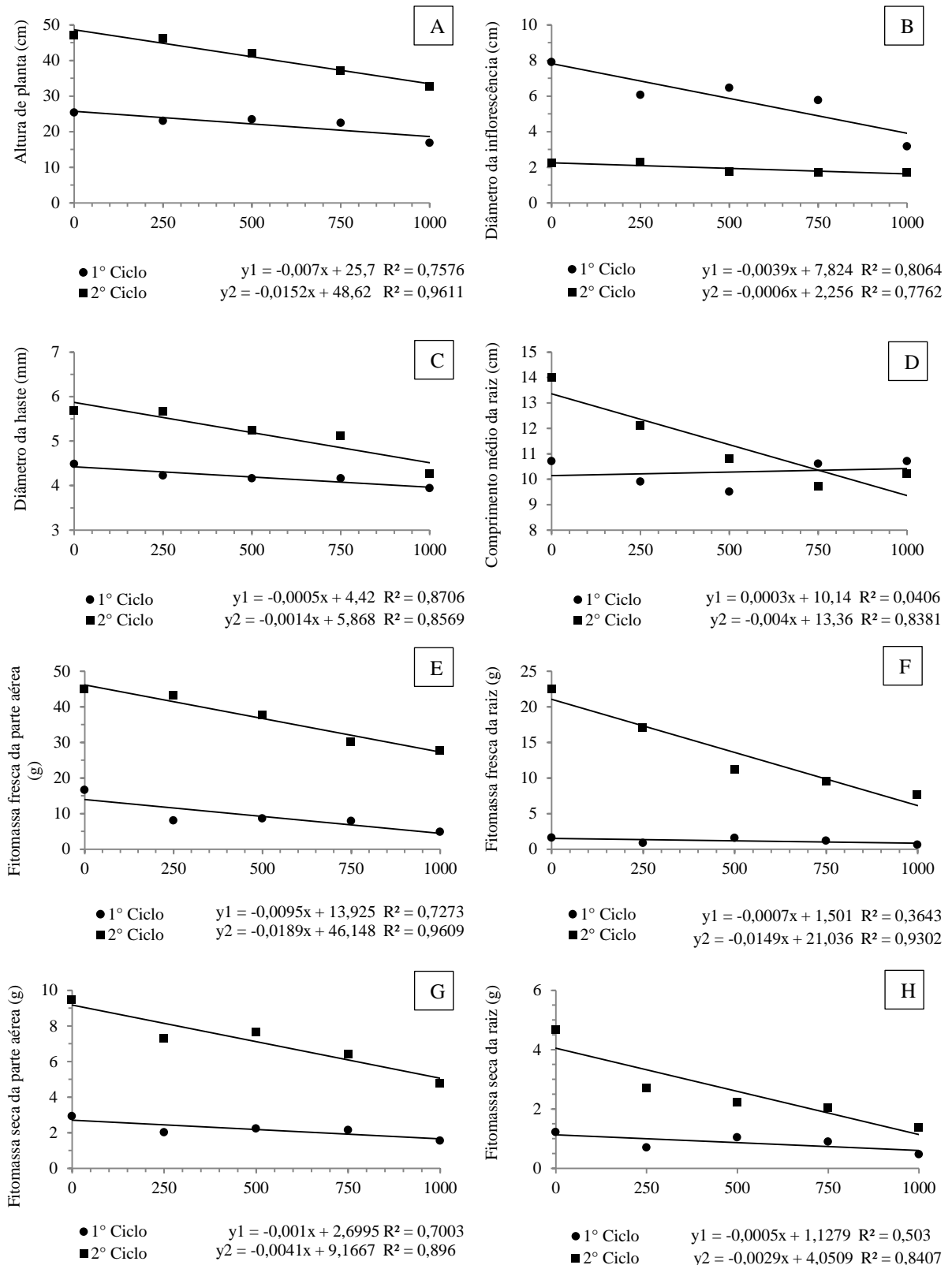
### 5.3.2 Parâmetros fitotécnicos

A Figura 5.2 expõem os parâmetros avaliados no cultivo da cultivar de crisântemo Dark Fiji, verificando-se que não houve efeito significativo da interação dos fatores A e D (cinco teores adicionados de cobre no solo e dois ciclos de cultivo), para estes parâmetros.

De maneira geral, a primeira época de cultivo obteve desenvolvimento de plantas inferior à segunda época de cultivo. Verificou-se que o crescimento e o desenvolvimento típico do crisântemo cv. Dark Fiji foram afetados pelo excesso de Cu no solo, sendo recorrente para ambos os ciclos de cultivo (Figura 5.2), com a redução da qualidade estética da planta, de acordo com a quantidade deste elemento presente no solo. A altura média da planta, diâmetro da inflorescência, diâmetro da haste, comprimento médio da raiz, fitomassa fresca e seca da parte aérea e das raízes de crisântemo cv. Dark Fiji foram decrescendo à medida que se incrementou Cu no solo, bem como a senescência foliar e sanidade radicular, apresentando coloração enegrecida (Figura 5.3).

Morauto, Martins e Andrada (2009) cultivando tremoço (*Lupinus luteus* L.) em solução nutritiva com diferentes concentrações de cobre verificam que a coloração enegrecida das raízes é atribuída ao início da toxicidade por Cu. Corroborando com os resultados de Zheng, Wang e Dixon (2004) pesquisando o efeito do Cu nas plantas ornamentais, como crisântemo cv. Fina, rosa (*Rosa x hybrida* L. cv. Laulinger) e gerânio (*Pelargonium x hortorum* L. cv. Evening Glow) cultivadas em hidroponia, verificaram que o excesso Cu afetou, de maneira geral, o desenvolvimento típico da planta, sobretudo a altura e a fitomassa (fresca e seca). Chaves et al (2010) observaram uma diminuição da fitomassa da mamoneira (*Ricinus communis* L.) em função do incremento de Cu no solo, sinalizando um provável efeito prejudicial deste metal quando em excesso. Contudo, a redução da fitomassa nestas condições confirma a tolerância destas plantas ao excesso de Cu (KE et al., 2006; XIA; SHEN, 2007; ZANCHETA et al., 2011).

A principal justificativa é que o acúmulo de Cu nos tecidos, que pode causar fitotoxicidade, como resultado direto sob o comprimento radicular (LIDON; HENRIQUES, 1992). Sonmez et al. (2006) cultivando tomate (*Lycopersicon esculentum* (L.) Mill. cv. F144) em solo com as quantidades de zero, 1.000 e 2.000 mg Cu kg<sup>-1</sup>, verificaram uma diminuição no diâmetro da haste e a fitomassa seca da raiz, conforme o aumento de Cu no solo.



Teores adicionados de Cu no solo ( $\text{mg kg}^{-1}$  de  $\text{CuSO}_4$ )      Teores adicionados de Cu no solo ( $\text{mg kg}^{-1}$  de  $\text{CuSO}_4$ )

Figura 5.2 – Parâmetros fitotécnicos do cultivo de crisântemo cv. Dark Fiji (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev) em função dos teores adicionados de Cu ao solo (00, 250, 500, 750 e 1.000  $\text{mg kg}^{-1}$  de  $\text{CuSO}_4$ ) em dois ciclos de cultivo. A: altura média da planta; B: diâmetro da inflorescência; C: diâmetro da haste; D: comprimento médio da raiz; E: fitomassa fresca da parte; F: fitomassa seca da parte aérea; G: fitomassa fresca das raízes; H: fitomassa seca das raízes. Santa Maria, RS, 2014.

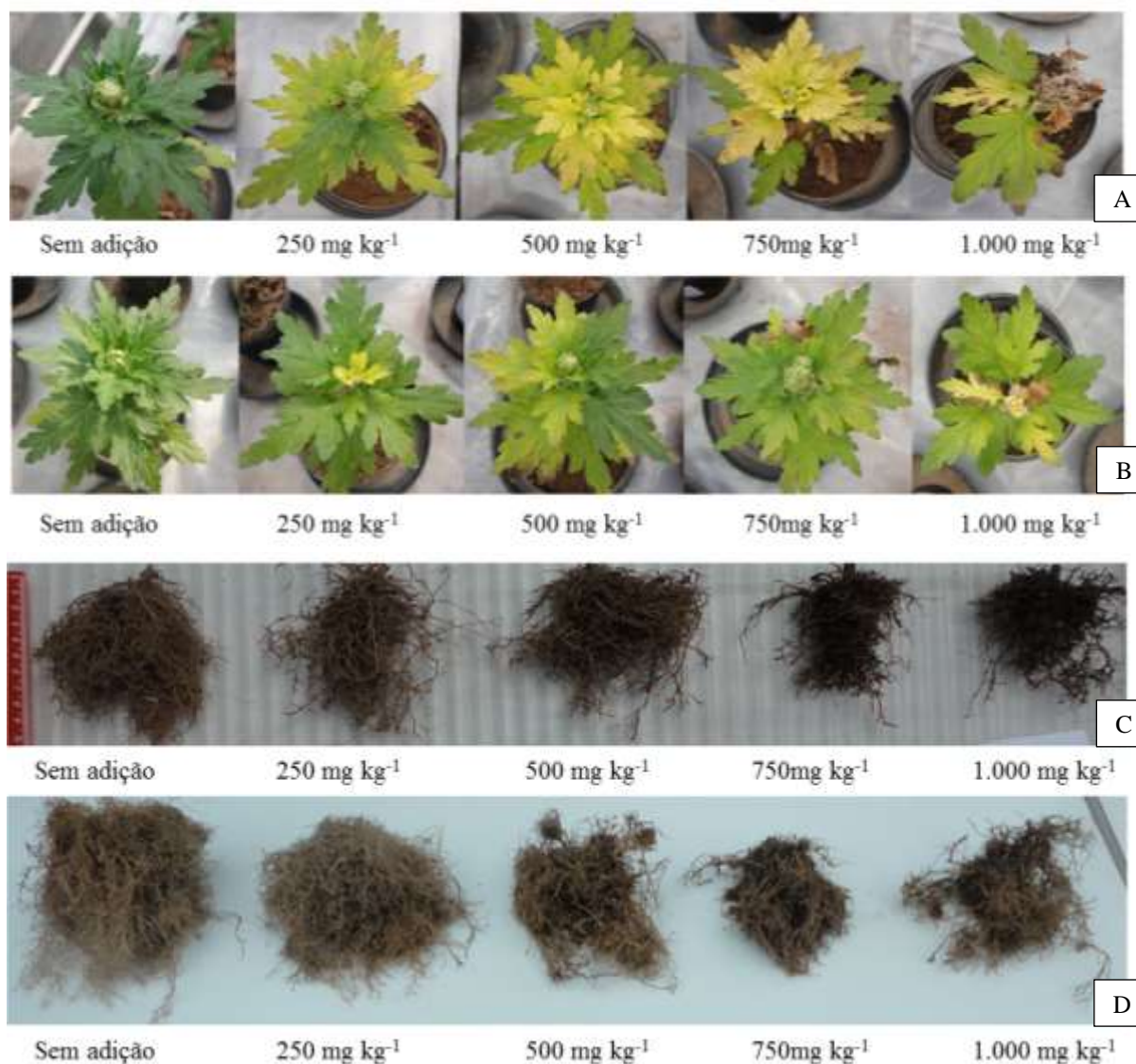


Figura 5.3 – Ilustração das plantas de crisântemo cv. Dark Fiji (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev) em função dos teores adicionados de Cu ao solo (sem adição, 250, 500, 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>) em dois ciclos de cultivo. A: aparência foliar do 1º ciclo de cultivo; B: aparência foliar do 2º ciclo de cultivo; C: raízes do 1º ciclo de cultivo; D: raízes do 2º ciclo de cultivo. Santa Maria, RS, 2014.

