

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL

Leandra de Carvalho Lacerda

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITORREMEIADOR DE  
TAGETES (*Tagetes patula* L.) CULTIVADO EM SOLO  
CONTAMINADO POR COBRE**

Santa Maria, RS, Brasil  
2022

**Leandra de Carvalho Lacerda**

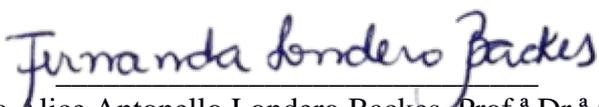
**PROJETO**

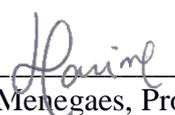
**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FITORREMEDIADOR DE TAGETES (*Tagetes patula*  
L.) CULTIVADO EM SOLO CONTAMINADO POR COBRE**

Trabalho de Conclusão de Curso B apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheira Sanitarista e Ambiental**.

**Aprovado em 14 de setembro de 2022.**

\_\_\_\_\_  
Alexandre Swarowsky, Prof. Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Fernanda Alice Antonello Londero Backes, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> (UFSM)

  
\_\_\_\_\_  
Janine Farias Menegaes, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> (UNICENTRO)

Santa Maria, RS, Brasil  
2022

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL .....	4
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	6
2.1	CONTAMINAÇÃO DO SOLO .....	6
2.2	FITORREMEDIAÇÃO .....	8
	REFERÊNCIAS .....	15
	CAPÍTULO 1 .....	20
1	INTRODUÇÃO .....	22
2	MATERIAIS E MÉTODOS .....	23
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
	REFERÊNCIAS .....	35

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Nas últimas décadas, o surgimento de novas tecnologias para a produção agrícola enfrenta uma pressão constante entre gerar desenvolvimento sustentável e aumentar a demanda de produção. As plantas podem ser prejudicadas em seu desenvolvimento quando o solo apresenta deficiências nutricionais, sendo importante manejar adequadamente esse sistema solo-planta, isso inclui, por exemplo, introduzir práticas agrícolas como adubação verde, fertilizantes minerais e orgânicos (GONÇALVES JUNIOR et al., 2013).

Na área de produção agrícola o controle fitossanitário com uso de agrotóxicos assume um papel importante nos diferentes sistemas produtivos. Entretanto, o uso indiscriminado vem causando impactos ambientais que afetam o sistema solo-água-planta-atmosfera, como na produção vitícola. Métodos utilizados no controle de pragas e doenças, principalmente fúngicas em videiras, são realizados a partir de produtos à base de cobre (Cu), sendo este classificado como metal pesado. No cultivo de videiras (*Vitis* spp.) um dos grandes problemas sanitários é a incidência fúngica de míldio (*Plasmopara viticola*). O produto mais utilizado para o tratamento da planta é a Calda Bordalesa, uma solução de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) com óxido de cálcio, diluídos em água [ $(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) + \text{Ca}(\text{OH})_2$ ]. Essa solução atende a finalidade fitossanitária como fungicida e bactericida, entretanto, seu uso contínuo contribui para o acúmulo de Cu na superfície do solo. Este tem a característica de bioacumular com o tempo e apresentar baixa mobilidade, afetando sua distribuição e dessorção nos horizontes do solo (MANTOVANI, 2009; MENEGAES, 2015).

Felix (2005) explica que, o Cu possui uma elevada afinidade com a matéria orgânica, e quando em contato, geram complexos solúveis e insolúveis. Através de reações de complexação com ácidos húmicos e fúlvicos, no horizonte superficial do solo, ocorre a retenção do cobre. Quando em baixas concentrações na solução, o metal será imobilizado, principalmente, pelos ácidos húmicos e à medida que os locais de ligação mais fortes vão sendo saturados, uma quantidade maior de Cu será solubilizada pelos ácidos fúlvicos ou por compostos orgânicos mais simples. Em solos ácidos e com baixo teor de matéria orgânica a mobilidade do cobre será afetada.

No Brasil, a maior parte do cultivo de videiras possui viés comercial. No Rio Grande do Sul, segundo a Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural do Estado (2020), a produção de uvas é a mais representativa do país, constituindo cerca de 58% do total colhido. O cultivo da videira no estado possui relevância econômica e social, pois é realizado em sua maior parte pela mão-de-obra familiar em pequenas propriedades (MANTOVANI, 2009).

Pesquisas mostram que, em áreas vitivinícolas da Serra Gaúcha, o uso recorrente de fungicidas cúpricos gerou acúmulo de Cu nestes solos, alcançando valores de até 3.215 mg kg<sup>-1</sup>, ou seja, um incremento de, aproximadamente, 30 kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (CASALI et al., 2008)). Segundo Mantovani (2009), na Europa, o cultivo de videira se dá em áreas maiores e, por consequência, utiliza-se uma grande quantidade de fungicidas à base de cobre para o controle de pragas e doenças que afetam essa espécie. No ano de 2002, na Itália, foram comercializados aproximadamente 4.000 t de fungicidas cúpricos, sendo que o limite para o uso de cobre nesse país é de 30 kg ha<sup>-1</sup> para culturas perenes de 6 a 8 kg ha<sup>-1</sup> para culturas anuais, valores determinados pelo regulamento da agricultura biológica em 2002.

A tolerância das plantas em relação ao excesso de Cu está associada ao acúmulo nas raízes e a uma restrição do transporte do metal até a parte aérea. Um dos efeitos tóxicos do cobre é sobre o crescimento radicular, sendo este considerado seu principal dano e como consequência, ocasiona à má formação do tecido radicular impactando no crescimento e desenvolvimento da planta. Quando o Cu está presente em excesso no solo, isso poderá influenciar fatores fisiológicos das plantas prejudicando diversos processos celulares, por exemplo, o transporte de elétrons na fotossíntese (REILLY; REILLY, 1973; YRUELA, 2005; MANTOVANI, 2009).

De acordo com Yruela (2005), o Cu sempre esteve presente nos processos fisiológicos das plantas, pois é um dos metais essenciais para o desenvolvimento vegetal. No entanto, também é um elemento tóxico, e dessa forma, as plantas evoluem gradualmente diversas estratégias, que abrangem uma rede complexa de vias de transporte do metal, a fim de regular adequadamente a homeostase da planta em função de mudanças ambientais da concentração de Cu. Tais, estratégias evoluem com o intuito de impedir o acúmulo do metal na forma livremente reativa.

Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas ao redor do mundo em relação aos efeitos do Cu quando acumulado em solos vitivinícolas. Essas pesquisas mostram que, algumas espécies de plantas, chamadas de bioacumuladoras, podem auxiliar na diminuição da concentração do Cu no solo ou disponibilizá-lo, evitando assim, seus efeitos tóxicos. As espécies que se destacam por apresentar maior potencial fitorremediador, em sua maioria, são plantas destinadas a adubação verde e/ou cobertura de solo, como aveia-branca e aveia-preta (*Avena* sp.), menta-roxa (*Elsholtzia splendens*) (MACKIE; MÜLLER; KANDELER, 2012), e, espécies ornamentais como cravina (*Dianthus chinensis*) e calla (*Zantedeschia aethiopica*) (MENEGAES, 2015).

Neste contexto, visando minimizar o efeito nocivo do Cu nos solos destas áreas, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial fitorremediador de tagetes (*Tagetes patula*) cultivado em solo contaminado por cobre (Cu), buscando uma agricultura de baixo impacto ambiental.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CONTAMINAÇÃO DO SOLO

A crescente industrialização gera um grave problema de contaminação dos solos e corpos hídricos por compostos químicos perigosos provenientes de atividades agrícolas, industriais, domésticas ou por deposição atmosférica, os quais modificam as características naturais do solo, produzindo impactos e limitando seus usos (MARQUES; AGUIAR; SILVA, 2011). Malavolta et al. (2006) afirmam que, qualquer macro ou micronutriente pode tornar-se tóxico quando em concentração excessiva no tecido vegetal, pois muitos destes micronutrientes e/ou metais pesados considerados tóxicos constituem a fração mineralógica do próprio solo.

Pesquisas realizadas em locais próximos aos complexos industriais têm indicado concentrações elevadas de metais pesados no solo, o que afeta a produtividade, sustentabilidade e biodiversidade dos ecossistemas (TAVARES; OLIVEIRA; SALGADO, 2013). Dessa forma, se faz importante entender, o que de fato ocorre quando esse tipo de alteração acontece no meio ambiente.

Segundo Baker et al. (1994) e Carneiro, Siqueira e Moreira (2001), quando metais pesados se encontram em excesso no solo, podem inibir o crescimento das plantas e causar alterações nas comunidades vegetais. Além disso, podem exercer efeitos adversos sobre os microrganismos do solo, interferindo nas funções do ecossistema, ocasionando consequências ao meio ambiente e à saúde pública.

Quimicamente, pode-se dizer que o termo “Metais Pesados” define um grupo de elementos químicos presentes na tabela periódica com densidade relativa maior que  $5 \text{ g cm}^{-3}$ , ou número atômico maior que 20. Estes, se encontram comumente em rochas e em áreas com adição de rejeitos industriais, biossólidos e alguns agroquímicos em grandes quantidades. Alguns desses elementos são essenciais para várias funções fisiológicas nos seres vivos, como Fe, Cu, Zn e Mn (MALAVOLTA et al., 2006). Os principais metais pesados presentes no solo e nos produtos utilizados na agricultura são Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn e Zn (ABREU et al., 2002).

A Legislação Brasileira define, através do Decreto n. ° 4.954, de 14 de janeiro de 2004, no artigo 2º, inciso XIV, o termo nutriente como:

XIV - nutriente: elemento essencial ou benéfico para o crescimento e produção dos vegetais, assim subdividido:

a) macronutrientes primários: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), expressos nas formas de Nitrogênio (N), Pentóxido de Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e Óxido de Potássio (K<sub>2</sub>O);

b) macronutrientes secundários: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S), expressos nas formas de Cálcio (Ca) ou Óxido de Cálcio (CaO), Magnésio (Mg) ou Óxido de Magnésio (MgO) e Enxofre (S); e

c) micronutrientes: Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Zinco (Zn), Cobalto (Co), Silício (Si) e outros elementos que a pesquisa científica vier a definir, expressos nas suas formas elementares. ”

Ou seja, muitos metais são micronutrientes, elementos estes exigidos em quantidades menores se comparados aos macronutrientes que são elementares para a sobrevivência das plantas (MALAVOLTA et al., 2006). Contudo, concentrações excessivas desses metais resultam em fitotoxicidade (PAIVA et al., 2004).

Segundo Rodrigues, Silva e Guerra (2012), o Cu foi provavelmente o primeiro metal a ser descoberto e trabalhado pelo homem. O emprego deste elemento possibilitou um progresso para as civilizações mais antigas que evoluíram da idade da pedra para a do bronze. Atualmente, ainda é um elemento muito importante no desenvolvimento de novas tecnologias.

O Cu é classificado, na Tabela Periódica dos Elementos, como um metal de transição externa, pertence ao grupo 11, peso atômico (63,6), número atômico (29) e massa específica de 8,96 g cm<sup>-3</sup> (CALLISTER, 2007). Atividades relacionadas à mineração possuem evidente contaminação por cobre. Outra área que também apresenta tal preocupação é a produção de videiras devido ao uso comum de fungicidas à base de Cu. (CHAIGNON; HINSINGER, 2003; NACHTIGALL et al., 2007, SILVA et al., 2014).

De acordo com Adriano (1986), o cobre sofre influência pela alteração de algumas propriedades como o pH, potencial redox, textura, composição mineral (conteúdo e tipos de argilas e de óxidos de Fe, Al e Mn), capacidade de troca de cátions (CTC), quantidade e tipo de componentes orgânicos no solo e na solução, presença de outros metais pesados, temperatura do solo, conteúdo de água, entre outros fatores que afetam a atividade microbiana. No solo, a adsorção é o principal mecanismo para o entendimento da disponibilidade do cobre, pois indica a solubilidade, a mobilidade e a disponibilidade do contaminante para os organismos vivos (MC LAREN; CRAWFORD, 1973; SANTANA, 2018).

A disponibilidade do cobre para as plantas é afetada pelo pH do meio, tendendo a diminuir quando este aumenta. É possível sugerir também que este metal formará hidróxidos e

precipitará quando colocado sob elevado valor de pH. Dessa forma, entende-se que a biodisponibilidade do cobre é afetada direta e indiretamente por altos valores de pH e pela presença de matéria orgânica. Isto porque a matéria orgânica possui características específicas que favorecem a ligação com o cobre, como possuir elevada superfície específica, carga líquida negativa dependente do pH do meio e capacidade de formar quelatos orgânicos (SIMÃO; SIQUEIRA, 2001).

A fração de cobre que realmente importa à vida vegetal é chamada disponível e se dá através de íons metálicos ( $\text{Cu}^{2+}$ ) na solução do solo. A disponibilidade desses íons é influenciada por diversos fatores, alguns já citados anteriormente, como CTC, textura, composição do solo e competição por outros cátions pelos sítios de absorção. A ligação do cobre com a matéria orgânica ocorre, principalmente, pelos ácidos húmicos e fúlvicos, que formam complexos estáveis com o metal. A força dessa ligação também varia com o pH, sendo diretamente proporcional ao grau de humificação do solo e diminuindo com o aumento da quantidade de cobre no meio (MARTINS, 2005).

No geral, a concentração de metais no solo é determinada pelas reações de adsorção e dessorção, as quais são influenciadas, principalmente, pela acidez e pelo potencial redox do solo (MOREIRA, 2004). Casagrande et al. (2004) afirmam que o fenômeno de dessorção está diretamente ligado à disponibilidade de nutrientes na solução do solo para as plantas. A dessorção de metais é favorecida pela diminuição do pH, pois os íons de  $\text{H}^+$  podem deslocar uma fração dos metais adsorvidos em forma não trocável (McBRIDE, 1989).

Nas plantas, o cobre em concentração elevada na solução do solo, pode proporcionar alterações drásticas nos tecidos vegetais em nível bioquímico e fisiológico. Podendo resultar em perdas consideráveis para o potencial produtivo das plantas, prejudicando seu crescimento, provocando necrose foliar, clorose, redução do comprimento das raízes. Além disso, pode alterar a produção de importantes pigmentos fotossintéticos, reduzindo assim, a absorção de nutrientes essenciais para as plantas (SANTANA, 2018; SANTOS, et al., 2004).

## 2.2 FITORREMEDIAÇÃO

A remediação consiste na aplicação de tecnologias voltadas à degradação, imobilização e/ou redução de poluentes para níveis aceitáveis, técnicas estas que podem ser aplicadas separadas ou em conjunto (EUGRIS, 2008). Existem diversos mecanismos utilizados na remoção de contaminantes no solo, ar e água, podendo ser aplicados *in situ*, ou seja, no próprio local contaminado, ou *ex situ*, que ocorrem fora do local contaminado. Os exemplos mais

básicos de processos de remediação são: o bombeamento e tratamento, a recuperação de fase livre e a extração multifásica, comumente aplicadas no tratamento das águas subterrâneas. Já a extração de vapores, a remoção de solo/resíduo e a biorremediação, destacam-se como técnicas mais utilizadas para o solo. No meio técnico sabe-se que a opção mais eficiente em tecnologia e custos, será sempre a remediação *in situ* (SANTOS, UNGARI, SANTOS, 2008).

Mejía et al. (2014) relatam que, processos que ocorrem *ex situ* requerem investimentos iniciais de alto custo, além da maior probabilidade de contaminar outras áreas durante o transporte e destinação do material contaminado. Dessa forma, o desenvolvimento de técnicas relacionadas à remediação *in situ* estabelece novas alternativas para tratamento de áreas afetadas por substâncias de origem orgânica e inorgânica, como por exemplo, os processos biológicos de biorremediação.

A biorremediação pode ocorrer por degradação enzimática, remediação microbiana e fitorremediação. É de extrema importância para o meio a relação entre bactérias e a vida vegetal no processo de degradação de contaminantes. As raízes das plantas influenciam na atividade dos microrganismos na biodegradação, adicionando eficiência ao processo de remediação, quando há ausência de vegetação, pode ocorrer a limitação da atividade microbiana e, por consequência, interferir na remoção do contaminante (CORGIÉ; BEGUIRISTAIN; EYVAL, 2004; MEJÍA et al., 2014).

Andrade, Tavares e Mahler (2007) definem fitorremediação como um processo biológico realizado por plantas como agentes de remediação. Estas apresentam tolerância e capacidade para sobreviver em condições extremas de contaminação. Podem ainda, atuar na degradação, indisponibilização e/ou redução dos teores do contaminante a níveis seguros para o meio ambiente e à saúde humana.

A fitorremediação tem se tornando uma opção viável para a remoção da contaminação do solo devido às diversas vantagens na sua aplicação, operação e manutenção. Estudos sobre essa técnica demonstram que, a remoção, imobilização, biodegradação e bioacumulação de contaminantes através de plantas, melhoram a fertilidade do solo. Destaca-se também, o baixo custo quando comparada a técnicas convencionais de remediação e por possuir um caráter menos invasivo e impactante para a área (ESTRELA; CHAVES; SILVA, 2018).

No entanto, algumas desvantagens devem ser consideradas quando se fala do processo de fitorremediação, pois existem detalhes que precisam ser ponderados quando se pensa em sua aplicação. Esta técnica necessita um tempo maior que métodos químicos ou físicos para se alcançar resultados visíveis, devido ao tempo de crescimento da planta e possíveis perdas dessa

vegetação por eventos naturais ou antrópicos, como fogo, geada, seca, entre outros (ESTRELA; CHAVES; SILVA, 2018).

É preciso se atentar para que o intervalo de toxicidade do contaminante não ultrapasse os limites de tolerância da espécie escolhida. Deve-se considerar que a área se tornará indisponível para humanos e animais durante todo o processo da fitorremediação. Se faz importante também, analisar o risco deste contaminante entrar de alguma forma na cadeia alimentar do ecossistema local, através da ingestão das plantas por algum ser vivo (MENEGAES, 2015).

O processo de fitorremediação pode ocorrer através de diversos mecanismos que dependerão de adaptações biogeoquímicas do sistema solo-planta-contaminante. Este poderá ser diretamente influenciado pelas características específicas da planta, do solo e do clima local, além das características do próprio contaminante e sua concentração (SANTANA, 2018). Dessa forma, autores como McPherson (2007), Wenzel (2008) e Mejía (2014) explicam os principais mecanismos de interação planta-contaminante na fitorremediação como:

- **Fitodegradação:** Também conhecida como fitotransformação, onde a planta utiliza seu próprio metabolismo e os microrganismos presentes na rizosfera para realizar a quebra do contaminante, podendo acontecer internamente através de processos metabólicos ou externamente por enzimas específicas produzidas pela própria planta.
- **Fitoestabilização:** É um processo de contenção, no qual ocorre a estabilização mecânica no local para reduzir a transferência do poluente para outros compartimentos do solo, por perdas via erosão ou lixiviação. O processo de estabilização depende da incorporação do composto na lignina ou no húmus do solo e na sua precipitação na rizosfera da planta por meio de ligações covalentes irreversíveis.
- **Fitovolatilização:** através da planta ocorre a movimentação do contaminante para fora do solo, sedimento, lodo ou água para a atmosfera. Este processo utiliza a capacidade metabólica de algumas plantas em associação com microrganismos da rizosfera para transformar o poluente em um composto volátil e liberá-lo para a atmosfera.
- **Fitoextração:** também chamada de fitoacumulação, utiliza a característica de algumas plantas de acumular contaminantes em seus tecidos (plantas hiperacumuladoras). Envolve a absorção do poluente através das raízes, que será posteriormente translocado para as folhas através do xilema. Após esse processo de

acumulação, deve ser realizada a colheita das plantas com o objetivo de evitar possíveis contaminações do ser humano e da biota local e passivos ambientais decorrentes do eventual retorno do contaminante ao solo.

Cada um desses mecanismos possui características específicas que limitam ou potencializam sua utilização, necessitando assim, avaliar previamente as características do local contaminado e o contaminante específico encontrado na área. As aplicações dessas técnicas não são exclusivas, pelo contrário, podem ocorrer simultaneamente e melhorar a eficiência da fitorremediação (MCPHERSON, 2007).

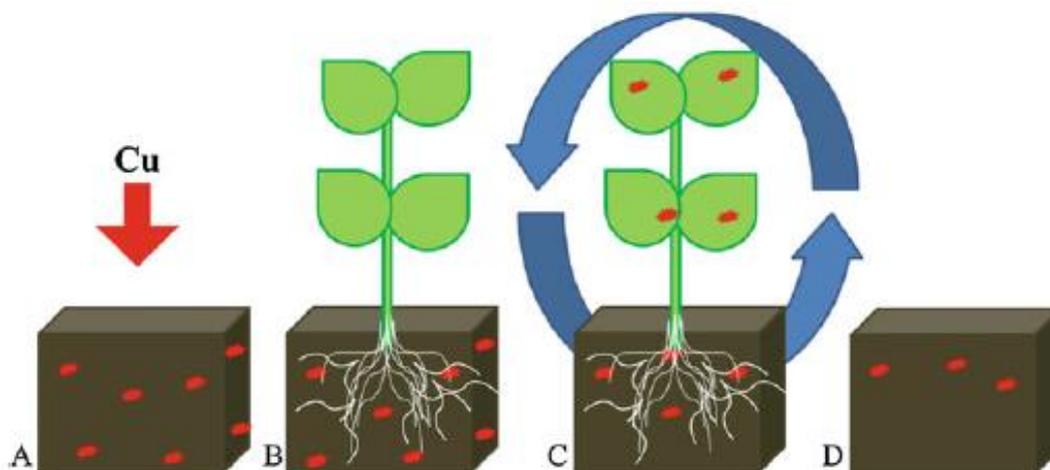
Diferentes plantas desenvolveram mecanismos de tolerância associados à capacidade de degradar, de extrair, de conter ou imobilizar íons metálicos, podendo ser utilizadas para a fitorremediação de metais pesados (AMADO; CHAVES FILHO, 2015).

A fitoextração é um dos principais mecanismos de remoção de metais pesados do solo pelas plantas. As raízes absorvem o metal, neste caso o cobre, e o transportam para a parte aérea da planta. Para que esse processo ocorra, é necessário que a planta seja tolerante ao cobre, que possua uma taxa de crescimento rápida, um sistema radicular abundante, que acumule na parte aérea grandes quantidades do metal e tenha a capacidade de produzir alta biomassa em campo. Além destas características intrínsecas à espécie vegetal, é importante que o solo não apresente altos níveis de contaminação (SANTANA, 2018).