### 5.3.3 Relação das concentrações de Cu na parte aérea e nas raízes com as doses aplicadas

O particionamento de Cu no crisântemo cv. Dark Fiji foi similar em ambos os ciclos de cultivo, tanto na parte aérea como no sistema radicular, conforme a adição de Cu no solo (Figura 5.4). Apresentando concentrações médias de Cu nos tecidos vegetais da parte aérea para o 1º ciclo nas quantidades de 140,6; 76,4; 188,4; 247,3 e 170,6 µg kg<sup>-1</sup> referente às quantidades de Cu adicionados no solo de zero, 250, 500, 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>,

respectivamente. E, para o 2º ciclo de 453,5; 276,4; 647,3; 736,0 e 524,4  $\mu\text{g planta}^{-1}$  referente às quantidades de Cu adicionados no solo de zero, 250, 500, 750 e 1.000  $\text{mg kg}^{-1}$  de  $\text{CuSO}_4$ , respectivamente. Ferreira (2009) estudando o acúmulo de micronutrientes em crisântemo nas condições de cultivo para a região de Goiás verificou que o acúmulo de Cu nas cv. White Diamond e Eugene Yellow foram de 109 e 218  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente.

Observou-se que as plantas cultivadas no 2º ciclo concentraram maior quantidade de Cu na planta, em todas as doses adicionadas, isto pode ser atribuído a sua maior produção de fitomassa quando comparado com o cultivo em primeira época (Figura 5.2). McGrath e Zhao (2003) e Zhuang et al. (2007) relatam que a produção de biomassa é um dos fatores preponderantes para a eficiência da fitoextração de metais pesados no solo.

Os desempenhos acumulativos de Cu nesta espécie foram similares nos tecidos da parte aérea e radicular. No 2º ciclo de cultivo as plantas de crisântemo acumularam aproximadamente três vezes mais Cu que no 1º ciclo de cultivo. Nas raízes verificou-se que para cada um dos teores adicionados de Cu no solo (zero, 250, 500, 750 e 1.000  $\text{mg kg}^{-1}$  de  $\text{CuSO}_4$ ) houve o acúmulo de 168,3; 176,2; 309,9; 343,4  $\mu\text{g kg}^{-1}$  para o 1º ciclo, respectivamente, e, 191,0 e 644,0; 675,2; 662,2; 779,5 e 556,9  $\mu\text{g kg}^{-1}$  para o 2º ciclo, respectivamente.

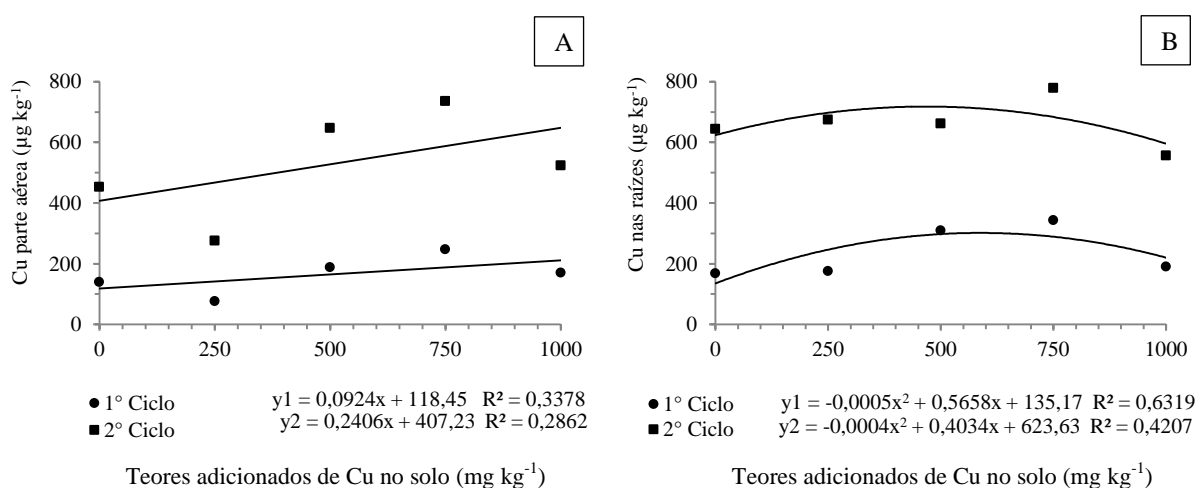


Figura 5.4 - Concentrações de Cu ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) na fitomassa das plantas de crisântemo cv. Dark Fiji (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev) em função dos teores adicionados de Cu ao solo em dois ciclos de cultivo. A: na fitomassa da parte aérea; B: fitomassa das raízes. Santa Maria, RS, 2014.

Na Tabela 5.1 expõe o número efetivo de plantas de crisântemo cv. Dark Fiji capazes de remover do solo 1 g de Cu, na sua totalidade (PENt) e na parte aérea (PENpa). E, observa-

se uma discrepância entre os números efetivos de plantas totais (PENt) e de parte aérea (PENpa), isto atribui-se à produção de fitomassa (Figura 5.2). Pois, a produção de fitomassa está, diretamente, associada à tolerância da espécie ao contaminante, bem como as suas adaptações bioquímicas, permitindo, assim seu cultivo em elevadas concentrações deste elemento (TAIZ; ZEIGER, 2009). Outro fator atribuído a este desempenho das plantas de crisântemo foi à forma de acúmulo de Cu na planta, neste caso a maior concentração ocorreu nas raízes em relação à parte aérea, para ambos os ciclos de cultivo. Zeitouni (2003) verificou similar desempenho no cultivo de girassol (*Helianthus annuus* L. cv. Rumbosol 91) em vaso, em que o maior acúmulo de Cu ocorreu no sistema radicular em comparação a parte aérea, apresentando boas taxas de extração de Cu.

A taxa de extração de metal (MER), neste caso o Cu, relaciona percentualmente a aptidão da planta em extrair metal do solo em função da sua produção de fitomassa (MERTENS et al., 2005). Neste experimento, verificou-se que o 2º ciclo de cultivo foi mais eficiente na extração do Cu, taxa MER, quando comparado ao 1º ciclo de cultivo.

Tabela 5.1 - Número efetivo de plantas totais (PENt), número efetivo de parte aérea de plantas (PENpa) e taxa de extração de cobre (MER) do cultivo de crisântemo cv. Dark Fiji (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev.) submetidas a 40, 60 e 80% da capacidade de retenção de água no vaso (CRA) em função dos diferentes teores adicionados de cobre no solo 00, 300, 500 e 700 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>). Santa Maria, RS, 2014.

Parâmetros	Ciclos de cultivo	Teores de Cu adicionados no solo (mg kg <sup>-1</sup> de CuSO <sub>4</sub> )				
		zero	250	500	750	1.000
PENt (plantas*)	1º Ciclo	7.113,8	13.093,4	5.307,1	4.043,3	5.860,3
	2º Ciclo	2.205,1	3.618,3	1.545,0	1.358,6	1.907,1
PENpa (plantas*)	1º Ciclo	3.237,2	3.958,6	2.006,9	1.692,7	2.765,0
	2º Ciclo	911,2	1.050,8	763,7	659,8	924,8
MER (%)	1º Ciclo	1,8	1,0	1,1	1,5	0,8
	2º Ciclo	6,1	3,5	3,5	4,1	2,3

\*Número de plantas de crisântemo cv. Dark Fiji capazes de remover 1 g de Cu em 90 dias de cultivo.

Na Tabela 5.2 verificou-se que mais de 75% do Cu presente na planta encontra-se nas raízes e os demais 25% na parte aérea. Isto pode ser atribuído ao mecanismo de redução da difusão de cátion no interior do tecido, protegendo a parte aérea da intoxicação e, também a baixa mobilidade deste metal no sistema solo-planta (MALAVOLTA, VITTI; OLIVEIRA, 1997; MARSOLA, MIYAZWA; PAVAN, 2005). Observou-se, também, neste ensaio que as plantas de crisântemo acumularam em fitomassa seca até 519,5 mg kg<sup>-1</sup>, valor acima do

considerado fitotóxico ( $20 \text{ mg kg}^{-1}$ ) por Kabata-Pendias e Pendias (2001). Assim, as mesmas apresentaram senescência precoce das folhas e baixa taxa de florescimento, sugerindo que esta espécie possua tolerância a elevadas quantidades de Cu no solo, comum de áreas de vitivinícolas. Apesar disso, verificou-se que esta cultivar de crisântemo apresentou aspectos foliares de murchamento, cloróticos e necróticos, indicando indícios de toxicidade por Cu (Figura 5.3).

Tabela 5.2 – Doses adicionadas de  $\text{CuSO}_4$  no solo (Cu Solo); concentrações médias de Cu na fitomassa seca total (Cu Tot), na parte aérea (Cu PA) e na raiz (Cu Rz); fator médio de translocação (FT), fator médio de bioacumulação na parte aérea (FCA) e fator médio de bioconcentração na raiz (FCO) no cultivo de crisântemo cv. Dark Fiji (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev). Santa Maria, RS, 2014.

<b>Cu Solo</b> ( $\text{mg kg}^{-1}$ de $\text{CuSO}_4$ )	<b>Cu Tot</b> ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	<b>Cu PA</b> ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	<b>Cu Rz</b> ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	<b>FT</b>	<b>FCA</b>	<b>FCO</b>
Zero (sem adição)	185,9	48,0	137,9	0,35	0,90	2,58
250	288,7	37,8	250,9	0,15	0,37	2,45
500	383,2	84,7	298,5	0,28	0,62	2,18
750	497,6	115,0	382,5	0,30	0,90	2,98
1.000	519,5	109,9	409,6	0,27	0,64	2,38

Em área de vinhedos, com altos teores de Cu no solo, o processo fitorremediativo envolve a complexidade do sistema solo-planta-contaminante e suas adaptações biogeoquímicas, onde mensuração deste processo se dá através dos fatores de acumulação, transferência e/ou concentração na fitoextração. Deste modo, a redistribuição do Cu na planta depende, diretamente, das concentrações absorvidas. Na Tabela 5.2 observou-se que os fatores FT e FCA apresentaram resultados abaixo ou próximo de um, isto ocorre, principalmente, pela forte ligação do Cu nas paredes celulares, proporcionando uma lenta translocação das raízes para a parte aérea (WOOD et al., 1986). Pois, quanto mais próximo de um (1) for este fator maior é a eficiência de absorção e retenção pelas plantas (BAKER; WHITNG, 2002; MCGRATH; ZHAO, 2003; AMARAL, 2013).

O mecanismo do sistema radicular que regula a absorção de metais pesados e, conseqüentemente, o acúmulo destes nas raízes, uma vez preservada a integridade de suas funções primárias, ocorre uma baixa translocação destes para a parte aérea, assim contribuindo para a tolerância da espécie a esses elementos metálicos (ARDUINI; GODBOLD; ONNIS, 1996; CHAVES et al., 2010), neste caso o Cu. Deste modo, a

fitoextração emprega plantas com a finalidade de absorver os metais do solo acumulando nas raízes, que poderão ser posteriormente dispostas em aterros sanitários ou recicladas para a recuperação do metal (TAVARES; OLIVEIRA; SALGADO, 2013). Nesta premissa, a cultivar de crisântemo caracteriza-se por concentrar altos teores de Cu na raiz, como indica o fator FCO.

#### 5.4 Conclusão

O crisântemo cv. Dark Fiji obteve baixo desenvolvimento vegetal e florífero em todos os teores cúpricos adicionados ao solo afetando a qualidade estética das plantas, em ambos os ciclos de cultivo. Contudo, apresentou alta tolerância e eficiência na retenção de grandes concentrações de Cu, principalmente, nas raízes. Apresenta, assim, características fitorremediativas de Cu para áreas vitivinícola da Serra Gaúcha.

#### Referências Bibliográficas

ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; LIMA JÚNIOR, E. C.; MAGALHÃES, M. M. Effects of different light levels on the initial growth and photosynthesis of *Croton urucurana* Baill. in southeastern Brazil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 53-57, 2003.

AMARAL, D. C. **Estudos ultraestruturais e da capacidade bioacumuladoras de Zn, Cd e Pb por plantas em área de mineração de zinco**. 2013. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

ANSELMO, A. L. F.; JONES, C.M. Fitorremediação de Solos Contaminados – O Estado da Arte. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2005, Porto Alegre. **Anais eletrônicos ...** Porto Alegre: PUCRS, 2005. Disponível em <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEgEP2005\\_Enegep1005\\_0558.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEgEP2005_Enegep1005_0558.pdf)>. Acessado em: 27 nov. 2014.