Dessa forma, a biodisponibilidade do cobre no solo para extração por plantas capazes de realizar este processo contribui para a recuperação de áreas contaminadas. No entanto, para realizar a descontaminação é necessário selecionar plantas que são capazes de fazê-la, o que depende de pesquisas envolvendo diversas áreas de conhecimento, sendo necessário trazer uma visão multidisciplinar da química, biologia, engenharia ambiental, ciência do solo, engenharia agrícola, entre outros (MENEGAES, 2015).

### **2.2.1 Plantas fitorremediadoras**

Na tentativa de conter os efeitos nocivos de Cu acumulado no solo, como ocorre das áreas vitivinícolas, por exemplo, diversos pesquisadores ao redor do mundo vêm utilizando plantas para auxiliar na ciclagem natural desse elemento, pela técnica de fitorremediação (Figura 1). Uma tecnologia efetiva e não destrutiva que visa o tratamento de solos contaminados através de plantas, apresentando baixo impacto ambiental e grande aceitação pública (MENEGAES et al., 2020).



**Figura 1.** Processo simplificado da técnica de fitorremediação do solo. (A) acúmulo do contaminante no solo, por diferentes fontes. (B) cultivo de plantas em solos contaminados. (C) ciclagem do contaminante no sistema solo-planta. (D) solo fitorremediado. Fonte: Melo et al. (2019).

Diversas espécies de plantas vêm sendo testadas para a aplicação desta técnica, com o intuito de entender quais possuem potencial de mitigar os efeitos de contaminantes no solo. Espécies como barbatimão (*Stryphnodendron polyphyllum*) e cássia (*Cassia multijuga*) foram testadas para diferentes doses de cobre e observou-se que a qualidade das mudas de cássia não foi alterada, enquanto as de barbatimão mantiveram a qualidade das mudas em solos contaminados com até  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  de cobre (SILVA et al., 2014). Outras espécies ainda foram testadas e possuem um bom potencial para fitorremediação do cobre como sorgo (*Sorghum bicolor*), milheto (*Pennisetum glaucum*), crotalária (*Crotalaria juncea*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), onde a última apresentou um maior potencial de transporte do metal para a parte aérea (ZANCHETA et al., 2011). O acúmulo preferencial de Cu nas raízes, por mais que possa contribuir para a resistência das plantas ao metal e diminua o transporte para a parte aérea, pode ser um limitante para o emprego da fitoextração. Dessa forma, como o feijão-de-porco teve maior concentração, acúmulo e transporte de Cu para a parte aérea, pode ser considerado uma espécie com potencial para ser aplicada em programas de fitorremediação para o Cu (ZANCHETA et al., 2011).

Tendo em vista, a diversidade do ramo agrícola e o potencial de plantas na remediação de cobre, essa se torna uma boa alternativa no sentido econômico e ambiental, para o tratamento de áreas contaminadas, uma vez que as espécies utilizadas não entrarão na cadeia trófica de animais como alimentos.

### 2.2.2 *Tagetes patula* L.

O gênero *Tagetes* possui mais de 50 espécies pertencentes à família Asteraceae, com espécies ornamentais cultivadas anualmente no mundo todo. As espécies dessa família que mais se destacam para este fim são: *T. tenuifolia*, *T. patula*, *T. lunata* e *T. erecta*. Essas e outras espécies do gênero são cultivadas mundialmente e conhecidas como “marigolds” (CARNEIRO; RITTER, 2018).

A espécie *T. patula*, conhecida popularmente como Cravo de Defunto ou Tagetes Anão, é originada do México, suas características botânicas são aproveitadas na jardinagem e paisagismo, bem como no comércio de flores. Além disso, o Tagetes Anão apresenta propriedades repelentes e inseticida natural, utilizada como planta companheira para livrar culturas da ocorrência de pragas e nematoides (CARVALHO et al., 2013; MUNHOZ et al., 2012; PREVIERO et al., 2012).

A *T. patula* (Figura 2), em específico, se destaca por ser uma planta de curto ciclo e fácil cultivo, é uma espécie anual que se adapta bem ao clima tropical e a alta insolação. É característica da planta ser ramificadas, com capítulos duplos e flores com coloração variando do amarelo, marrom avermelhado e laranja, podendo apresentar cor única ou multicolorida. Sua propagação é feita através de sementes e sua altura varia de 25 a 40 cm (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2015).

Além da sua evidente importância ornamental, muitos trabalhos de pesquisa sobre a espécie testam ou descrevem as inúmeras aplicações e usos de *T. patula* na medicina popular, principalmente na cultura mexicana, contra diarreia, vômito, cólica, inflamações, dores gastrointestinais e entre outras (CARNEIRO; RITTER, 2018). Segundo Evangelista et al. (2015), essa espécie também é utilizada na medicina tradicional os sintomas da dengue, doença viral que frequentemente apresenta febre, dores nos ossos ou articulações, cabeça, músculos, entre outros (OMS, 2001).



**Figura 2.** Desenho botânico de (A) e fotografia (B) *Tagetes patula* L.

Fonte: A - [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tagetes\\_patula\\_Blanco2.404b.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tagetes_patula_Blanco2.404b.png)

B - <https://stock.adobe.com/sk/search/images?k=%22tagetes+patula%22>

A espécie *T. patula* também é conhecida pelas suas propriedades terapêuticas. As folhas cozidas são indicadas no tratamento de ataques epiléticos, afecções hepáticas, febre e bronquite. Utilizadas também como anti-helmíntico e antiespasmódico. Infecções na pele podem ser tratadas com as flores cozidas de tagetes (SOUZA; AVANCINI; WIEST, 2000).

Outra área de pesquisa que também tem bons resultados com tagetes é no controle de pragas, fitonematoides e microorganismos fitoinfestantes. Foi verificado por Silveira et al. (2009) que o tagetes gera um bom resultado quando planta companheira em uma plantação de cebolas, uma vez que, fileiras de tagetes plantadas próximas ao plantio principal resultou em maior diversidade e aumento de inimigos naturais que atacam a plantação de cebolas. Encontrando evidências que a faixa da planta companheira apoia presas hospedeiros alternativos que são os componentes principais do controle biológico de conservação. O mesmo foi verificado em uma plantação de pepinos (*Cucumis sativus*) (MERTZ, 2009) e em uma plantação orgânica de alface (*Lactuca sativa*) (ZACHÉ, 2009).

Em relação à fitorremediação do cobre, não foram encontradas pesquisas testando a espécie *Tagetes patula* para este fim. No entanto, reconhece-se as diversas aplicabilidades dessa planta e tendo em vista a possibilidade de cultivo anual, sua fácil propagação e boa adaptação às situações ambientais adversas. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desenvolvimento e o potencial de extração do cobre com o uso da espécie *Tagetes*

*patula*, conhecida comercialmente no Brasil como “Cravo de defunto” e nos países de língua inglesa como “Marigold” ou “African Marigold” (EVANGELISTA *et al.*, 2015).

## REFERÊNCIAS

- AMADO, S.; CHAVES FILHO, J.T. Fitorremediação: uma alternativa sustentável para remediação de solos contaminados por metais pesados. **Natureza on Line**, v.13, n.4, p.158-164, 2015.
- ANDRADE, J. C. M.; TAVARES, S. R.; MAHLER, C. F. **Fitorremediação: O uso de plantas na melhoria da qualidade ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 176 p.
- BAKER, A. J. M. et al. The possibility of *in situ* heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal-accumulating plants. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 11, p. 41-49, 1994.
- CALLISTER Jr., W. **Material Science and Engineering: An Introduction**. v.7. n.3. **John Wiley & Sons**. Nova York, 2007.
- CARNEIRO, C. R.; RITTER, M. R. A tribo Tageteae (Asteraceae) no sul do Brasil. **Iheringia - Serie Botanica**, [s. l.], v. 73, n. 2, p. 114–134, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21826/2446-8231201873204>.
- CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.. Estabelecimento de plantas herbáceas em solo com contaminação de metais pesados e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 36, n. 12, p. 1443-1452, dez. 2001. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2001001200001](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2001001200001). Acesso em: 04 jan. 2021.
- CARVALHO, L. M. et al. Efeito do uso de *Tagetes erecta* e *Calopogonium mucunoides* na ocorrência de pragas e inimigos naturais em cultivo de roseira. **Cadernos de Agroecologia**. v. 8, n. 2, 2013
- CASAGRANDE, J. C.; JORDÃO, C. B.; ALLEONI L. R. F.; CAMARGO, O. A. Copper desorption in a variable electrical charge soil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 2, p. 196-202, mar. /abr. 2004.
- CASALI, C. A. *et al.* . FORMAS E DESSORÇÃO DE COBRE EM SOLOS CULTIVADOS COM VIDEIRA NA SERRA GAÚCHA DO RIO GRANDE DO SUL. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], n. 32, p. 1479-1487, abr. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/5XDQTTQSHTPFfxnbKjg8p8z/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 ago. 2022.
- CHAIGNON, V.; HINSINGER, P.. A Biotest for Evaluating Copper Bioavailability to Plants in a Contaminated Soil. **Journal of Environmental Quality**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 824-833. maio, 2003. Wiley. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2003.8240>. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/jeq2003.8240>. Acesso em: 28 ago. 2022.

CORGIE, S. C.; BEGUIRISTAIN, T.; LEYVAL, C. Spatial distribution of bacterial communities and phenanthrene degradation in the rhizosphere of *Lolium perenne* L. **Applied and Environmental Microbiology**, Estados Unidos de América, v. 70, n. 06, p. 3552-3557, 2004.

ESTRELA, A. M.; CHAVES, L. H. G.; SILVA, L. N. Fitorremediação como solução para solos contaminados por metais pesados. **Revista Ceuma Perspectivas**, [S. L], v. 31, n. 1, p. 160-172, jan. /jul. 2018. Disponível em: <http://www.ceuma.br/portalderevistas/index.php/RCCP/article/view/191>. Acesso em: 05 maio 2022.

EUGRIS – European Information System Soil and Groundwater. Consulta geral a homepage. 2021. Disponível em: <http://www.eugris.info>. Acesso em 03 mar. 2021.

FELIX, F. F. **Comportamento do Cobre no Solo Aplicado com calda bordalesa**. 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrônoma, USP - Piracicaba, 2005. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-09092005-143249/publico/FabianaFelix.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2022.

GONÇALVES-JÚNIOR, A. C.; CARVALHO, E. A.; COELHO, G. F.; SCHWANTES, D.; NACKE, H.; MORAES, A. J. Disponibilidade de nutrientes e elementos potencial- mente tóxicos para as plantas de hissopo em solo arenoso sob adubação mineral e orgânica. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 12, n. 2, p. 105-114, 2013. DOI: 10.1818/sap.v12i2.6451

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. DOI: 10.1016/j.envpol.2012.03.023

McLAREN, R.G.; CRAWFORD, D.V. Studies on soil copper. I. The fractionation of copper in soils. **Journal of Soil Science**, v.24, p.172-181, 1973.

MALAVOLTA, E.; MORAES, M F; LAVRES JUNIOR, José; MALAVOLTA, M. Micronutrientes e metais pesados: essencialidade e toxidez. In: MALAVOLTA, E.; MORAES, M F; LAVRES JUNIOR, José; MALAVOLTA, M. **Ciência, agricultura e sociedade**, [s.l.], 2006.