ARDUINI, I.; GODBOLD, D. L.; ONNIS, A. Cadmium and copper uptake and distribution in Mediterranean tree seedlings. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.97, p.111-117, 1996.

BAKER, J. M.; WHITING, S. N. In search of the Holy Grail – a further step in understanding metal hyperaccumulation? **New Phytology**, Oxford, v. 155, p. 1-7, 2002.

BARBOSA, J. G.; MUNIZ, M. A.; GROSSI, J. A. S.; BARBOSA, M. S. Crisântemo. In: PAIVA, P. D. O.; ALMEIDA, E. F. A. **Produção de flores de corte**. v. 1. Lavras: UFLA. 2012. 244-277p.

BARBOSA, J. G.; ZUIN, A. H. L. Plantio e condução das plantas. In: BARBOSA, J. G. **Crisântemos – produção de mudas, cultivo para corte de flor, cultivo em vaso e cultivo hidropônico**. Barbosa, J. G. Viçosa: Aprenda Fácil, 2003. 22-32p.

BELLÉ, R. A. **Caderno Didático de Floricultura**. Curso de Agronomia, UFSM. 2000. 142p.

CAILLE, N.; ZHAO, F.J.; MCGRATH, S.P. Comparison of root absorption, translocation and tolerance of arsenic in the hyperaccumulator *Pteris vittata* and the nonhyperaccumulator *Pteris tremula*. **New Phytologist**, Palo Alto, v. 165, p. 755-761, 2005.

CHAVES, L. H. G.; MESQUITA, E. F.; ARAUJO, D. L.; FRANÇA, C. P. Acúmulo e distribuição de cobre e zinco em mamoneira cultivar BRS Paraguaçu e crescimento da planta. **Revista Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 3, p. 263-277, 2010.

DUCIC, T.; POLLE, A. Transport and detoxification of manganese and copper in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 103-112, 2005.

FERREIRA, L. D. B. **Características fitotécnicas e acúmulo de nutrientes em cultivares de crisântemo para vaso, em Goianira – GO**. 2009. 132f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

GARCIA, G.; FAZ, A.; CUNNA, M. Performance of *Piptatherum miliaceum* (*Smilo grass*) in edaphic Pb and Zn phytoemediation over a short growth period. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 54, n. 2-3, p. 245-250, 2004.

GRUSZYNSKI, C. **Produção comercial de crisântemos vaso, corte e jardim**. Guaíba: Agropecuária, 2001, 166p.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Estação Meteorológica de Santa Maria, RS - *Campus* da UFSM (Universidade Federal de Santa Maria). **Dados meteorológicos do período de julho a dezembro de 2014**.

JEYAKUMAR, P.; ANDERSON, C. W. N.; HOLMES, A.; MILLER, S. **Optimising copper sprays on kiwifruit: a review**. 2014. Disponível em: <[http://www.massey.ac.nz/~flrc/workshops/14/Manuscripts/Paper\\_Jeyakumar\\_1\\_2014.pdf](http://www.massey.ac.nz/~flrc/workshops/14/Manuscripts/Paper_Jeyakumar_1_2014.pdf)>. Acesso em: 8 jan. 2015.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. **Balanco da floricultura brasileira em 2013**. 2014. Disponível em: <<http://www.jornalentreposto.com.br/index.php/noticias/201-balanco-da-floricultura-brasileira-em-2013>>. Acesso em: 18 maio 2014.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3<sup>th</sup> ed. Boca Raton: Florida, CRC Press, 2001. 413p.

KE, W.; XIONG, Z. T.; CHEN, S.; CHEN, J. Effects of copper and mineral nutrition on growth, copper accumulation and mineral element uptake in two *Rumex japonicus* populations from a copper mine and an uncontaminated field sites. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, n. 1, p. 59-67, 2006.



KLEIN, S. A. Calculation of monthly average insolation on titled surfaces. **Solar Energy**, v.19, p. 325-329, 1977.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA. 531p, 2004.

LESSA, M. A. **Análise e modelagem do crescimento de crisântemo e calandiva em vaso em função de graus dias de desenvolvimento**. 2009. 116f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

LIDON, F.C.; HENRIQUES, F.S. Copper toxicity in rice: Diagnostic criteria and effect on tissue Mn and Fe. **Soil Science**, v. 154, p. 130-135, 1992.

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

MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C.; SILVA, J. J. L. S. Desafios, técnicas e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 1-11, 2011.

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

MARTINS, S. R.; FERNANDES, H. S.; ASSIS, F. N. MENDEZ, M. E. G. Caracterização climática e manejo de ambientes protegidos: a experiência brasileira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, p. 15-32, 1999.

MCGRATH, S. P.; ZHAO, F. J. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. **Current Opinion in Biotechnology**, London, v. 14, n. 3, p. 277-282, 2003.

MELLO, J. B. **Uso do ácido giberélico e dias curtos interrompidos em crisântemo de corte (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) “Calábria” e “Lameet Bright”**. 2003. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MERTENS, J.; LUYSSAERT, S.; VERHEYEN, K. Use and abuse of trace metal concentrations in plants tissue for biomonitoring and phytoextraction. **Environmental Pollution**, v. 138, n.1, p.1-4, 2005.

MONTEIRO, M. T.; TAVARES, S. R. L.; BARBOSA, M. C. Caracterização de substratos a serem utilizados em um projeto de fitorremediação de sedimento de dragagem proveniente do Canal do Fundão-RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005. Recife. **Anais...** Recife, 2005.

MOURATO, M. P.; MARTINS, L. L.; ANDRADA, M. P. C. Physiological responses of *Lupinus luteus* to different copper concentrations. **Biologia Plantarum**, v. 53, n. 1, p. 105-111, 2009.

OLIVEIRA, D. L.; ROCHA, C.; MOREIRA, P. C. LAUDARES, S. O. Plantas nativas do cerrado: uma alternativa para fitorremediação. **Revista Estudos**, Goiânia, v. 36, n. 11-12, p. 1141-1159, 2009.

RIBEIRO-FILHO, M. R.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; SIMÃO, J. B. P. Fracionamento e biodisponibilidade de metais em solo contaminado, incubado com materiais orgânicos e inorgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 495-507, 2001.

ROMBALDI, C. V.; BERGAMASQUI, M.; LUCCHETTA, L.; ZANUZO, M.; SILVA, J. A. Produtividade e qualidade de uva, cv. Isabel, em dois sistemas de produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 89-91, 2004.

ROSSI, L. A.; DAVID, E.; SARUBBI, J.; PAGLIARDI, O. Viabilidade técnico-econômica do uso de diferentes tecnologias de iluminação para indução de fotoperíodo na produção de mudas de crisântemo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n.5, p. 811-818, 2010.

SÁ JÚNIOR, A. **Manejo de irrigação e análise micrometeorológica em diferentes ambientes protegidos no cultivo de gérbera**. 2013. 112f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

SONMEZ, S. S.; KAPLANI, M.; SONMEZ, N. K.; KAYA, H.; UZI, I. High level of copper application to soil and leaves reduce the growth and yield of tomato plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 3, p. 213-218, 2006.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. Ed. Porto Alegre: EMATER/RS – ASCAR, 2008. 222p.

STRECK, N. A. A temperature response function for development of the hrysanthemum (*Chrysanthemum x morifolium* Ramat.). **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 49-54, 2004.

SUN, Y.; ZHOU, Q.; DIAO, D. Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 1, p. 1103–1110, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 4<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 719p.

TAVARES, S. R.; OLIVEIRA, S. A.; CAMARGO, C. M. Avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. **Revista HOLOS**, Natal, Ano 29, v. 5, p. 80-97, 2013.

WOOD, L. J.; MURRAY, B. J.; OKATAN, Y.; NOODÉN, L. D. Effect of petiole phloem distribution on starch and mineral distribution in senescing soybean leaves. *Am. J. Bot.*, 73:1377-1383, 1986.

XIA, Y.; SHEN; G. Comparative Studies of Copper Tolerance and Uptake by Three Plant Species of the Genus *Elsholtzia*. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v.79, n.1, p.53-57, 2007.

YOON, J.; CAO, X.; ZHOU, Q.; MA, L.Q. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. **Science of the Total Environment**, New York, v.368, p.456-464, 2006.

ZAMPIERI, M. C. T. **Estudo sobre os efeitos do cobre e zinco no crescimento da plântula de *Aechmea blanchetiana* (Baker) L. B. Smith cultivada *in vitro*. Aplicação da análise por**

**ativação com nêutrons.** 2010. 166f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de pesquisas energéticas e nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

ZANCHETA, A. C. F.; ABREU, C. A.; ZAMBROSI, F. C. B.; ERISMANN, N. M.; LAGÔA, A. M. A. M. Fitoextração de cobre por espécies de plantas em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 737-744, 2011.

ZEITOUNI, C. F. **Eficiência de espécies vegetais como fitoextratoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um latossolo vermelho amarelo distrófico.** 20103. 91 f., Dissertação (Mestrado Agricultura Tropical e Subtropical - Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2003.

ZHENG, Y.B.; WANG, L.P.; DIXON, M.A. Response to copper toxicity for three ornamental crops in solution culture. **Hortscience**, v. 39, p. 1116-1120, 2004.

ZHUANG, P.; YANG, Q. W.; WANG, H. B.; SHU, W. S. Phytoextraction of heavy metals by eight plant species in the field. **Water Air Soil Pollut**, v. 184, p. 135-242, 2007.

## 6 DISCUSSÃO GERAL

O acúmulo de Cu em áreas agricultáveis, como as áreas vitivinícolas, é uma problemática a nível mundial, em função, principalmente, do controle fitossanitário realizado com caldas a base de cobre, entre elas destaca-se a calda bordalesa. Desde, 1882 quando foi desenvolvida pelo botânico francês Millardet, em Bourdeaux na França, esta calda, que mistura sulfato de cobre, óxido de cálcio e água  $[(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{Ca}(\text{OH})_2)]$ , vem sendo utilizada e difundida nos mais diversos modos de cultivo de fruteiras e hortícolas, atendendo sua finalidade fungicida e bactericida com eficiência. Contudo, seu uso frequente no ano safra e ao longo dos anos, tem contribuído para o acúmulo de Cu em superfície. Apesar da sua essencialidade para o desenvolvimento típico das plantas, o cobre em excesso causa problemas no setor vitivinícola, implicando diretamente na produtividade.

Na tentativa de recuperar parcialmente os danos causados pelo Cu nestas áreas, o presente trabalho avaliou três espécies floríferas, calla lily (*Zantedeschia* spp.), cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) e crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev). Todas cultivadas em solo com diferentes teores adicionados de Cu, que sejam promissores a fitorremediação.

Em relação aos fatores fitorremediativos avaliados, fator médio de translocação (FT), fator médio de bioacumulação na parte aérea (FCA) e fator médio de bioconcentração no tubérculo/raiz (FCO), quanto mais próximo de um (1) mais eficiente é a translocação do elemento na planta, bem como, seu acúmulo em fitomassa, verificou-se que cada espécie obteve desempenho diferenciado. Para o FT que sugere a transferência de Cu entre parte aérea e tubérculo/raiz, para todas as espécies foram inferior a um, obtendo índices médios de 0,33; 0,04 e 0,27 para calla lily, cravina de jardim e crisântemo, respectivamente, conforme a Tabela 6.1.

Para o FCA, indicativo entre a acumulação de Cu na parte aérea e disponibilidade deste elemento após o cultivo, as espécies calla lily, cravina de jardim e crisântemo apresentaram fatores médios de 0,05; 0,16 e 0,68 respectivamente, Tabela 6.1. Já o FCO que indica a acumulação de Cu nas raízes após o cultivo, para a calla lily foi abaixo de um (1) com fator de 0,14, no entanto, para as espécies cravina de jardim e crisântemo nos fatores médios foram de 4,11 e 2,51 respectivamente, conforme a Tabela 6.1, apresentando altas concentrações de Cu nas raízes.

Tabela 6.1 – Fator médio de translocação (FT), fator médio de bioacumulação na parte aérea (FCA) e fator médio de bioconcentração na raiz (FCO) no cultivo das espécies calla lily (*Zantedeschia* spp.), cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) e crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev). Santa Maria, RS, 2014.