MANTOVANI, A. **COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE SOLOS CONTAMINADOS POR COBRE**: formas, sorção e efeito no desenvolvimento de espécies vegetais. 2009. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17085/000710287.pdf?s>. Acesso em: 10 mar. 2022.

MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C.; SILVA, J. J. L. S.. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 35, n. 1, p. 1-11, fev. 2011. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832011000100001&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832011000100001&script=sci_arttext&tlng=pt). Acesso em: 04 jan. 2021.

MARTINS, S. C. **Adsorção de cobre em solos sob aplicação de esgoto e calda bordalesa**. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiros", Piracicaba, 2005. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-09092005-154045/publico/SusianMartins.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2021.

McBRIDE, M. B. Reactions of heavy and transition metal solubility in soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 10, p. 1-56, 1989.

MCPHERSON, A. **Monitoring Phytoremediation of Petroleum Hydrocarbon Contaminated Soils in a Closed and Controlled Environment**. 2007. 206 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engineering Civil, University of Saskatchewan, Saskatoon, 2007. Disponível em: [https://harvest.usask.ca/bitstream/handle/10388/etd-09272007-093304/mcpherson\\_a.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://harvest.usask.ca/bitstream/handle/10388/etd-09272007-093304/mcpherson_a.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 04 mar. 2021.

MEJÍA, P.; ANDREOLI, F.; ANDREOLI, C.; SERRAT, B. Metodologia para Seleção de Técnica de Fitorremediação em Áreas Contaminadas. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**. [s. l.], v. 18, n. 31, p. 97-104, 31 mar. 2014.

MELO, A. S. *et al.* QUALIDADE NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO POR WETLAND. **INOVAE – Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation**, v. 7, n. 1, p. 20-39. 2019. Disponível em: <http://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/1848>. Acesso em: 30 mai. 2022.

MENEGAES, J. F. *et al.* Phytoremediator development and capacity of flower bearing species as a response to excess of copper in the soil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 1163–1183, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020V13N3P1163-1183>. Acesso em: 05 jan. 2021.

MERTZ, N. R. **Controle biológico do pulgão *Aphis gossypii* glover (Hemiptera: Aphidae) em cultivo protegido de pepino com cravo-de-defunto (*Tagetes patula*)**. 2009. 54 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Entomologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/2764>. Acesso em: 06 mar. 2022.

Ministério da Saúde. **Monografia da Espécie *Tagetes minuta* L. (Cravo de defunto)**. Ministério da Saúde e Anvisa. Brasília, 2015.

MOREIRA, C. S. **Adsorção competitiva de Cádmio, Cobre, Níquel e Zinco em solos**. 2004. 120 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Escola de Ensino Superior "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP, 2004. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-11112004-144415/publico/cindy.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2021.

MUNHOZ, V. M. *et al.* Estudo Farmacognóstico de Flores de *Tagetes patula* L. (Asteraceae) **Revista Fitos**, v. 7, n. 04 2012.

MURAYAMA, S. **Fruticultura**. 2 eds. Campinas: Instituto de Ensino Agrícola, 1998. 385p.

NACHTIGALL, Gilmar Ribeiro *et al.* Formas de cobre em solos de vinhedos em função do pH e da adição de cama-de-frango. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 42, n. 3, p. 427-434, mar. 2007. Fap UNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2007000300017>. Acesso em: 05 jun. 2022.

OMS, **Dengue hemorrágica**: diagnóstico, tratamento, prevenção e controle. 2 ed. São Paulo: Santos, p. 84, 2001.

REVIERO, C. A., et al. **Receita de plantas com propriedades inseticidas no controle de pragas**. Palmas: CEULP/ULBRA, 2012

RODRIGUES, M. A.; SILVA, P. P.; GUERRA, W.. Cobre. **Química Nova na Escola**, [s.l.], v. 34, n. 3, p. 161-162, jul. 2012. Disponível em: [http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc34\\_3/10-EQ-37-10.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc34_3/10-EQ-37-10.pdf). Acesso em: 05 jan. 2021.

SANTANA, N. A.. **Fitorremediação do cobre em vinhedos**: efeito do fungo micorrízico arbuscular, minhocas e vermicomposto. 2018. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018. Disponível em: [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15734/TES\\_PPGCS\\_2018\\_SANTANA\\_NATIELO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15734/TES_PPGCS_2018_SANTANA_NATIELO.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 06 jan. 2021.

SANTOS, E.; UNGARI, H. C. N.; SANTOS, M. B. dos. **Principais técnicas de remediação e gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos no Estado de São Paulo**. 2008. 129 f. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) - Universidade Estadual de Campinas - Unicamp, Campinas, 2008. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2016/06/Edson\\_Helio\\_Matilde.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2016/06/Edson_Helio_Matilde.pdf). Acesso em: 03 mar. 2021.

SANTOS, H. P. et al. Comportamento Fisiológico de Plantas de Aveia (*Avena strigosa*) em Solos com Excesso de Cobre. **Embrapa**, Bento Gonçalves, v. 1, n. 49, p. 1-8, 2004. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPUV/5743/1/cot049.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2021.

SILVA, R. F. *et al.* Crescimento e qualidade de mudas de Timbó e Dedaleiro cultivadas em solo contaminado por cobre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 16, n. 8, p. 881-886, ago. 2012. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662012000800010&script=sci\\_arttext&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662012000800010&script=sci_arttext&tlng=pt). Acesso em: 05 jan. 2021.

SILVA, R. F. da *et al.* EFEITO DO COBRE SOBRE O CRESCIMENTO E QUALIDADE DE MUDAS DE *Stryphnodendron polyphyllum* Mart. E *Cassia multijuga* Rich. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 717-725, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509815730>. Acesso em: 29 mar. 2022.

SILVEIRA, L. C. P. *et al.* Marigold (*Tagetes patula* L.) as an attractive crop to natural enemies in onion fields. **Scientia Agrícola**, [s. l.], v. 66, n. 6, p. 780-787, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000600009>. Acesso em: 7 abr. 2022.

SIMÃO, J. B. P.; SIQUEIRA, J. O. Solos contaminados por metais pesados: características, implicações e remediação. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 210, p. 18-26, 2001.

SOUZA, C. A. S. de; AVANCINI, C. A. M.; WIEST, J. M. Atividade antimicrobiana de *Tagetes minuta* L. - Compositae (Chinchilho) frente a bactérias Gram-positivas e Gram-negativas. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, [s. l.], v. 37, n. 6, p. 429-433, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-95962000000600001>. Acesso em: 4 mar. 2022.

TAVARES, S. R. L.; OLIVEIRA, S. A.; SALGADO, C. M.. Avaliação de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados. **Holos**, [s.l.], v. 5, n. 29, p. 80-97, 4 dez. 2013. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1852>. Acesso em: 04 jan. 2021.

WENZEL, W W. Rhizosphere processes and management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils. **Plant And Soil**, [s.l.], v. 321, n. 1-2, p. 385-408, 11 jul. 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-008-9686-1>. Acesso em: 04 mar. 2021.

YRUELA, I. Copper in plants. **Brazilian Journal Of Plant Physiology**, [s.l.], v. 17, n. 1, p. 145-156, mar. 2005. Disponível em: [https://www-scielo-br.translate.google.com/translate/a/F43kT7jYFPygVtd86sLGBYx/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=pt&\\_x\\_tr\\_hl=pt-BR&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://www-scielo-br.translate.google.com/translate/a/F43kT7jYFPygVtd86sLGBYx/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=sc). Acesso em: 16 mar. 2022.

ZACHÉ, B. **MANEJO DE BIODIVERSIDADE EM CULTIVO ORGÂNICO DE ALFACE (*Lactuca sativa*) ATRAVÉS DO USO DE CRAVO-DE-DEFUNTO (*Tagetes patula*) COMO PLANTA ATRATIVA**. 2009. 60 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009. Disponível em: <http://repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/980>. Acesso em: 03 mai. 2021.

ZANCHETA, A. C. F. *et al.* Fitoextração de cobre por espécies de plantas cultivadas em solução nutritiva. **Bragantia**, [s. l.], v. 70, n. 4, p. 737-744, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000400002>. Acesso em: 29 mar. 2022.

## CAPÍTULO 1

Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Sanitária e ambiental  
Universidade Federal de Santa Maria

### **POTENCIAL FITORREMEIADOR DE TAGETES (*Tagetes patula* L.) CULTIVADO EM SOLO CONTAMINADO POR COBRE**

AUTORA: LEANDRA DE CARVALHO LACERDA  
ORIENTADOR: ALEXANDRE SWAROWSKY  
Santa Maria, setembro de 2022

#### **Resumo**

No cultivo de flores e plantas ornamentais em vaso a qualidade da folhagem é um dos parâmetros comerciais mais valorizados, sendo as condições de solo ou substrato fundamentais para o sucesso deste cultivo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento foliar de plantas de tagetes (*Tagetes patula* L.) cultivadas em diferentes teores de cobre (Cu) e pH do solo. O experimento ocorreu na casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia, no ano de 2021, utilizando delineamento experimental inteiramente casualizado, com fatorial 5x2 (cinco teores adicionados de Cu no solo: nas quantidades de zero (sem adição), 250, 500 e 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de sulfato de cobre e duas condições de pH do solo: pH 5,5 sem adição de calcário (de acordo com o laudo da análise do solo) e pH 6,0 com adição de calcário PRNT 76%), com cinco repetições. O solo utilizado foi coletado em área vitivinícola do município de Santa Maria, RS, na profundidade de 0-20 cm (Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico típico). As sementes utilizadas foram oriundas do cultivo na área experimental do Setor de Floricultura, na safra 2019/2020. As mudas foram transplantadas 15 dias após a semeadura (DAS) para vasos plásticos, preenchidos com solo supracitado, com volume 1,3 L, 14,5 cm de diâmetro, 12 cm de altura, com distribuição de 10 vasos m<sup>-2</sup>. Foram avaliados os números, as larguras (L) e os comprimentos (C) das folhas, num intervalo de três entre os dias 20 a 38 dias após o transplante (DAT). A área foliar foi calculada pela fórmula [AF: (C x L) x k], onde o k assume o valor de 0,44, devido os recortes das folhas. Verificou-se, aos 38 DAT, que houve interação positiva no sistema solo-planta-vaso, apresentando desenvolvimento harmônico da parte aérea pelo tamanho do vaso. Observou-se que em pH 5,5 as médias das áreas foliares (CV 4,49%) foram de 13,5; 35,6; 29,3; 14,8 e 12,3 cm<sup>2</sup> para 0, 250, 500 e 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, respectivamente, com média de números de folhas de 14; 31; 33; 20 e 20 (CV 5,10%) na mesma sequência. Em pH 6,0 as médias das áreas foliares (CV 60,7%) foram de 23,3; 40,5; 34,6; 21,5 e 29,0 cm<sup>2</sup> para 0, 250, 500 e 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, respectivamente, com média de números de folhas de 16; 30; 44; 37 e 35 (CV 4,79%), nesta ordem. Entre as condições de pH do solo, as áreas foliares se desenvolveram mais em pH 6,0, comprovado pelo maior número de folhas. Entre os teores de Cu no solo, observou-se que a plantas sobre 250 mg kg<sup>-1</sup> de Cu obtiveram melhores desenvolvimentos foliares para ambas as condições de pH, em relação aos demais teores. O desenvolvimento foliar das plantas de tagetes cultivados em vaso foram afetadas pelos diferentes teores de Cu e pH do solo.

**Palavras-chave:** fitorremediação; solo; cobre; tagetes.

Course completion paper in Sanitary and Environmental Engineering  
Federal University of Santa Maria

**PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF TAGETES (*Tagetes patula* L.)  
GROWN IN COPPER CONTAMINATED SOIL**

AUTHOR: LEANDRA DE CARVALHO LACERDA  
SUPERVISOR: ALEXANDRE SWAROWSKY  
Santa Maria, september, 2022.

**Abstract**

In the cultivation of flowers and ornamental plants in pots, the leaf quality is one of the most valued commercial parameters, being the soil or substrate conditions fundamental to the success of this cultivation. Thus, the objective of this work was to evaluate the foliar development of tagetes (*Tagetes patula* L.) plants grown in different copper (Cu) contents and soil pH. The experiment took place in the greenhouse of the Department of Plant Science, in the year 2021, using an experimental design entirely randomized, with a 5x2 factorial design (five added levels of Cu in the soil: in the amounts of zero (without addition), 250, 500 and 750 and 1,000 mg kg<sup>-1</sup> of copper sulfate and two conditions of soil pH: pH 5.5 without the addition of lime (according to the report of the soil analysis) and pH 6.0 with the addition of lime PRNT 76%), with five repetitions. The soil used was collected from a viticultural area in the municipality of Santa Maria, RS, at a depth of 0-20 cm. The seeds used came from the cultivation in the experimental area of the Floriculture Sector, in the 2019/2020 harvest. The seedlings were transplanted 15 days after sowing (DAS) plastic pots, filled with the aforementioned soil, with a volume of 1.3 L, 14.5 cm in diameter, 12 cm in height, with a distribution of 10 pots m<sup>-2</sup>. The numbers, widths (L) and lengths (C) of leaves were evaluated at an interval of three between days 20 and 38 days after transplanting (DAT). The leaf area was calculated by the formula [AF: (C x L) x k], where the k assumes the value of 0.44, due to the leaf clippings. It was verified, at 38 DAT, that there was a positive interaction in the soil-plant-vase system, presenting harmonic development of the aerial part by the size of the vase. It was observed that at pH 5.5 the mean leaf areas (CV 4.49%) were 13.5; 35.6; 29.3; 14.8 and 12.3 cm<sup>2</sup> for 0, 250, 500 and 750 and 1,000 mg kg<sup>-1</sup> of Cu, respectively, with mean leaf numbers of 14; 31; 33; 20 and 20 (CV 5.10%) in the same sequence. At pH 6.0 the mean leaf areas (CV 60.7%) were 23.3; 40.5; 34.6; 21.5 and 29.0 cm<sup>2</sup> for 0, 250, 500 and 750 and 1,000 mg kg<sup>-1</sup> Cu, respectively, with mean leaf numbers of 16; 30; 44; 37 and 35 (CV 4.79%) in this order. Among the soil pH conditions, the leaf areas developed more at pH 6.0, evidenced by the higher leaf numbers. Among the levels of Cu in the soil, it was observed that plants over 250 mg kg<sup>-1</sup> of Cu obtained better leaf development for both conditions of pH, in relation to the other levels. The foliar development of pot-grown tagetes plants were affected by different Cu contents and soil pH.

**Keywords:** Phytoremediation; soil; copper; tagetes

## 1 INTRODUÇÃO

O surgimento de novas tecnologias para a produção agrícola enfrenta constantemente o desafio de gerar um desenvolvimento sustentável e aumentar a demanda de produção. O controle de pragas através de agrotóxicos assume um papel importante nos diferentes sistemas de produção. Todavia, o uso indiscriminado destes compostos químicos vem gerando impactos ambientais que afetam o sistema solo-água-plantas-atmosfera, como ocorre na produção vitícola.

Conforme Murayama (1980) e Mantovani (2009), entre as doenças mais incidentes em videiras (*Vitis spp.*), uma das mais importantes é o mofo ou míldio (*Plasmopara viticola*). A calda bordalesa, uma solução de sulfato de cobre com óxido de cálcio, diluídos em água  $[(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) + \text{Ca}(\text{OH})_2]$ , é comumente utilizada no combate a esse tipo de doença atuando como fungicida e bactericida. Entretanto, o uso continuado de sulfato de cobre em vinhedos promove o acúmulo do metal na superfície dos solos, causando impacto negativo no desenvolvimento e na produção de massa seca das plantas de cobertura, podendo também, causar toxidez às plantas de cobertura cultivadas entre videiras, dependendo das propriedades do solo e da espécie cultivada. O Cu tem a característica de se bioacumular com o tempo e apresentar baixa mobilidade, afetando sua distribuição e dessorção nos horizontes do solo (MANTOVANI, 2009; MENEGAES, 2015).

As plantas podem ter seu desenvolvimento prejudicado quando o solo apresenta deficiências nutricionais, sendo importante manejar adequadamente o sistema solo-plantas. Incluindo práticas agrícolas de manejo como adubação verde, fertilizantes minerais e orgânicos, entre outros (GONÇALVES JUNIOR et al., 2013). Yruela (2005) afirma que, o Cu está presente nos processos fisiológicos das plantas como um dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetal. Entretanto, pode se tornar um elemento tóxico dependendo da dosagem. Dessa forma, as plantas desenvolveram diversas estratégias, abrangendo uma rede complexa de vias de transporte do metal, com o intuito de regular a homeostase da planta em função de mudanças ambientais da concentração de Cu. Tais estratégias evoluem com a fim de impedir o acúmulo do metal na forma livre e reativa.

O cobre possui uma elevada afinidade com a matéria orgânica, quando em contato, geram complexos solúveis e insolúveis. No horizonte superficial do solo, por meio de reações de complexação com ácidos húmicos e fúlvicos, ocorre a retenção do Cu. Quando em baixas concentrações na solução, o metal será imobilizado, principalmente, pelos ácidos húmicos e à medida que os locais de ligação mais fortes vão sendo saturados, uma quantidade maior de Cu

será solubilizada pelos ácidos fúlvicos ou por compostos orgânicos mais simples. Em solos ácidos e com baixo teor de matéria orgânica a mobilidade do cobre será afetada (FÉLIX, 2005).

Pesquisas em relação aos efeitos do Cu, quando acumulado em solos de vitivinícolas vêm sendo realizadas ao redor do mundo. Estas mostram que, algumas espécies de plantas, denominadas bioacumuladoras, podem diminuir a concentração do Cu no solo ou indisponibilizá-lo, evitando assim, seus efeitos tóxicos. As espécies que se destacam por apresentar um bom potencial fitorremediador, em sua maioria, são plantas destinadas a adubação verde e/ou cobertura de solo, como aveia-branca e aveia-preta (*Avena sp.*), mentaroxa (*Elsholtzia splendens* N. F. M.) (MACKIE; MÜLLER; KANDELER, 2012) e espécies ornamentais, como cravina (*Dianthus chinensis* L.) e calla (*Zantedeschia aethiopica* L.) (MENEGAES, 2015).

Neste contexto, visando minimizar o efeito nocivo do Cu em solos de vitivinícolas, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial fitorremediador de tagetes (*Tagetes patula* L.) cultivado em solo contaminado por cobre (Cu), buscando uma agricultura de baixo impacto ambiental.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado, no período de junho a novembro de 2021, 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 5x2 (cinco teores adicionados de Cu no solo e duas correções de pH do solo), com cinco repetições. Os teores de Cu composto por cinco concentrações adicionadas por quilo de solo, nas quantidades de zero (sem adição: testemunha), 250, 500, 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>). As correções de pH do solo foram pH 5,5 sem adição de calcário (de acordo com o laudo da análise do solo; Quadro 1) e pH 6,0 com adição de calcário PRNT 76%).

**Quadro 1** - Laudo da análise de solo coletado a profundidade de 0-15 cm.

Diagnóstico para acidez e calagem								
pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP
	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>3</sup>					Al	Bases	
5,5	3,3	0,9	0,0	2,0	4,6	0,0	69,3	6,7
Diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S								
% MO	% Argila	Textura	S	P-Mehlich	C Total*	K	CTC pH7	K
-----m/v-----			-----mg/dm <sup>3</sup> -----	---g.kg <sup>-1</sup> ---	---cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ---	mg/dm <sup>3</sup>		
1,2	8,0	4,0	10,1	16,2	--X--	0,348	6,6	136,0
Diagnóstico para macronutrientes e relações molares								
Cu	Zn	B	Fe	Mn	Na	Relações Molares		
-----mg/dm <sup>3</sup> -----						Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	K/(Ca+Mg) <sup>1/2</sup>
14,01	14	0,37	--X--	--X--	--X--	3,5	12,20	0,169

Fonte: Laboratório de Solos da UFSM (LAS-UFSM)

O solo utilizado foi coletado em área vitivinícola do município de Santa Maria, RS, na profundidade de 0-20 cm. O solo da região é classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico típico (REINERT et al., 2001).

As sementes de tagetes utilizadas foram oriundas do cultivo na área experimental do Setor de Floricultura, na safra 2019/2020. A semeadura ocorreu diretamente nos vasos com três sementes, após 15 dias da semeadura (emergência total das plântulas) houve o raleio deixando apenas uma planta por vaso. 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 evolução do desenvolvimento das alturas da planta, dos comprimentos das folhas (C) das larguras das folhas (L) e dos diâmetros do cobrimento da planta em relação ao vaso (com régua milimetrada) e, o número de folhas e de botões (pelo método de contagem manual), foram avaliados num intervalo de quatro dias entre os 20 aos 72 dias após o transplante (DAT). A área foliar foi calculada pela fórmula [AF: (C x L) x k], onde o k assume o valor de 0,44, devido os recortes das folhas.

Aos 72 DAT, foram avaliados a fitomassa seca das inflorescências, da parte aérea e da parte radicular, pela secagem das plantas em estufa de ventilação forçada a 65° C até atingir massa constante. 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 Mondial Laboratório. Os teores de Cu no solo após o cultivo foram amostrados por análise química no LAS-UFSM.