<b>Espécies</b>	<b>FT</b>	<b>FCA</b>	<b>FCO</b>
Calla lily	0,33	0,05	0,14
Cravina de jardim	0,04	0,16	4,11
Crisântemo cv. Dark Fiji	0,27	0,68	2,51

Baseado nos fatores de fitorremediação demonstrados na Tabela 6.1, realizou-se uma simulação dos prováveis números de cultivos necessários para a fitorremediação do solo com elevados teores de Cu, expostos na Tabela 6.2, parametrizando os teores de Cu inicial no solo, de acordo com o laudo da análise química de cada solo, para cada espécie individualmente, o teor máximo de Cu adicionado por meio de sulfato de cobre para cada espécie e, as concentrações médias de Cu na planta após o cultivo. Assim, obtiveram-se os prováveis números de cultivos necessários para fitorremediar o solo, ou seja, amenizar ou estabilizar os efeitos deletérios do Cu no solo, considerando apenas os teores de Cu (Tabela 6.2).

Observa-se que as plantas de cravina de jardim apresentaram elevada eficiência no processo de fitorremediação do solo, que neste caso, com apenas um cultivo (0,8) foi suficiente para amenizar os efeitos nocivos do Cu no solo, conforme a Tabela 6.2. Seguindo de 1,9 e 7,3 cultivos utilizando as espécies de crisântemo cv. Dark Fiji e de calla lily, respectivamente (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 – Teor inicial de Cu no solo (Cu Solo Tin.), teor máximo de Cu adicionado no solo por meio de CuSO<sub>4</sub> (Cu Solo Tmáx.), concentração média de Cu na planta pós-cultivo (Cu PCul.) e simulação dos números de prováveis cultivos para fitorremediação do solo (NCft.) para as espécies calla lily (*Zantedeschia* spp.), cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) e crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev). Santa Maria, RS, 2014.

<b>Espécies</b>	<b>Cu Solo Tin.</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	<b>Cu Solo Tmáx.</b> (mg kg <sup>-1</sup> de CuSO <sub>4</sub> )*	<b>Cu PCul.</b> (mg kg <sup>-1</sup> )	<b>NCft.</b> (unidade)
Calla lily	173,9	700	84,8	7,3
Cravina de jardim	188,7	700	821,2	0,8
Crisântemo cv. Dark Fiji	86,1	1.000	374,9	1,9

\*100 g de CuSO<sub>4</sub> (sulfato de cobre pentahidratado) possui 63,9% de Cu.

Os ensaios experimentais com as espécies calla lily e cravina de jardim também objetivaram quantificar o consumo hídrico de cada espécie e observou-se que o Cu nos distintos teores adicionados no solo não interferiu no consumo diário de água de ambas as espécies. Entre as estratégias de irrigação testadas 40, 60 e 80% da capacidade de retenção de água no vaso (CRA), resultando em médias diárias de 0,5; 0,8 e 1,2 mm dia<sup>-1</sup> para a calla lily, respectivamente e, de 0,42; 0,72 e 0,91 mm dia<sup>-1</sup> para cravina de jardim, respectivamente. Observou-se que a demanda hídrica de ambas as espécies foram aumentando conforme o incremento de fitomassa e pelas condições atmosféricas.

No ensaio com a cv. Dark Fiji de crisântemo analisou-se o desempenho da cultivar em dois ciclos de cultivo. Verificando-se que o segundo ciclo de cultivo obteve desempenho superior que o primeiro ciclo de cultivo, entretanto, observou-se que o incremento de Cu no solo afetou o crescimento e desenvolvimento típico da cultura para ambos os ciclos.

Em relação à qualidade estética das espécies, observou-se que a calla lily e o crisântemo apresentaram danos provocados pelo excedente de Cu no solo, onde se verificou o não florescimento da calla lily e, indícios de toxicidade nas folhas e inflorescência do crisântemo. Contudo, para a espécie de cravina de jardim não se observou danos estéticos durante o período de cultivo, concluindo que esta espécie seja apta como planta fitorremediativa para ambientes com altos teores de Cu no solo. Portanto, de maneira geral, todas as espécies apresentaram tolerância no cultivo em solos com excesso de Cu, em áreas vitivinícolas como as da Serra Gaúcha.

Diante do exposto, entre as espécies avaliadas recomenda-se o cultivo da cravina de jardim, na linha de plantio das videiras, com a mesma finalidade das plantas de cobertura do solo. O cultivo desta espécie é aconselhado no outono-inverno, período de maior expressão do seu potencial de florescimento. Além de, auxiliar na translocação do Cu acumulado neste ambiente, ao mesmo que o embeleza, agrega as propriedades um atrativo turístico. Visto que, estas propriedades são de pequeno porte e tem a exploração do turismo rural como fonte alternativa de renda.

## 7 CONCLUSÃO GERAL

Áreas vitivinícolas, como as da Serra Gaúcha, apresentam elevados teores de Cu no solo, os quais são altamente prejudiciais ao crescimento e desenvolvimento das plantas contidas neste ambiente. O que propiciou a execução deste trabalho, o qual avaliou o desenvolvimento, o potencial de floração e extração de Cu utilizando três espécies floríferas, calla lily (*Zantedeschia* spp.), cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) e crisântemo cv. Dark Fiji (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev), todas cultivadas em solo com excesso deste elemento. Constatou-se que as três espécies foram tolerantes ao cultivo nestas condições.

A cravina de jardim apresentou boas aptidões fitorremediativas, em função da elevada concentração de Cu, especialmente, nas raízes, obtendo ótimo desenvolvimento com exuberante florescimento, sem indícios de fitotoxidez, podendo ser cultivada nas áreas vitivinícolas, como as da Serra Gaúcha. Contudo, as plantas de crisântemo cv. Dark Fiji, (mesmo com características fitorremediativas) e de calla lily apresentaram indícios de fitotoxidez por Cu, resultando na baixa qualidade estética destas plantas, não sendo recomendado seu cultivo nestas áreas.

**ANEXOS**



**Anexo A - Laudo de análise de solo após cultivo da calla lily (*Zantedeschia* spp.) realizado no Laboratório de análise de solo da UFSM, vinculado ao ROLAS – RS/SC<sup>1</sup>. Santa Maria, RS, 2014.**

**Diagnóstico para acidez do solo e calagem**

Amostras	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP
		cmolc/dm <sup>3</sup>					Al	Bases	
Zero (Sem adição)	5,8	18,2	3,6	0,0	3,8	22,4	0,0	85,4	6,1
300 mg kg <sup>-1</sup>	5,6	16,0	3,4	0,0	3,8	20,0	0,0	84,4	6,1
500 mg kg <sup>-1</sup>	5,7	17,2	3,8	0,0	4,2	21,5	0,0	83,6	6,0
700 mg kg <sup>-1</sup>	5,7	19,7	5,4	0,0	4,1	25,7	0,0	59,1	6,1

**Diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S**

Amostras	% MO	% Argila	Textura	S	P-Mehlich	C Total*	K	CTC pH 7	K
	m/v			mg/dm <sup>3</sup>		g.kg <sup>-1</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>		mg/dm <sup>3</sup>
Zero (Sem adição)	4,1	16,0	4,0	16,9	40,0	-	0,6	26,2	248,0
300 mg kg <sup>-1</sup>	4,1	15,3	4,0	27,2	38,5	-	0,6	23,8	163,3
500 mg kg <sup>-1</sup>	4,1	15,3	4,0	22,7	35,1	-	0,6	25,7	216,0
700 mg kg <sup>-1</sup>	4,0	14,7	4,0	35,7	33,2	-	0,6	29,8	233,3

**Diagnóstico para micronutrientes e relação molares**

Amostras	Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relação Molares		
	mg/dm <sup>3</sup>						Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg)1/2
Zero (Sem adição)	222,5	32,1	0,6	-	-	-	5,0	34,4	0,136
300 mg kg <sup>-1</sup>	465,2	33,4	0,5	-	-	-	4,7	33,3	0,133
500 mg kg <sup>-1</sup>	639,2	31,9	1,0	-	-	-	4,6	38,3	0,121
700 mg kg <sup>-1</sup>	759,8	32,2	0,9	-	-	-	4,0	42,6	0,121

\*Determinação em analisador elementar-combustão seca.

<sup>1</sup> Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

**Anexo B - Laudo de análise de solo após cultivo da cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.) realizado no Laboratório de análise de solo da UFSM, vinculado ao ROLAS – RS/SC<sup>1</sup>. Santa Maria, RS, 2014.**

**Diagnóstico para acidez do solo e calagem**

Amostras	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP
		cmolc/dm <sup>3</sup>					Al	Bases	
Zero (Sem adição)	6,1	11,7	2,7	0,0	3,9	14,6	0,0	79,1	6,1
300 mg kg <sup>-1</sup>	5,9	11,5	2,6	0,0	3,5	14,4	0,0	80,7	6,2
500 mg kg <sup>-1</sup>	5,9	11,3	2,5	0,0	3,5	14,2	0,0	80,0	6,2
700 mg kg <sup>-1</sup>	5,8	11,9	2,9	0,0	3,5	15,2	0,0	81,5	6,2

**Diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S**

Amostras	% MO	% Argila	Textura	S	P-Mehlich	C Total*	K	CTC pH 7	K
	m/v			mg/dm <sup>3</sup>		g.kg <sup>-1</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>		mg/dm <sup>3</sup>
Zero (Sem adição)	4,9	16,0	4,0	15,7	40,9	-	0,317	18,5	124,0
300 mg kg <sup>-1</sup>	4,7	15,0	4,0	16,3	45,5	-	0,368	17,9	144,0
500 mg kg <sup>-1</sup>	5,1	16,0	4,0	18,5	49,2	-	0,297	17,7	116,0
700 mg kg <sup>-1</sup>	4,9	15,0	4,0	16,2	49,2	-	0,368	18,6	144,0

**Diagnóstico para micronutrientes e relação molares**

Amostras	Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relação Molares		
	mg/dm <sup>3</sup>						Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg)1/2
Zero (Sem adição)	192,5	26,3	0,5	-	-	-	4,4	45,2	0,084
300 mg kg <sup>-1</sup>	194,5	24,7	0,4	-	-	-	4,4	38,2	0,098
500 mg kg <sup>-1</sup>	194,2	25,1	0,7	-	-	-	4,5	46,2	0,080
700 mg kg <sup>-1</sup>	193,5	23,5	0,5	-	-	-	4,1	40,2	0,096

\*Determinação em analisador elementar-combustão seca.

<sup>1</sup> Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

**Anexo C - Laudo de análise de solo após cultivo do crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzeveley) realizado no Laboratório de análise de solo da UFSM, vinculado ao ROLAS – RS/SC<sup>1</sup>. Santa Maria, RS, 2014.**

**Diagnóstico para acidez do solo e calagem**

Amostras	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H + Al	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP
		cmolc/dm <sup>3</sup>					Al	Bases	
Zero (Sem adição)	4,8	3,7	0,8	0,2	4,4	6,6	3,0	59,3	6,0
250 mg kg <sup>-1</sup>	4,7	3,7	0,7	0,2	5,5	6,3	3,2	53,0	5,8
500 mg kg <sup>-1</sup>	4,6	3,7	0,7	0,3	3,9	6,4	4,7	60,6	6,1
750 mg kg <sup>-1</sup>	4,6	3,6	0,7	0,3	5,5	6,2	4,8	51,6	5,8
1.000 mg kg <sup>-1</sup>	4,6	3,8	0,7	0,2	4,4	6,4	3,1	58,0	6,0

**Diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S**

Amostras	% MO	% Argila	Textura	S	P-Mehlich	C Total*	K	CTC pH 7	K
	m/v			mg/dm <sup>3</sup>		g.kg <sup>-1</sup>	cmolc/dm <sup>3</sup>		mg/dm <sup>3</sup>
Zero (Sem adição)	2,1	28,0	3,0	27,7	16,6	-	1,872	10,8	732,0
250 mg kg <sup>-1</sup>	1,6	29,0	3,0	15,9	21,1	-	1,790	11,6	700,0
500 mg kg <sup>-1</sup>	1,5	27,0	3,0	15,1	20,2	-	1,688	10,0	660,0
750 mg kg <sup>-1</sup>	1,6	29,0	3,0	14,6	19,3	-	1,637	11,4	640,0
1.000 mg kg <sup>-1</sup>	1,8	29,0	3,0	17,5	23,7	-	1,616	10,6	632,0