Os cálculos do número efetivo de plantas totais (PENt) e do número efetivo de parte aérea de plantas (PENpa) serão 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) serão avaliados conforme as metodologias descritas por Caille, Zhao, Mcgrath (2005) e Yoon et al. (2006) e, taxa de extração de metal (MER) ocorrerá conforme a fórmula descrita por Mertens et al. (2005), expressas nas Equações 1 a 4, respectivamente:

$$FT = \frac{\text{concentração de Cu na fitomassa seca da parte aérea}}{\text{concentração de Cu na fitomassa seca da raiz}} \quad 1$$

$$FCA = \frac{\text{concentração de Cu na fitomassa seca da parte aérea}}{\text{teor de Cu disponível no solo após o cultivo}} \quad 2$$

$$FCO = \frac{\text{concentração de Cu na fitomassa seca da raiz}}{\text{teor de Cu disponível no solo após o cultivo}} \quad 3$$

$$MER = \frac{(\text{Cu}_{\text{planta}} \times \text{FM}_{\text{Tot}})}{(\text{Cu}_{\text{solo}} \times \text{M}_{\text{raiz}})} \times 100 \quad 4$$

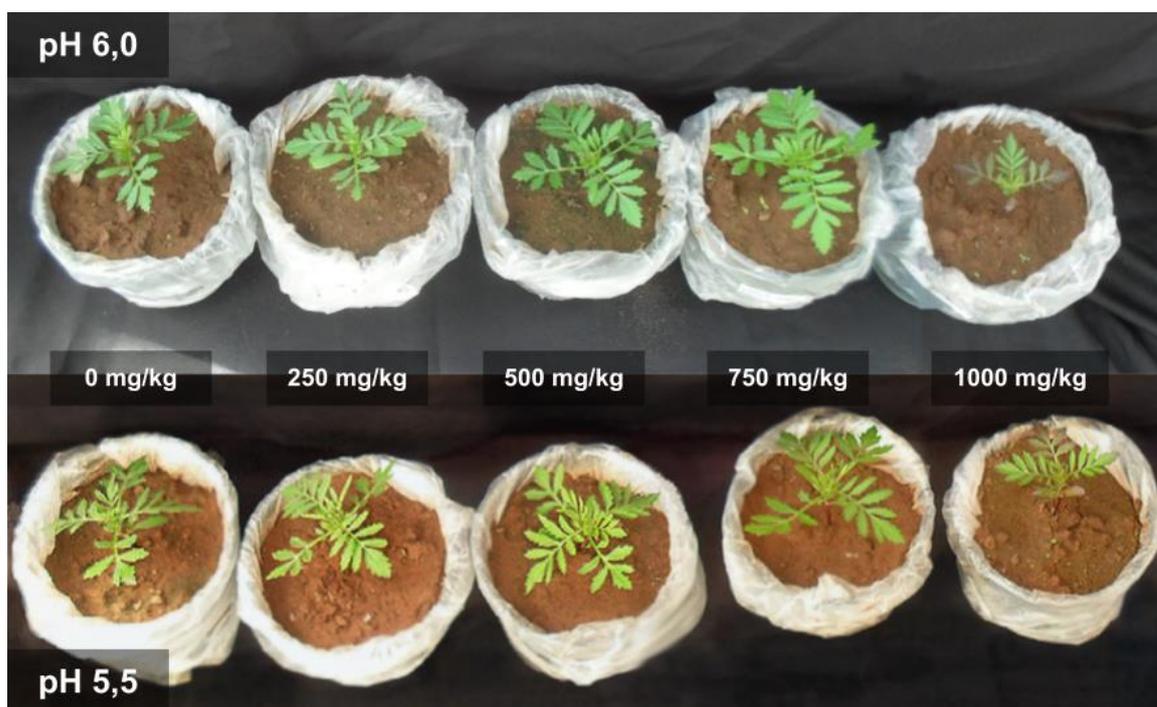
onde:  $\text{Cu}_{\text{planta}}$  é a concentração de cobre na fitomassa seca total,  $\text{FM}_{\text{Tot}}$  é a fitomassa total,  $\text{Cu}_{\text{solo}}$  é o teor de Cu disponível no solo após o cultivo e  $\text{M}_{\text{raiz}}$  é a massa do volume de solo enraizada pela espécie.

Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas por regressão ( $p < 0,05$ ) com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao longo da condução do experimento foram monitorados os dados de crescimento das mudas de tagetes pela contagem do número de folhas, diâmetro e altura de planta. O início da fase de floração ocorreu, aproximadamente, ao 44° DAT, da mesma forma, a partir desse período acompanhou-se também o desenvolvimento floral e a quantidade de botões (Figura 2).

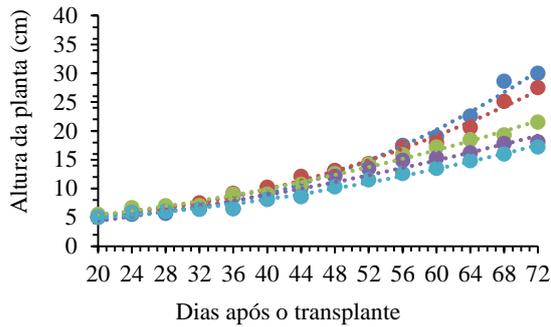
Observou-se que o incremento do teor de Cu no solo não impediu o crescimento das plantas ao longo do tempo, é possível notar que, no pH 5,5, na fase inicial de crescimento, não há diferenças significativas na altura de planta quando se compara os diferentes teores de cobre (Figura 1 e Figura 2a). A partir do 48° DAT, aproximadamente, observou-se disparidades no crescimento, quanto maior os teores de cobre no solo, menor a altura (Figura 2a). No final dos dias de condução do experimento é notável que as plantas que não receberam teor adicional de Cu apresentaram maior estatura (Figura 3), atingindo a altura máxima de 30,3 cm.



**Figura 1.** Ilustrações dos vasos de tagetes anão em função das diferentes dosagens de cobre adicionadas no solo (0, 250, 500, 750 e 1000 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>) com correção de pH (pH 5,5 e 6,0) no 20° DAT.

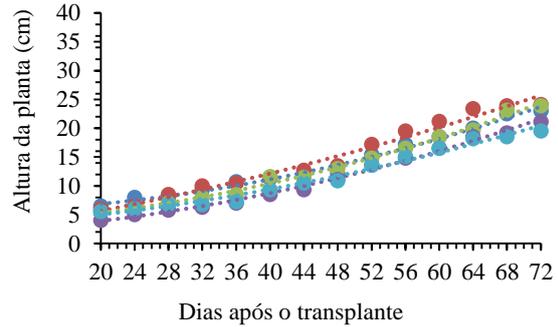
O cobre está mais disponível para plantas em valores de pH próximos à neutralidade. Conforme o aumento da acidez do solo, a densidade dos sítios de adsorção do Cu aumenta, reduzindo a disponibilidade do metal para absorção (NACHTIGALL; NOGUEIROL; ALLEONI, 2007). Dessa forma, na Figura 2b, para o tratamento com correção de pH (pH 6,0), o Cu está mais disponível para as plantas e pode-se notar que a diferença de altura ao longo do tempo, nas diferentes doses de cobre, é menor para o pH 5,5.

a) pH 5,5



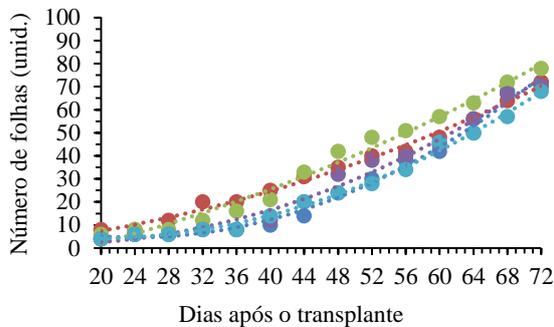
● 0 Cu	$y = 0,0092x^2 - 0,3622x + 8,9535$	$R^2 = 0,9904$
● 250 Cu	$y = 0,006x^2 - 0,1382x + 5,8193$	$R^2 = 0,9922$
● 500 Cu	$y = 0,0027x^2 + 0,0691x + 2,9041$	$R^2 = 0,9896$
● 750 Cu	$y = 0,0018x^2 + 0,116x + 1,3285$	$R^2 = 0,9644$
● 1.000 Cu	$y = 0,0025x^2 + 0,0095x + 3,6988$	$R^2 = 0,9924$

b) pH 6,0



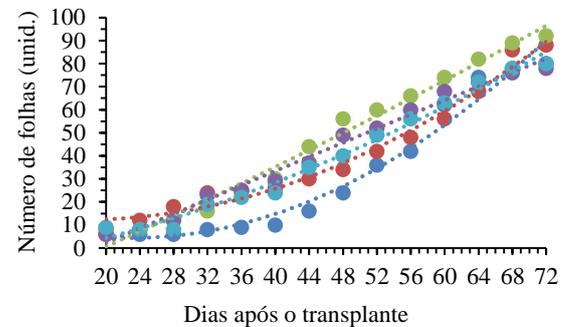
● 0 Cu	$y = 0,0035x^2 + 0,0036x + 5,3944$	$R^2 = 0,9862$
● 250 Cu	$y = 0,0019x^2 + 0,2081x + 0,7326$	$R^2 = 0,9784$
● 500 Cu	$y = 0,0035x^2 + 0,0481x + 2,9754$	$R^2 = 0,9934$
● 750 Cu	$y = 0,0031x^2 + 0,0573x + 1,521$	$R^2 = 0,9928$
● 1.000 Cu	$y = 0,0024x^2 + 0,0735x + 2,557$	$R^2 = 0,9811$

c) pH 5,5



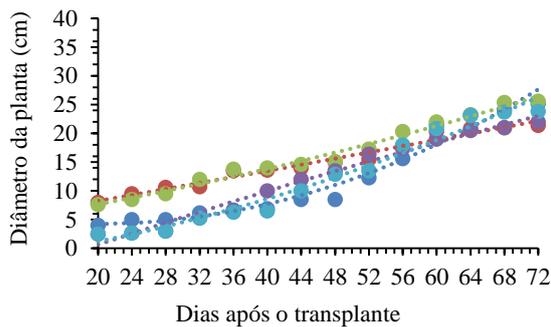
● 0 Cu	$y = 0,0302x^2 - 1,4505x + 22,066$	$R^2 = 0,9898$
● 250 Cu	$y = 0,0108x^2 + 0,217x - 1,2247$	$R^2 = 0,9925$
● 500 Cu	$y = 0,0102x^2 + 0,5519x - 12,874$	$R^2 = 0,9848$
● 750 Cu	$y = 0,0208x^2 - 0,5483x + 5,1852$	$R^2 = 0,9824$
● 1.000 Cu	$y = 0,0225x^2 - 0,8475x + 12,082$	$R^2 = 0,9947$

d) pH 6,0



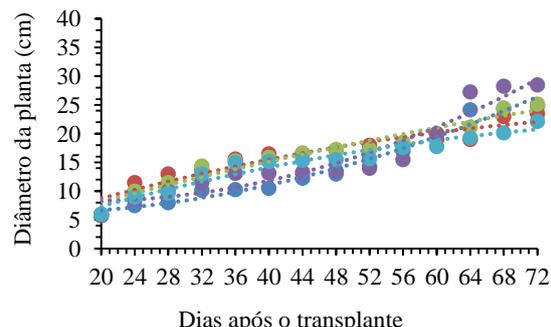
● 0 Cu	$y = 0,0356x^2 - 1,6283x + 22,992$	$R^2 = 0,9704$
● 250 Cu	$y = 0,0255x^2 - 0,8611x + 19,486$	$R^2 = 0,9807$
● 500 Cu	$y = 0,0035x^2 + 1,5246x - 31,323$	$R^2 = 0,9860$
● 750 Cu	$y = -0,0006x^2 + 1,591x - 29,258$	$R^2 = 0,9875$
● 1.000 Cu	$y = 0,0109x^2 + 0,5502x - 11,001$	$R^2 = 0,9869$

e) pH 5,5

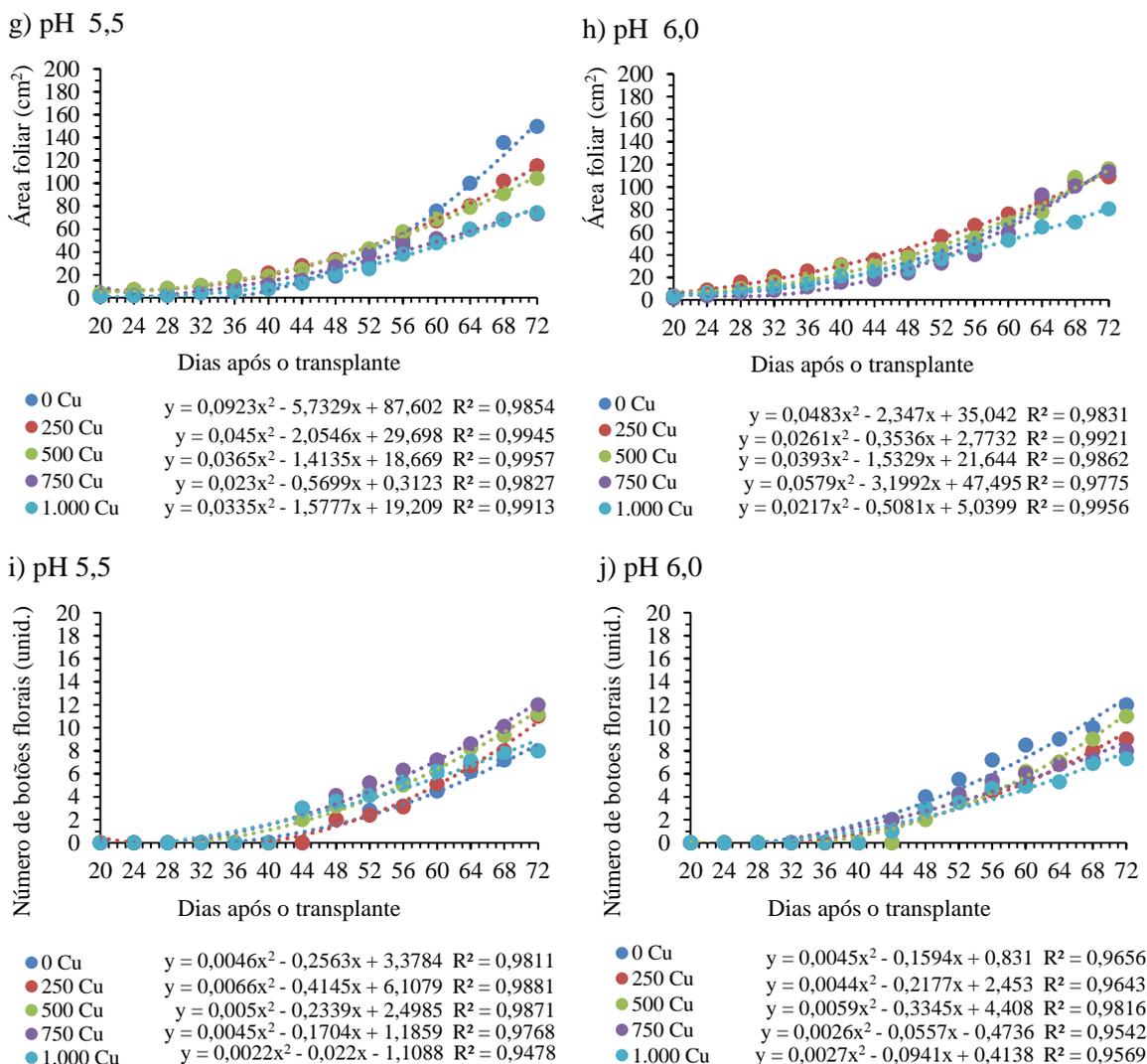


● 0 Cu	$y = 0,0087x^2 - 0,3502x + 7,804$	$R^2 = 0,9614$
● 250 Cu	$y = 0,0002x^2 + 0,2511x + 3,1325$	$R^2 = 0,9731$
● 500 Cu	$y = 0,0017x^2 + 0,2061x + 2,8824$	$R^2 = 0,9827$
● 750 Cu	$y = -0,0011x^2 + 0,5311x - 9,5604$	$R^2 = 0,9803$
● 1.000 Cu	$y = 0,0035x^2 + 0,1595x - 3,4084$	$R^2 = 0,9724$

f) pH 6,0



● 0 Cu	$y = 0,005x^2 - 0,0801x + 6,273$	$R^2 = 0,9727$
● 250 Cu	$y = -0,0026x^2 + 0,4921x - 0,0827$	$R^2 = 0,9027$
● 500 Cu	$y = -0,0013x^2 + 0,4257x + 0,1814$	$R^2 = 0,9411$
● 750 Cu	$y = 0,0072x^2 - 0,2522x + 10,459$	$R^2 = 0,9181$
● 1.000 Cu	$y = -0,0025x^2 + 0,4908x - 1,4329$	$R^2 = 0,9392$



**Figura 2.** Evolução do desenvolvimento das plantas de tagetes anão cultivadas em pH do solo 5,5 e 6,0 com a adição de 0; 250; 500; 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub> no solo. Altura de planta (a; b), número de folhas (c; d), diâmetro da planta (e; f), área foliar (g; h) e número de botões florais (i; j).

Em um experimento realizado por Sonmez et al. (2006) com tomateiros (*Solanum lycopersicum* L.) expostos à altas concentrações de Cu de 0; 1.000 e 2.000 mgkg<sup>-1</sup> em solo com pH 6,5, resultou na diminuição da altura das plantas. Em média ocorreu a redução de 39% e 50%, para os respectivos tratamentos, 1.000 e 2.000 mg kg<sup>-1</sup>, na altura das plantas quando comparadas ao tratamento sem adicional de Cu.

Entretanto, em um outro experimento realizado por Chaves et al. (2009), com tratamentos de zinco (Zn) e Cu para a espécie de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), foram avaliados tratamentos com baixos de teores de Cu (0; 1; 2; 3 e 4 mg dm<sup>-3</sup>) e Zn (0; 2; 4; 6 e 8

mg dm<sup>-3</sup>), aplicados após plantio em solo com pH 6,45. Os resultados demonstram que os diferentes tratamentos não afetaram significativamente os parâmetros de altura da planta, diâmetro caulinar e área foliar tanto para Zn quanto para Cu.

Em relação ao número de folhas (Figuras 1c e 1d) houve uma similaridade entre as concentrações de Cu para ambas as correções de pH. A partir do 44° DAT, aproximadamente, a quantidade de folhas aumentou, principalmente nos tratamentos intermediários com doses de 250, 500 e 750 mg kg<sup>-1</sup> de Cu. Pode-se supor em uma possível adaptação da planta, visto que, na linha de concentração de 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, ocorre um maior crescimento exponencial de folhas a partir do 60° DAT.

Já para o diâmetro da planta (Figuras 1e e 1f), nas duas correções de pH, a planta consegue se desenvolver bem até, aproximadamente, o 44° DAT. Após esse período observa-se redução no crescimento das folhas provavelmente ocasionado pelas altas doses de Cu no solo.

A área foliar, como pode-se observar (Figuras 1g e 1h) segue uma linha de tendência similar com a altura da planta, nos primeiros 30° DAT, parece não haver efeitos de toxicidade afetando diretamente a área foliar, isso fica mais visível após o primeiro mês de análise. Em pH 5,5 o melhor desenvolvimento da planta ocorre no tratamento sem adicional de cobre. Nos demais tratamentos (250, 500, 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup>), conforme maior a dose observa-se menor crescimento da área foliar.

O desenvolvimento de botões florais (Figuras 1i e 1j) ocorreu a partir do 44° DAT. Em pH 5,5 pode-se observar que as plantas com tratamentos de 500 e 750 mg kg<sup>-1</sup> de Cu desenvolveram um número maior de botões florais quando comparadas ao tratamento sem adição de Cu. Para o pH 6,0 o maior número de botões florais se dá na concentração sem adição de Cu, o que pode ser justificado pelo cobre estar mais disponível no solo para esse pH fazendo com que as concentrações de Cu adicionadas afetem mais a floração da planta em relação ao controle.

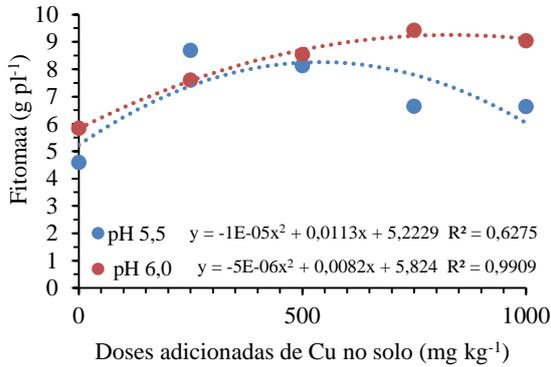


**Figura 3.** Ilustrações dos vasos de tagetes anão em função das diferentes dosagens de cobre adicionadas no solo (0, 250, 500, 750 e 1000 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub>) com correção de pH (pH 5,5 e 6,0) no 75°DAT.

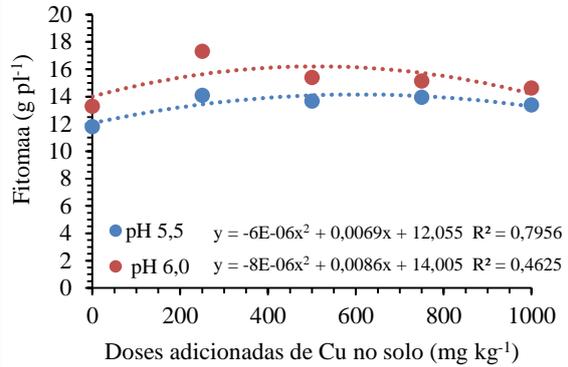
A Figura 3 representa o último dia do experimento, 75° DAT, no qual foram coletadas as amostras do solo e a fitomassa das plantas para posterior análise laboratorial. É possível observar que as diferentes doses de Cu adicionadas no solo influenciaram no desenvolvimento da planta. Independente do pH do solo, qualitativamente, nota-se que quanto menor a dosagem de cobre, melhor seu desenvolvimento em parâmetros de diâmetro, altura e embelezamento de paisagem.

As análises estatísticas para inflorescências da planta, na Figura 4a, demonstram baixa correlação entre os pontos, expressada pelo baixo valor de R<sup>2</sup> no pH 5,5. Da mesma forma, os valores de fitomassa seca da parte aérea (Figura 4b), possuem baixa correlação.