**Diagnóstico para micronutrientes e relação molares**

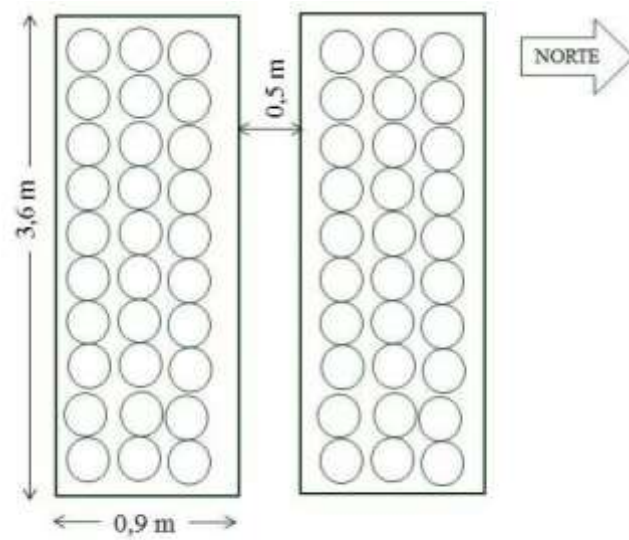
Amostras	Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relação Molares		
	mg/dm <sup>3</sup>						Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg)1/2
Zero (Sem adição)	53,4	8,1	0,8	-	-	-	4,7	2,4	0,789
250 mg kg <sup>-1</sup>	102,6	9,0	0,7	-	-	-	5,5	2,4	580,800
500 mg kg <sup>-1</sup>	136,6	8,3	0,8	-	-	-	5,2	2,6	0,807
750 mg kg <sup>-1</sup>	128,4	9,0	0,6	-	-	-	5,5	2,6	0,795
1.000 mg kg <sup>-1</sup>	172,3	12,4	0,8	-	-	-	5,5	2,8	0,759

\*Determinação em analisador elementar-combustão seca.

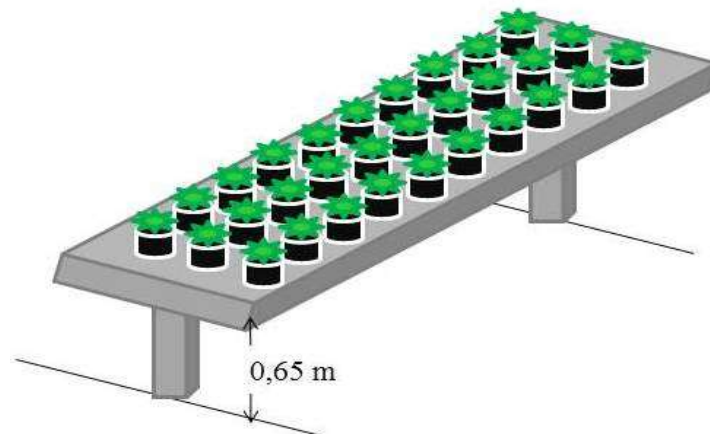
<sup>1</sup> Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.

## APÊNDICES

**Apêndice A – Croqui do experimento dentro da casa de vegetação do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da UFSM. Santa Maria, 2013.**



Vista superior das bancadas



Vista lateral da bancada

**Apêndice B - Análise de variância (ANOVA) dos parâmetros do cultivo de calla lily (*Zantedeschia* spp.). Santa Maria, RS, 2014.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Causas de Variação</b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>Soma dos Quadros</b>	<b>Quadro Médio</b>	<b>F calculado</b>	<b>Pr &gt; Fc</b>	<b>F (5%) tabelado</b>
Consumo hídrico acumulado	Fator A	3	116.738.857	38.912.952	6.330	0.0010	2.80
	Fator D	2	15.266.103.990	7.633.051.995	1.241	0.0000	3.19
	Interação AxD	6	77.711.869	12.951.978	2.107	0.0697	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	295.074.417	6.147.384			
	Total	59	15.755.629.134				
	CV (%) =	6.20					
Eficiência e uso da água	Fator A	3	44.157.960	14.719.320	1.175	0.3293	2.80
	Fator D	2	1.041.344.623	520.672.312	41.547	0.0000	3.19
	Interação AxD	6	60.252.990	10.042.165	0.801	0.5738	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	601.540.320	12.532.090			
	Total	59	1.747.295.893				
	CV (%) =	20.17					
Altura média da planta	Fator A	3	685.997.527	228.665.842	3.768	0.0165	2.80
	Fator D	2	825.640.413	412.820.207	6.803	0.0025	3.19
	Interação AxD	6	157.447.533	26.241.256	0.432	0.8536	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	2.912.919.120	60.685.815			
	Total	59	4.582.004.593				
	CV (%) =	23.44					
Área foliar total	Fator A	3	225.671.838.840	75.223.946.280	1.509	0.2241	2.80
	Fator D	2	25.094.521.943	12.547.260.972	0.252	0.7785	3.19
	Interação AxD	6	137.905.430.230	22.984.238.372	0.461	0.8335	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	2.392.348.667.680	49.840.597.243			
	Total	59	2.781.020.458.693				
	CV (%) =	37.48					
Fitomassa fresca da parte aérea	Fator A	3	351.136.842	117.045.614	2.986	0.0403	2.80
	Fator D	2	2.639.610.183	1.319.805.092	33.666	0.0000	3.19
	Interação AxD	6	478.061.545	79.676.924	2.032	0.0794	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	1.881.731.412	39.202.738			
	Total	59	5.350.539.982				
	CV (%) =	21.26					
Fitomassa seca da parte aérea	Fator A	3	8.351.861	2.783.954	5.243	0.0033	2.80
	Fator D	2	25.411.064	12.705.532	23.928	0.0000	3.19
	Interação AxD	6	7.456.137	1.242.689	2.140	0.0461	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	25.487.934	0.530999			
	Total	59	66.706.996				
	CV (%) =	27.96					
Fitomassa fresca dos tubérculos	Fator A	3	216.651.260	72.217.087	1.229	0.3096	2.80
	Fator D	2	1.401.401.412	700.700.706	11.921	0.0001	3.19
	Interação AxD	6	113.204.136	18.867.356	0.321	0.9228	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	2.821.321.456	58.777.530			
	Total	59	4.552.578.264				
	CV (%) =	25.72					
Fitomassa seca dos tubérculos	Fator A	3	6.946.398	2.315.466	1.388	0.2578	2.80
	Fator D	2	23.387.257	11.693.629	7.009	0.0021	3.19
	Interação AxD	6	7.981.898	1.330.316	0.797	0.5767	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	80.083.137	1.668.399			
	Total	59	118.398.690				
	CV (%) =	22.23					

Continua...

Parâmetros	Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadros	Quadro Médio	F calculado	Pr > Fc	F (5%) tabelado
Concentrações de Cu na fitomassa da parte aérea	Fator A	3	13.232.099.778	4.410.699.926	25.030	0.0000	2.80
	Fator D	2	8.881.595.083	4.440.797.542	25.200	0.0000	3.19
	Interação AxD	6	3.722.803.637	620.467.273	1.521	0.0057	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	8.458.497.920	176.218.707			
	Total	59	34.294.996.418				
	CV (%) =	28.82					
Concentrações de Cu na fitomassa dos tubérculos	Fator A	3	1.487.021.211	495.673.737	47.265	0.0000	2.80
	Fator D	2	118.257.244.623	59.128.622	5.638	0.0063	3.19
	Interação AxD	6	61.316.126.310	10.219.354	0.974	0.4527	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	503.378.991.640	10.487.062			
	Total	59	2.169.973.574				
	CV (%) =	25.87					

(<sup>ns</sup>) Efeito não significativo na interação dos fatores AxD a 5% da probabilidade de erro.

### Apêndice C - Análise de regressão dos parâmetros com efeito significativo dos fatores A e/ou D referentes ao cultivo de calla lily (*Zantedeschia* spp.). Santa Maria, RS, 2014.

Parâmetros	Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadros	Quadro Médio	F calculado	Pr > Fc	F (5%) tabelado
Consumo hídrico acumulado	Fator A	3	116.738.857	38.912.952	6.330	0.0010	2.80
	Reg. Linear	1	20.989.662	20.989.662	3.414	0.071	4.04
	Reg. Quadrática	1	39.215.484	39.215.484	6.379	0.015	4.04*
	Reg. Cúbica	1	56.533.711	56.533.711	9.196	0.004	4.04*
	Desvios	0	0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	48	295.074.417	6.147.384			
Eficiência e uso da água	Fator D	2	1.041.344.623	520.672.312	41.547	0.0000	3.19
	Reg. Linear	1	1.009.321.623	1.009.321.623	80.539	0.000	4.04*
	Reg. Quadrática	1	32.023.001	32.023.001	2.555	0.116	4.04
	Desvios	0	0.000000	0.000000			
	Erro	48	601.540.320	12.532.090			
Altura média da planta	Fator D	2	825.640.413	412.820.207	6.803	0.0025	3.19
	Reg. Linear	1	716.731.560	716.731.560	11.811	0.001	4.04*
	Reg. Quadrática	1	108.908.853	108.908.853	1.795	0.187	4.04
	Desvios	0	-0.000000	0.000000			
	Erro	48	2.912.919.120	60.685.815			
Área foliar total	Fator A	3	44.157.960	14.719.320	1.175	0.3293	2.80
	Reg. Linear	1	198.103.826.352	198.103.826.352	3.975	0.052	2.80*
	Reg. Quadrática	1	24.978.576.807	24.978.576.807	0.501	0.482	4.04
	Reg. Cúbica	1	2.589.435.681	2.589.435.681	0.052	0.821	4.04
	Desvios	0	0.000000	0.000000	0.000	0.000	4.04
	Erro	48	2.392.348.667.680	49.840.597.243			
Fitomassa fresca da parte aérea	Fator D	2	2.639.610.183	1.319.805.092	33.666	0.0000	3.19
	Reg. Linear	1	2.341.068.303	2.341.068.303	59.717	0.000	4.04
	Reg. Quadrática	1	298.541.880	298.541.880	7.615	0.008	4.04*
	Desvios	0	0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	48	1.881.731.412	39.202.738			
Fitomassa seca da parte aérea	Fator D	2	25.411.064	12.705.532	23.928	0.0000	3.19
	Reg. Linear	1	25.339.864	25.339.864	47.721	0.000	4.04*
	Reg. Quadrática	1	0.071199	0.071199	0.134	0.716	4.04
	Desvios	0	0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	48	25.487.934	0.530999			
Fitomassa fresca dos tubérculos	Fator D	2	1.401.401.412	700.700.706	11.921	0.0001	3.19
	Reg. Linear	1	1.355.443.135	1.355.443.135	23.061	0.000	4.04*
	Reg. Quadrática	1	45.958.276	45.958.276	0.782	0.381	4.04
	Desvios	0	0.000000	0.000000			
	Erro	48	2.821.321.456	58.777.530			

Continua...

Parâmetros	Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadros	Quadro Médio	F calculado	Pr > Fc	F (5%) tabelado
Consumo hídrico acumulado	Fator A	3	116.738.857	38.912.952	6.330	0.0010	2.80
	Reg. Linear	1	20.989.662	20.989.662	3.414	0.071	4.04
	Reg. Quadrática	1	39.215.484	39.215.484	6.379	0.015	4.04*
	Reg. Cúbica	1	56.533.711	56.533.711	9.196	0.004	4.04*
	Desvios	0	0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	48	295.074.417	6.147.384			
Fitomassa seca dos tubérculos	Fator D	2	23.387.257	11.693.629	7.009	0.0021	3.19
	Reg. Linear	1	22.724.055	22.724.055	13.620	0.001	4.04*
	Reg. Quadrática	1	0.663202	0.663202	0.398	0.531	4.04
	Desvios	0	0.000000	0.000000			
	Erro	48	80.083.137	1.668.399			
Concentrações de Cu na fitomassa seca da parte aérea	Fator A	3	13.232.099.778	4.410.699.926	25.030	0.0000	2.80
	Reg. Linear	1	8.330.078.296	8.330.078.296	47.271	0.000	2.80
	Reg. Quadrática	1	2.073.876.042	2.073.876.042	11.769	0.001	4.04
	Reg. Cúbica	1	2.828.145.440	2.828.145.440	16.049	0.000	4.04*
	Desvios	0	-0.000000	0.000000	0.000	0.000	4.04
	Erro	48	8.458.497.920	176.218.707			
Concentrações de Cu na fitomassa seca dos tubérculos	Fator D	2	8.881.595.083	4.440.797.542	25.200	0.0000	3.19
	Reg. Linear	1	8.874.441.000	8.874.441.000	50.360	0.000	3.19*
	Reg. Quadrática	1	7.154.083	7.154.083	0.041	0.841	4.04
	Desvios	0	-0.000000	0.000000	0.000	0.000	4.04
	Erro	48	8.458.497.920	176.218.707			
Concentrações de Cu na fitomassa seca dos tubérculos	Fator D	2	118.257.244.623	59.128.622.312	5.638	0.0063	3.19
	Reg. Linear	1	118.242.788.602	118.242.788.602	11.275	0.002	3.19*
	Reg. Quadrática	1	14.456.021	14.456.021	0.001	0.971	4.04
	Desvios	0	-0.000000	0.000000	0.000	0.000	4.04
	Erro	48	503.378.991.640	10.487.062.326			

\* Equação ajustada em função dos testes de hipóteses:  $F_{\text{calculado}} > F_{(5\%) \text{ tabelado}}$ .



**Apêndice D - Análise de variância (ANOVA) dos parâmetros do cultivo de cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.). Santa Maria, RS, 2014.**

<b>Parâmetros</b>	<b>Causas de Variação</b>	<b>Graus de Liberdade</b>	<b>Soma dos Quadros</b>	<b>Quadro Médio</b>	<b>F calculado</b>	<b>Pr &gt; Fc</b>	<b>F (5%) tabelado</b>
Consumo hídrico acumulado	Fator A	3	15.696.307	5.232.102	1.565	0.2099	2.80
	Fator D	2	2.022.346.563	1.011.173.282	302.535	0.0000	3.19
	Interação AxD	6	28.838.223	4.806.371	1.438	0.2199	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	160.432.000	3.342.333			
	Total	59	2.227.313.093				
	CV (%) =	9.04					
Eficiência e uso da água	Fator A	3	0.002940	0.000980	0.452	0.7167	2.80
	Fator D	2	0.008143	0.004072	1.880	0.1637	3.19
	Interação AxD	6	0.012150	0.002025	0.935	0.4788	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	0.103960	0.002166			
	Total	59	0.127193				
	CV (%) =	8.62					
Altura média da planta	Fator A	3	94.850.000	31.616.667	6.355	0.0010	2.80
	Fator D	2	576.100.000	288.050.000	57.899	0.0000	3.19
	Interação AxD	6	13.100.000	2.183.333	0.439	0.8492	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	238.800.000	4.975.000			
	Total	59	922.850.000				
	CV (%) =	7.84					
Número médio de haste foliar	Fator A	3	29.250.000	9.750.000	0.872	0.4619	2.80
	Fator D	2	810.700.000	405.350.000	36.273	0.0000	3.19
	Interação AxD	6	127.300.000	21.216.667	1.899	0.1004	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	536.400.000	11.175.000			
	Total	59	1.503.650.000				
	CV (%) =	13.29					
Número médio de flores	Fator A	3	313.650.000	104.550.000	1.348	0.2700	2.80
	Fator D	2	33.250.533.333	16.625.266.667	214.312	0.0000	3.19
	Interação AxD	6	491.200.000	81.866.667	1.055	0.4023	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	3.723.600.000	77.575.000			
	Total	59	37.778.983.333				
	CV (%) =	11.85					
Fitomassa fresca da parte aérea	Fator A	3	18.098.007	6.032.669	0.323	0.8083	2.80
	Fator D	2	11.445.419.375	5.722.709.687	306.875	0.0000	3.19
	Interação AxD	6	85.665.468	14.277.578	0.766	0.6006	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	895.119.221	18.648.317			
	Total	59	12.444.302.071				
	CV (%) =	7.83					
Fitomassa seca da parte aérea	Fator A	3	3.693.837	1.231.279	1.324	0.2776	2.80
	Fator D	2	564.022.900	282.011.450	303.165	0.0000	3.19
	Interação AxD	6	2.622.709	0.437118	0.470	0.8272	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	44.650.768	0.930224			
	Total	59	614.990.215				
	CV (%) =	8.89					
Fitomassa fresca das raízes	Fator A	3	56.052.260	18.684.087	3.393	0.0253	2.80
	Fator D	2	387.629.528	193.814.764	35.192	0.0000	3.19
	Interação AxD	6	67.942.040	11.323.673	2.056	0.0762	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	264.350.766	5.507.308			
	Total	59	775.974.594				
	CV (%) =	21.22					

Continua...

Parâmetros	Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadros	Quadro Médio	F calculado	Pr > Fc	F (5%) tabelado
Fitomassa seca das raízes	Fator A	3	1.649.655	0.549885	2.648	0.0595	2.80
	Fator D	2	19.543.210	9.771.605	47.055	0.0000	3.19
	Interação AxD	6	2.622.229	0.437038	2.105	0.0699	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	9.967.749	0.207661			
	Total	59	33.782.842				
	CV (%) =	21.06					
Concentrações de Cu na fitomassa seca da parte aérea	Fator A	3	42.758.920	14.252.973	15.003	0.0000	2.80
	Fator D	2	562.957.208	281.478.604	296.284	0.0000	3.19
	Interação AxD	6	10.484.023	1.747.337	1.839	0.1113	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	45.601.434	950.029.885			
	Total	59	661.801.586				
	CV (%) =	9.04					
Concentrações de Cu na fitomassa seca das raízes	Fator A	3	9.017.577	3.005.859	23.227	0.0000	2.80
	Fator D	2	12.023.435	6.011.717	46.454	0.0000	3.19
	Interação AxD	6	2.271.222	378.537	2.125	0.0163	2.29 <sup>ns</sup>
	Erro	48	6.211.760	129.411			
	Total	59	29.523.996				
	CV (%) =	20.88					

(<sup>ns</sup>) Efeito não significativo na interação dos fatores AxD a 5% da probabilidade de erro.

#### Apêndice E - Análise de regressão dos parâmetros com efeito significativo dos fatores A e/ou D referentes ao cultivo de cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.). Santa Maria, RS, 2014.

Parâmetros	Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadros	Quadro Médio	F calculado	Pr > Fc	F (5%) tabelado
Consumo hídrico acumulado	Fator D	2	2.022.346.563	1.011.173.282	302.535	0.0000	3.19
	Reg. Linear	1	1.902.606.423	1.902.606.423	569.245	0.000	4.04
	Reg. Quadrática	1	119.740.141	119.740.141	35.825	0.000	4.04*
	Desvios	0	-0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	48	160.432.000	3.342.333			
Altura média da planta	Fator A	3	94.850.000	31.616.667	6.355	0.0010	2.80
	Reg. Linear	1	45.630.000	45.630.000	9.172	0.004	4.04
	Reg. Quadrática	1	36.816.667	36.816.667	7.400	0.009	4.04*
	Reg. Cúbica	1	12.403.333	12.403.333	2.493	0.121	4.04
	Desvios	0	0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	48	238.800.000	4.975.000			
	Fator D	2	576.100.000	288.050.000	57.899	0.0000	3.19
	Reg. Linear	1	570.025.000	570.025.000	114.578	0.000	4.04
	Reg. Quadrática	1	6.075.000	6.075.000	1.221	0.275	4.04*
Desvios	0	0.000000	0.000000				
Erro	48	238.800.000	4.975.000				
Número médio de haste foliar	Fator D	2	810.700.000	405.350.000	36.273	0.0000	3.19
	Reg. Linear	1	774.400.000	774.400.000	69.298	0.000	4.04
	Reg. Quadrática	1	36.300.000	36.300.000	3.248	0.078	4.04*
	Desvios	0	0.000000	0.000000			
	Erro	48	536.400.000	11.175.000			
Número médio de flores	Fator D	2	33.250.533.333	16.625.266.667	214.312	0.0000	3.19
	Reg. Linear	1	30.802.500.000	30.802.500.000	397.067	0.000	4.04
	Reg. Quadrática	1	2.448.033.333	2.448.033.333	31.557	0.000	4.04*
	Desvios	0	0.000000	0.000000			
	Erro	48	3.723.600.000	77.575.000			

Continua...

Parâmetros	Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadros	Quadro Médio	F calculado	Pr > Fc	F (5%) tabelado
Fitomassa fresca da parte aérea	Fator D	2	11.445.419.375	5.722.709.687	306.875	0.0000	3.19
	Reg. Linear	1	11.255.421.108	11.255.421.108	603.562	0.000	4.04
	Reg. Quadrática	1	189.998.267	189.998.267	10.188	0.002	4.04*
	Desvios	0	-0.000000	0.000000			
	Erro	48	895.119.221	18.648.317			
Fitomassa seca da parte aérea	Fator D	2	564.022.900	282.011.450	303.165	0.0000	3.19
	Reg. Linear	1	547.666.602	547.666.602	588.747	0.000	4.04
	Reg. Quadrática	1	16.356.298	16.356.298	17.583	0.000	4.04*
	Desvios	0	0.000000	0.000000			
	Erro	48	44.650.768	0.930224			
Fitomassa fresca das raízes	Fator A	3	56.052.260	18.684.087	3.393	0.0253	2.80
	Reg. Linear	1	18.425.417	18.425.417	3.346	0.074	4.04
	Reg. Quadrática	1	10.965.375	10.965.375	1.991	0.165	4.04*
	Reg. Cúbica	1	26.661.468	26.661.468	4.841	0.033	4.04
	Desvios	0	0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	48	264.350.766	5.507.308			
	Fator D	2	387.629.528	193.814.764	35.192	0.0000	3.19
Reg. Linear	1	387.064.401	387.064.401	70.282	0.000	4.04	
Reg. Quadrática	1	0.565127	0.565127	0.103	0.750	4.04*	
Desvios	0	0.000000	0.000000				
Erro	48	264.350.766	5.507.308				
Fitomassa seca das raízes	Fator D	2	19.543.210	9.771.605	47.055	0.0000	3.19
	Reg. Linear	1	19.404.490	19.404.490	93.443	0.000	4.04
	Reg. Quadrática	1	0.138720	0.138720	0.668	0.418	4.04*
	Desvios	0	0.000000	0.000000			
	Erro	48	9.967.749	0.207661			
Concentrações de Cu na fitomassa seca da parte aérea	Fator A	3	42.758.920	14.252.973.446	15.003	0.0000	2.80
	Reg. Linear	1	10.363.031	10.363.031.680	10.908	0.002	4.04
	Reg. Quadrática	1	10.255.507	10.255.507.082	10.795	0.002	4.04*
	Reg. Cúbica	1	22.140.381	22.140.381.576	3.305	0.000	4.04
	Desvios	0	0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	48	45.601.434	950.029.885			
	Fator D	2	562.957.208	281.478.604	296.284	0.0000	3.19
Reg. Linear	1	547.045.321	547.045.321	575.819	0.000	4.04	
Reg. Quadrática	1	547.045.321	547.045.321	575.819	0.000	4.04*	
Desvios	0	0.000000	0.000000	0.000	0.000		
Erro	48	45.601.434	950.029.885				
Concentrações de Cu na fitomassa seca das raízes	Fator A	3	9.017.577.901	3.005.859.300	23.227	0.0000	2.80
	Reg. Linear	1	7.032.314.748	7.032.314.748	54.341	0.000	4.04
	Reg. Quadrática	1	1.894.043.928	1.894.043.928	14.636	0.000	4.04
	Reg. Cúbica	1	91.219.224	91.219.224.376	0.705	0.405	4.04
	Desvios	0	0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	48	6.211.760.005	129.411.666			
	Fator D	2	12.023.435.837	6.011.717.918	46.454	0.0000	3.19
Reg. Linear	1	11.889.416.289	11.889.416.289	91.873	0.000	4.04*	
Reg. Quadrática	1	134.019.547.320	134.019.547.	1.036	0.314	4.04	
Desvios	0	0.000000	0.000000	0.000	0.000		
Erro	48	6.211.760.005.200	129.411.666				

\* Equação ajustada em função dos testes de hipóteses:  $F_{\text{calculado}} > F_{(5\%) \text{ tabelado}}$ .

**Apêndice F - Análise de variância (ANOVA) dos parâmetros do cultivo do crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev). Santa Maria, RS, 2014.**

Parâmetros	Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadros	Quadro Médio	F calculado	Pr > Fc	F (5%) tabelado
Altura média da planta	Fator A	4	822.200	205.550	13.658	0.0000	2.61
	Fator D	1	4.436.820	4.436.820	294.805	0.0000	4.08
	Interação AxD	4	133.480	33.370	2.217	0.0843	2.61 <sup>ns</sup>
	Erro	40	602.000	15.050			
	Total	49	5.994.500				
	CV (%) =	12.28					
Diâmetro da inflorescência	Fator A	4	36.377.200	9.094	8.428	0.0000	2.61
	Fator D	1	192.864.800	192.864	178.744	0.0000	4.08
	Interação AxD	4	24.537.200	6.134	1.685	0.0010	2.61 <sup>ns</sup>
	Erro	40	43.160.000	1.079			
	Total	49	296.939.200				
	CV (%) =	26.61					
Diâmetro da haste	Fator A	4	5.652.800	1.413	3.609	0.0133	2.61
	Fator D	1	12.500.000	12.500	31.920	0.0000	4.08
	Interação AxD	4	1.760.000	0.4400	1.124	0.3590	2.61 <sup>ns</sup>
	Erro	40	15.664.000	0.3916			
	Total	49	35.576.800				
	CV (%) =	13.34					
Comprimento máximo da raiz	Fator A	4	34.080.000	8.520	6.299	0.0005	2.61
	Fator D	1	14.580.000	14.580	10.780	0.0021	4.08
	Interação AxD	4	31.620.000	7.905	1.845	0.0008	2.61 <sup>ns</sup>
	Erro	40	54.100.000	1.352			
	Total	49	134.380.000				
	CV (%) =	10.75					
Fitomassa fresca da parte aérea	Fator A	4	1.270.884	317.721	5.948	0.0007	2.61
	Fator D	1	9.457.525	9.457.525	177.043	0.0000	4.08
	Interação AxD	4	273.602	68.400	1.280	0.2938	2.61 <sup>ns</sup>
	Erro	40	2.136.774	53.419			
	Total	49	13.138.787				
	CV (%) =	31.85					
Fitomassa fresca da raiz	Fator A	4	401.004	100.251	10.114	0.0000	2.61
	Fator D	1	1.926.950	1.926.950	194.403	0.0000	4.08
	Interação AxD	4	349.666	87.416	1.819	0.0000	2.61 <sup>ns</sup>
	Erro	40	396.486	9.912			
	Total	49	3.074.108				
	CV (%) =	42.70					
Fitomassa seca da parte aérea	Fator A	4	48.005	12.001	4.689	0.0034	2.61
	Fator D	1	304.852	304.852	119.106	0.0000	4.08
	Interação AxD	4	15.712	3.928	1.535	0.2106	2.61 <sup>ns</sup>
	Erro	40	102.380	2.559			
	Total	49	470.950				
	CV (%) =	34.45					
Fitomassa seca da raiz	Fator A	4	22.261	5.565	16.338	0.0000	2.61
	Fator D	1	37.435	37.435	109.896	0.0000	4.08
	Interação AxD	4	10.938	2.734	1.027	0.0001	2.61 <sup>ns</sup>
	Erro	40	13.625	0.3406			
	Total	49	84.260				
	CV (%) =	33.73					

Continua...

Parâmetros	Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadros	Quadro Médio	F calculado	Pr > Fc	F (5%) tabelado
Concentrações de Cu na fitomassa seca da parte aérea	Fator A	4	575.586.117	143.896.529	7.277	0.0002	2.61
	Fator D	1	1.645.651	1.645.651	83.223	0.0000	4.08
	Interação AxD	4	135.383.569	33.845.892	1.712	0.1664	2.6 <sup>ns</sup>
	Erro	40	790.961.947	19.774.048			
	Total	49	3.147.583.38				
	CV (%) =	40.63					
Concentrações de Cu na fitomassa seca das raízes	Fator A	4	22.012.113	55.030.283	2.517	0.0563	2.61
	Fator D	1	2.266.326	2.266.326	103.664	0.0000	4.08
	Interação AxD	4	42.322.418	10.580.604	0.484	0.7474	2.6 <sup>ns</sup>
	Erro	40	874.492.354	21.862.308			
	Total	49	3.403.262.38				
	CV (%) =	32.81					

(<sup>ns</sup>) Efeito não significativo na interação dos fatores AxD a 5% da probabilidade de erro.

### Apêndice G - Análise de regressão dos parâmetros com efeito significativo dos fatores A e/ou D referentes ao cultivo do crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev). Santa Maria, RS, 2014.

Parâmetros	Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadros	Quadro Médio	F calculado	Pr > Fc	F (5%) tabelado
Altura média da planta	Fator A	4	822.200.000	205.550.000	13.658	0.0000	2.61
	Reg. Linear	1	772.840.000	772.840.000	51.351	0.000	4,08*
	Reg. Quadrática	1	45.714.286	45.714.286	3.037	0.089	4,08
	Reg. Cúbica	1	3.610.000	3.610.000	0.240	0.627	4,08
	Desvios	1	-0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	40	602.000.000	15.050.000			
Diâmetro da inflorescência	Fator A	4	36.377.200	9.094.300	8.428	0.0000	2.61
	Reg. Linear	1	32.262.400	32.262.400	29.900	0.000	4,08*
	Reg. Quadrática	1	0.864286	0.864286	0.801	0.376	4,08
	Reg. Cúbica	1	3.204.100	3.204.100	2.970	0.093	4,08
	Desvios	0	0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	40	43.160.000	1.079.000			
Diâmetro da haste	Fator A	4	5.652.800	1.413.200	3.609	0.0133	2.61
	Reg. Linear	1	5.107.600	5.107.600	13.043	0.001	4,08*
	Reg. Quadrática	1	0.274571	0.274571	0.701	0.407	4,08
	Reg. Cúbica	1	0.144400	0.144400	0.369	0.547	4,08
	Desvios	0	-0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	40	15.664.000	0.391600			
Comprimento máximo da raiz	Fator A	4	34.080.000	8.520.000	6.299	0.0005	2.61
	Reg. Linear	1	21.622.500	21.622.500	15.987	0.000	4,08*
	Reg. Quadrática	1	12.301.786	12.301.786	9.096	0.004	4,08
	Reg. Cúbica	1	0.040000	0.040000	0.030	0.864	4,08
	Desvios	0	-0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	40	54.100.000	1.352.500			
Fitomassa fresca da parte aérea	Fator A	4	1.270.884.975	317.721.244	5.948	0.0007	2.61
	Reg. Linear	1	1.255.327.416	1.255.327.416	23.499	0.000	4,08*
	Reg. Quadrática	1	6.910.420	6.910.420	0.129	0.721	4,08
	Reg. Cúbica	1	1.598.454	1.598.454	0.030	0.864	4,08
	Desvios	0	-0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	40	2.136.774.184	53.419.355			

Continua...

Parâmetros	Causas de Variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadros	Quadro Médio	F calculado	Pr > Fc	F (5%) tabelado
Fitomassa fresca da raiz	Fator A	4	401.004.601	100.251.150	10.114	0.0000	2.61
	Reg. Linear	1	379.334.052	379.334.052	38.270	0.000	4,08*
	Reg. Quadrática	1	20.087.764	20.087.764	2.027	0.162	4,08
	Reg. Cúbica	1	0.564752	0.564752	0.057	0.813	4,08
	Desvios	0	-0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	40	396.486.295	9.912.157			
Fitomassa seca da parte aérea	Fator A	4	48.005.476	12.001.369	4.689	0.0034	2.61
	Reg. Linear	1	41.525.136	41.525.136	16.224	0.000	4,08*
	Reg. Quadrática	1	0.008239	0.008239	0.003	0.955	4,08
	Reg. Cúbica	1	5.026.564	5.026.564	1.964	0.169	4,08
	Desvios	0	-0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	40	102.380.236	2.559.506			
Fitomassa seca da raiz	Fator A	4	22.261.340	5.565.335	16.338	0.0000	2.61
	Reg. Linear	1	18.445.307	18.445.307	54.148	0.000	4,08*
	Reg. Quadrática	1	1.200.837	1.200.837	3.525	0.068	4,08
	Reg. Cúbica	1	2.480.310	2.480.310	7.281	0.010	4,08
	Desvios	0	0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	40	13.625.843	0.340646			
Concentrações de Cu na fitomassa seca das raízes	Fator D	1	2.266.326.461	2.266.326	103.664	0.0000	4,08
	Reg. Linear	1	2.266.326.461	2.266.326	103.664	0.000	4,08*
	Desvios	0	0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	40	874.492.354	21.862.308.852			
Concentrações de Cu na fitomassa seca da parte aérea	Fator A	4	575.586.117	143.896.529	7.277	0.0002	2.61
	Reg. Linear	1	173.261.398	173.261.398	8.762	0.005	4,08*
	Reg. Quadrática	1	32.920.196	32.920.196	1.665	0.204	4,08
	Reg. Cúbica	1	336.572.978	336.572.978	17.021	0.000	4,08
	Desvios	1	0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	40	790.961.947	19.774.048			
Concentrações de Cu na fitomassa seca da parte aérea	Fator D	1	1.645.651.749	1.645.651.749	83.223	0.0000	4,08*
	Reg. Linear	1	1.645.651.749	1.645.651.749	83.223	0.000	4,08
	Desvios	0	-0.000000	0.000000	0.000	0.000	
	Erro	40	790.961.947	19.774.048			

\* Equação ajustada em função dos testes de hipóteses:  $F_{\text{calculado}} > F_{(5\%)\text{ tabelado}}$ .

**Apêndice H - Dados de temperatura máxima do ar (Tmáx.), temperatura mínima do ar (Tmin.), umidade relativa do ar às 12 horas (UR 12h) e insolação (Ins.) para o período cultivo da calla lily (*Zantedeschia* sp.). Santa Maria, RS, 2013/2014.**

Data	Tmáx. (°C)*	Tmin. (°C)*	UR 12h (%)**	Ins. (h)**
22/10/2013	26	15	76	15
25/10/2013	25	14	82	3,2
28/10/2013	29	16	60	3,9
31/10/2013	30	19	80	3
03/11/2013	31	16	94	2,5
06/11/2013	29	17	66	12
09/11/2013	33	19	81	0
12/11/2013	30	17	80	11
15/11/2013	34	18	47	3,8
18/11/2013	39	12	66	11,8
21/11/2013	36	19	83	6,4
24/11/2013	36	17	64	12,5
27/11/2013	37	12	61	5,9
30/11/2013	35	12	68	10,2
03/12/2013	38	18	70	10
06/12/2013	33	19	73	2,5
09/12/2013	37	16	68	11,7
12/12/2013	36	19	76	9,9
15/12/2013	39	18	74	12,4
18/12/2013	40	17	75	11,9
21/12/2013	37	16	77	11,1
24/12/2013	39	13	71	12
27/12/2013	38	16	66	11,3
30/12/2013	41	19	64	9,7
02/01/2014	42	24	67	5,3
05/01/2014	39	21	77	12,2

Data	Tmáx. (°C)*	Tmin. (°C)*	UR 12h (%)**	Ins. (h)**
08/01/2014	39	23	82	4,9
11/01/2014	37	18	98	0
14/01/2014	38	19	93	4,1
17/01/2014	32	19	86	10,7
20/01/2014	36	20	68	10,2
23/01/2014	33	18	68	11,7
26/01/2014	39	19	92	0,2
29/01/2014	40	29	65	8,4
01/02/2014	41	25	69	7,5
04/02/2014	40	21	64	8,8
07/02/2014	42	23	66	11,1
10/02/2014	40	23	64	8,6
13/02/2014	40	22	78	0,1
16/02/2014	39	19	82	11,7
19/02/2014	40	21	73	8,1
22/02/2014	42	23	84	5,2
25/02/2014	37	20	84	0
28/02/2014	34	15	89	7,7
03/03/2014	36	17	82	7,5
06/03/2014	35	15	76	10,9
09/03/2014	34	14	100	8,4
12/03/2014	35	13	94	10,3
15/03/2014	38	17	88	3,2
18/03/2014	38	19	98	0
21/03/2014	39	18	65	6

\* Dados obtidos no interior da casa de vegetação do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da UFSM - 2013/2014.

\*\* Dados obtidos na estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada no *Campus* do Departamento de Fitotecnia da UFSM - 2013/2014.

**Apêndice I - Dados de temperatura máxima do ar (Tmáx.), temperatura mínima do ar (Tmim.), umidade relativa do ar às 12 horas (UR 12h) e insolação (Ins.) para o período cultivo da cravina de jardim (*Dianthus chinensis* L.). Santa Maria, RS, 2014.**

<b>Data</b>	<b>Tmáx. (°C)*</b>	<b>Tmin. (°C)*</b>	<b>UR 12h (%)**</b>	<b>Ins. (h)**</b>
26/03/2014	27	18	93	3,6
29/03/2014	33	20	98	8,1
01/04/2014	29	18	91	3,4
04/04/2014	32	18	79	10,6
07/04/2014	31	20	95	1
10/04/2014	29	18	83	6,5
13/04/2014	30	19	58	9,6
16/04/2014	36	14	88	8
19/04/2014	34	17	100	0
22/04/2014	38	21	90	8,4
25/04/2014	29	17	92	6,1
28/04/2014	36	21	67	1,4
01/05/2014	28	14	84	0,2
04/05/2014	26	9	100	9,9
07/05/2014	27	11	100	0,3
10/05/2014	26	14	93	7,3
13/05/2014	28	19	96	4,7
16/05/2014	32	19	98	7,7
19/05/2014	25	14	98	0,3
22/05/2014	25	16	100	0,2
25/05/2014	23	10	100	0,4
28/05/2014	20	6	100	9
31/05/2014	25	5	98	0,5
03/06/2014	24	7	98	9,2
06/06/2014	22	6	98	0,2
09/06/2014	20	8	95	9,2
12/06/2014	23	10	65	8,8
15/06/2014	27	8	93	2,9
18/06/2014	27	9	94	8
21/06/2014	28	4	100	0
24/06/2014	20	4	98	5,1
27/06/2014	18	5	100	0
30/06/2014	25	9	98	0
03/07/2014	25	10	100	4,1
06/07/2014	29	16	95	0,7
09/07/2014	27	15	94	6,4

\* Dados obtidos no interior da casa de vegetação do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da UFSM - 2013/2014.

\*\* Dados obtidos na estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada no *Campus* do Departamento de Fitotecnia da UFSM - 2013/2014.



**Apêndice J - Dados de temperatura máxima do ar (Tmáx.), temperatura mínima do ar (Tmim.), umidade relativa do ar às 12 horas (UR 12h) e insolação (Ins.) para o período cultivo do crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev). Santa Maria, RS, 2014.**

Data	Tmáx. (°C)*	Tmin. (°C)*	UR 12h (%)*	Ins. (h)*	Data	Tmáx. (°C)*	Tmin. (°C)*	UR 12h (%)*	Ins. (h)*
20/06/2014	13,6	-0,2	100	4,4	10/08/2014	26,6	14,2	88	3,4
21/06/2014	10,4	4,2	100	0	11/08/2014	18,8	15,8	98	0
22/06/2014	15,4	8	84	0,6	12/08/2014	18,4	11,2	100	3,8
23/06/2014	21,2	14,4	98	1,8	13/08/2014	14,8	4	70	9,5
24/06/2014	23,4	15,4	100	5,1	14/08/2014	16	1	79	9,6
25/06/2014	19	16,2	100	0	15/08/2014	18,4	3,6	89	7,4
26/06/2014	16,2	15,2	100	0	16/08/2014	23,4	11,6	90	7
27/06/2014	17	15,2	100	0	17/08/2014	17,6	13,2	100	0
28/06/2014	15,2	14,4	100	0	18/08/2014	22,4	14,8	98	5,1
29/06/2014	15,2	13	100	0	19/08/2014	23	11	100	4,4
30/06/2014	14	12	98	0	20/08/2014	22,4	10,6	100	4,5
01/07/2014	15,2	8,2	98	5	21/08/2014	28,2	14,2	100	6,5
02/07/2014	16	5,8	100	2,8	22/08/2014	28,2	12	91	9,7
03/07/2014	21,8	13,8	100	4,1	23/08/2014	33,2	16,2	82	8,2
04/07/2014	25,8	18,2	100	3,6	24/08/2014	33	25,2	36	9,1
05/07/2014	30	21,4	46	7,8	25/08/2014	27,8	12,8	93	3,7
06/07/2014	27,4	10	95	0,7	26/08/2014	14,4	9,6	68	2
07/07/2014	17	4,6	94	9,1	27/08/2014	16,2	4,6	64	10,3
08/07/2014	16,2	4,2	94	9,2	28/08/2014	17	3	84	10
09/07/2014	18,2	8,8	94	6,4	29/08/2014	20	5	89	8,5
10/07/2014	17	14,2	96	0	30/08/2014	25	8,6	100	6,8
11/07/2014	20,2	12,6	93	7,9	31/08/2014	26,7	18,6	94	4,6
12/07/2014	21	13,6	96	7,1	01/09/2014	24,8	11	94	10,1
13/07/2014	25,4	11,8	98	6,5	02/09/2014	16,6	12,8	98	0
14/07/2014	27	15,8	77	5,4	03/09/2014	20,2	15,4	96	0,5
15/07/2014	26	16,8	67	8,7	04/09/2014	21,4	13,4	85	4,7
16/07/2014	27,4	16,8	68	8,6	05/09/2014	22,2	15,6	72	0,3
17/07/2014	20,6	16,2	90	0	06/09/2014	21,2	16,6	63	0
18/07/2014	18,6	11,6	81	8,9	07/09/2014	22,4	16,2	80	6,4
19/07/2014	20,2	7	90	9,1	08/09/2014	28	15,2	98	7
20/07/2014	20	6	92	9,4	09/09/2014	33,2	19,6	55	10,7
21/07/2014	23,4	8,2	98	8,9	10/09/2014	30	12,2	94	0
22/07/2014	28	11,8	98	7,6	11/09/2014	17,2	11,4	84	3
23/07/2014	20,4	15,2	55	0	12/09/2014	18,2	11,6	88	0,9
24/07/2014	15,2	8,8	98	0	13/09/2014	26,4	16	98	4,9
25/07/2014	14,4	2,2	100	8,7	14/09/2014	29,4	17,6	100	4,3
26/07/2014	15,4	3	100	8,2	15/09/2014	21	14	58	1,2
27/07/2014	16	2,6	97	7	16/09/2014	22,4	8,4	80	10,5
28/07/2014	17,4	6,6	97	8,8	17/09/2014	19,2	9,6	83	1,4
29/07/2014	20,4	11,8	94	3,1	18/09/2014	19,4	14,8	91	0
30/07/2014	20,4	16,2	98	0	19/09/2014	26	15,8	93	6,2
31/07/2014	25,6	14,4	80	3,8	20/09/2014	25	17,4	88	8,3
01/08/2014	24,6	17,2	66	0,8	21/09/2014	20,3	11	94	5,6
02/08/2014	30	15	85	5,4	22/09/2014	23,6	11,4	81	10,6
03/08/2014	31,2	23,4	50	9,3	23/09/2014	31	13,8	52	10,8
04/08/2014	23,2	11	95	6,1	24/09/2014	24,8	17,6	79	3,9
05/08/2014	17	3,8	89	9,8	25/09/2014	26,8	14,8	96	7,4
06/08/2014	28	9	80	9,7	26/09/2014	24,6	16,8	94	5,2
07/08/2014	25,6	12,2	84	0	27/09/2014	20,6	10,6	76	6,1
08/08/2014	17,6	7,2	100	7,5	28/09/2014	23	19,6	82	2,3
09/08/2014	18,2	5,6	89	5,2	29/09/2014	25,6	19,4	95	1,7

Continua ...

Data	Tmáx. (°C)*	Tmin. (°C)*	UR 12h (%)*	Ins. (h)*
30/09/2014	21,6	17,6	98	0
01/10/2014	23,8	17,6	92	7,8
02/10/2014	21,8	14	79	9,2
03/10/2014	21,8	12,8	77	7,6
04/10/2014	21,8	13,6	76	1,4
05/10/2014	22,4	14,6	72	0,7
06/10/2014	21	16,8	79	0
07/10/2014	25,6	17,8	79	3,3
08/10/2014	30	16,6	96	9,2
09/10/2014	29	19,8	53	0
10/10/2014	28,4	16	69	1,3
11/10/2014	21,2	13,6	83	1,5
12/10/2014	25	17	94	1,1
13/10/2014	21,2	16,8	92	0
14/10/2014	26	17,4	84	7,3
15/10/2014	28,8	17,2	85	6,4
16/10/2014	32	20	59	0
17/10/2014	27	19,6	98	0,3
18/10/2014	28,2	18,6	82	0,4
19/10/2014	24,2	18,6	96	0,7
20/10/2014	25,8	13	75	11,5
21/10/2014	24,6	13,4	75	10,6
22/10/2014	28	12,8	81	10,7
23/10/2014	30	16	58	11,8
24/10/2014	29	15,8	88	6,8
25/10/2014	28,2	18,8	89	8,7
26/10/2014	29,4	19,2	86	8,1
27/10/2014	34,8	21,8	80	10,5
28/10/2014	36,2	22,4	76	11,1
29/10/2014	37,8	18,4	53	11,6
30/10/2014	30	17,8	96	0,9
31/10/2014	28,2	17,7	77	5,7
01/11/2014	23	20,6	83	0
02/11/2014	22	19,8	96	0
03/11/2014	30,2	19,6	84	4,8
04/11/2014	24,4	17	81	8,4
05/11/2014	24,6	11,4	72	11,9
06/11/2014	28,6	14,8	72	7,4
07/11/2014	30	20,8	89	5,3

Data	Tmáx. (°C)*	Tmin. (°C)*	UR 12h (%)*	Ins. (h)*
08/11/2014	31,8	17,8	77	11,2
09/11/2014	32	14,6	62	11,9
10/11/2014	33,2	16,2	61	11,7
11/11/2014	28	18,4	82	0
12/11/2014	23,4	17,8	98	1,3
13/11/2014	25,6	15,4	69	8,4
14/11/2014	25	12	53	12
15/11/2014	28,2	11	63	11,9
16/11/2014	31	12,2	59	11,7
17/11/2014	31,2	17	69	12,3
18/11/2014	34,2	17,6	39	6,2
19/11/2014	34,6	18,6	51	10,8
20/11/2014	33,6	20,8	56	5,7
21/11/2014	31,8	21,2	74	9,1
22/11/2014	27	17,8	84	11,9
23/11/2014	28,8	12,8	62	12,3
24/11/2014	36,8	15	61	2,3
25/11/2014	29,6	20,2	89	8,9
26/11/2014	31	20,8	81	9,6
27/11/2014	29,2	19,4	77	10,9
28/11/2014	30,4	17,2	75	11,4
29/11/2014	36,2	18,4	59	2,8
30/11/2014	35,2	22,8	55	3
01/12/2014	26,8	22,2	91	0
02/12/2014	29	23,2	79	0,7
03/12/2014	27,4	19,4	70	11,5
04/12/2014	29,4	14,4	61	11,9
05/12/2014	30,8	16,8	70	12,1
06/12/2014	33	16,8	30	12,5
07/12/2014	37,2	19,4	52	12,3
08/12/2014	36,2	21,8	56	7,5
09/12/2014	31,8	20,8	74	1,6
10/12/2014	33,2	21,4	70	5,2
11/12/2014	25,4	21,2	85	0
12/12/2014	27,8	20,2	91	0,4
13/12/2014	29,8	21,4	88	5,9
14/12/2014	28,6	16	73	11,9
15/12/2014	28,6	16,4	71	11,3

\* Dados obtidos na estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada no *Campus* do Departamento de Fitotecnia da UFSM - 2013/2014.