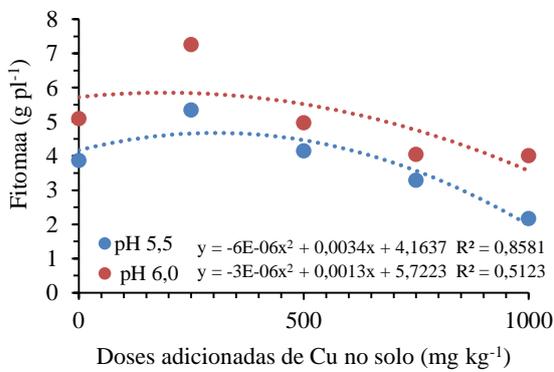
a) Inflorescências



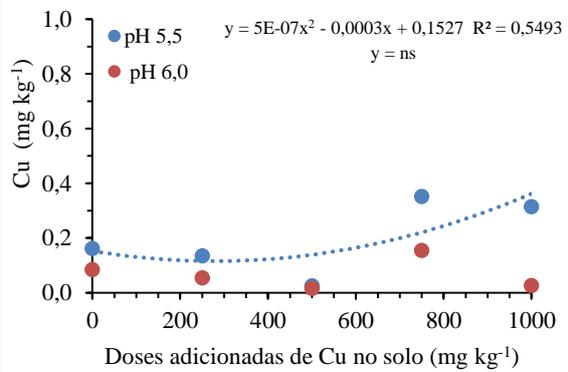
b) Parte aérea



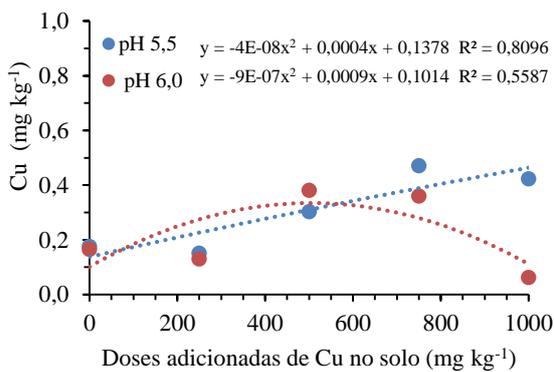
c) Parte radicular



d) Cu na parte aérea



e) Cu na parte radicular



**Figura 4.** Fitomassa seca das inflorescências (a), da parte aérea (b) e da parte radicular (c); teor de Cu na parte aérea (c) e na parte radicular (d) das plantas de tagetes anão cultivadas em pH do solo 5,5 e 6,0 com a adição de 0; 250; 500; 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub> no solo. ns: não significativo.

A raiz é a primeira parte da planta que entra em contato com os metais presentes no solo, dessa forma, existe uma tendência em acumulá-los nesse órgão, especialmente o Cu (AMBROSINI et al., 2016). Ao observarmos a análise estatística de regressão para raízes (Figura 4c), pode-se notar um decréscimo delas conforme o aumento da concentração. Ambrosini et al. (2016) afirmam que, o sintoma mais observado relacionado à toxicidade de Cu é a redução do comprimento das raízes. Possivelmente, devido a diminuição na frequência da divisão celular no ápice radicular, prejudicando assim, o desenvolvimento desse eixo.

Na Figura 4d, verifica-se que a planta não transporta uma quantidade significativa de cobre para a parte aérea. Em pH 5,5 há baixa correlação entre os pontos e para o pH 6,0 não foi possível identificar uma correlação.

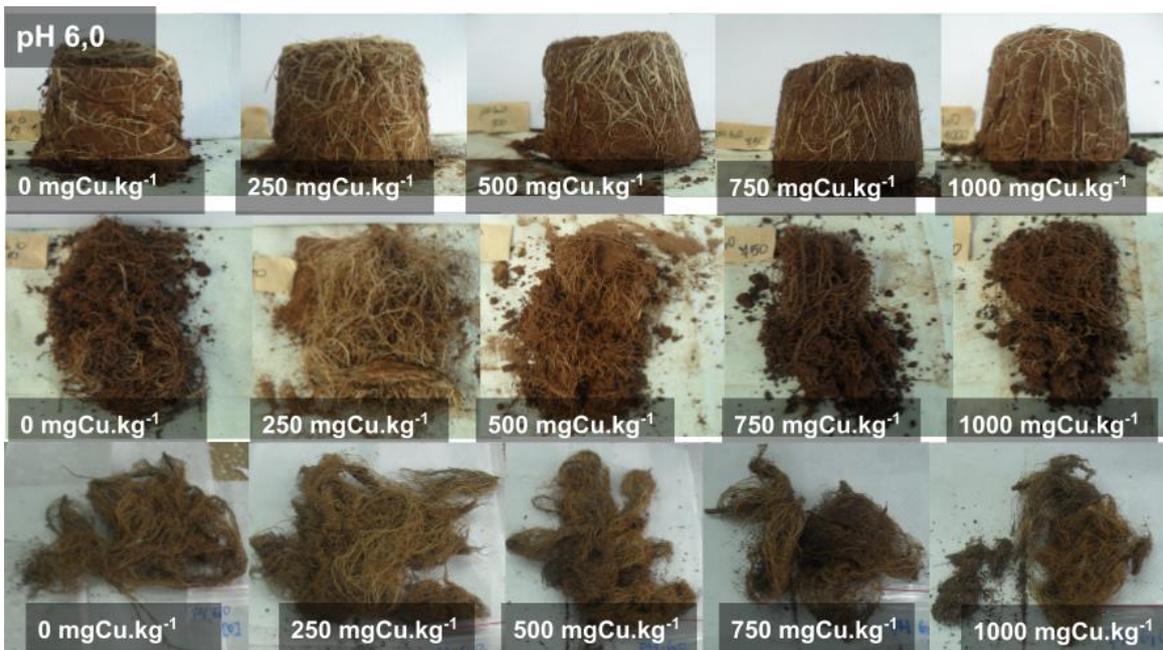
O cobre na parte radicular pode ser analisado pelo gráfico da Figura 4e. A curva referente ao pH 5,5 demonstra um aumento da concentração de Cu conforme o aumento da dose de tratamento. Entretanto, ao relacionarmos este gráfico com o gráfico de fitomassa seca das raízes (Figura 4c), pode se pensar que devido ao decréscimo de fitomassa radicular ocorreu um aumento na concentração de Cu. O que não necessariamente significa que a planta acumulou uma alta quantidade de cobre nas raízes, mas sim que a concentração aumentou com a diminuição da massa seca. Já para o pH 6,0 há baixa correlação dos resultados.

Algumas plantas são capazes de reduzir a difusão do cátion pelo interior do tecido com o intuito de protegê-lo da intoxicação. É o caso do feijoeiro, que quando exposto à altas dosagens de cobre (0 a 5 mmol kg<sup>-1</sup>), apresentou grande diferença das concentrações do metal entre a parte aérea da planta e as raízes, utilizando-se deste mecanismo como defesa (MARSOLA; MIYAZAWA; PAVAN, 2005). Em contraponto, para o caso deste experimento, é possível observar que o tagetes não se utilizou deste mecanismo, pelo contrário, a concentração do metal na parte aérea e nas raízes da planta não foram significativas para extração do cobre.

Nas Figuras 3 e 4 é possível observar que, para ambas as correções de pH ocorre uma diminuição da quantidade de raízes conforme o aumento da dosagem de cobre no solo, tendendo a indicar que a planta diminuiu a quantidade de raízes com o intuito de proteger-se da intoxicação. Também foi possível notar a coloração enegrecida em partes das raízes devido ao cobre e conforme o aumento das doses, mais se torna visível a coloração (Figuras 5 e 6).

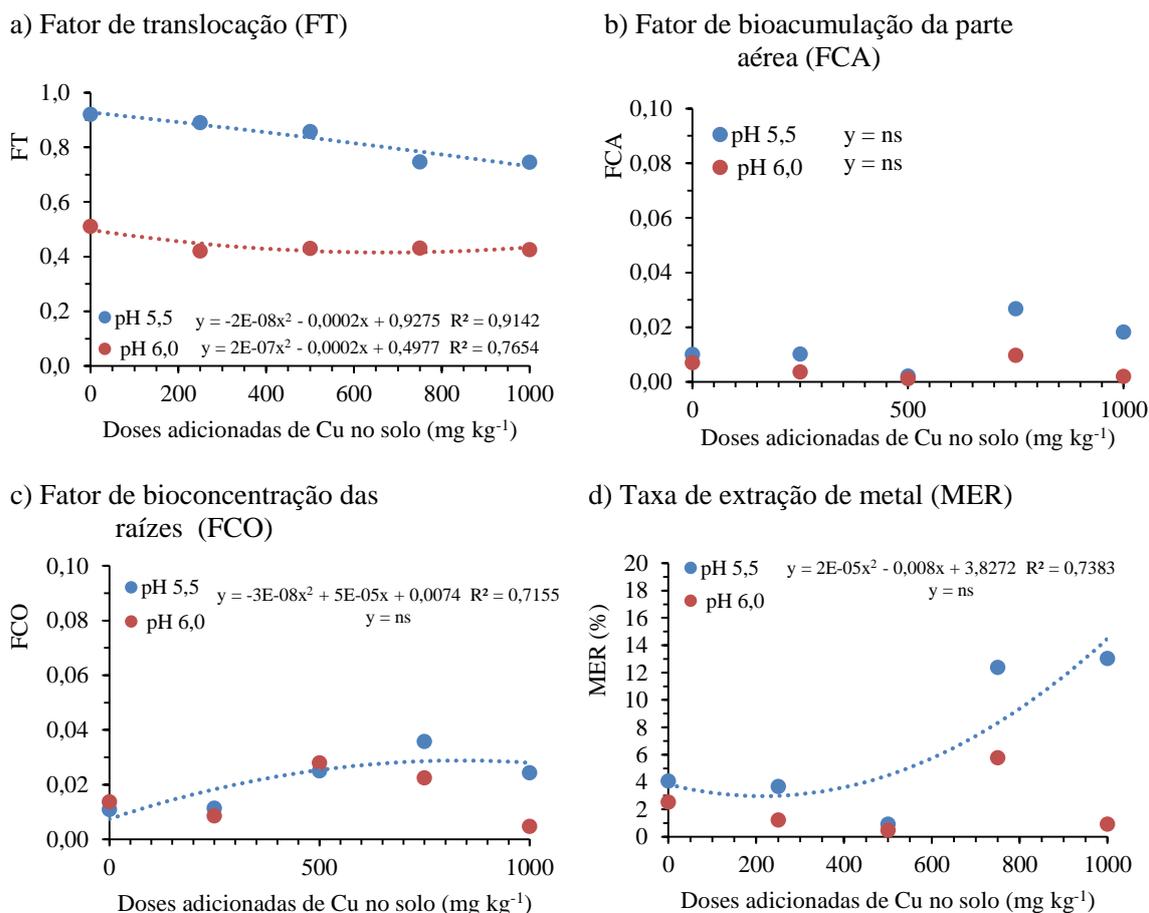


**Figura 5.** Raízes de *tagetes* anão submetidas à diferentes teores de cobre em solo com pH 5,5.



**Figura 6.** Raízes de *tagetes* anão submetidas à diferentes teores de cobre em solo com pH 6,0.

Considerando a razão entre os teores de Cu da parte aérea e na raiz, não se pode considerar que a espécie *Tagetes patula* L. seja eficiente no que se diz respeito à translocação. Pela Figura 6a é possível notar que, com o aumento da concentração de Cu ocorre a diminuição do fator de translocação (FT).



**Figura 7.** Fator de translocação (FT; a), fator de bioacumulação da parte aérea (FCA; b), fator de bioconcentração das raízes (FCO; c) e taxa de extração de metal (MER; d) das plantas de tagetes cultivadas em pH do solo 5,5 e 6,0 com a adição de 0; 250; 500; 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de CuSO<sub>4</sub> no solo. ns: não significativo.

É possível determinar a ocorrência de fitoextração nas plantas por dois fatores principais: o fator de bioconcentração do metal e pela produção de biomassa. Para a maioria das plantas em que a fitoextração não é viável, o fator de bioconcentração para metais e metaloides é inferior a 1 (MCGRATH; ZHAO, 2003). Na Figura 7b, o fator de bioconcentração na parte aérea (FCA) não obteve resultados significativos independente das diferenças de pH, alcançando valores menores que 1 para todas as dosagens de cobre.

A análise estatística para o fator de bioconcentração na parte radicular (FCO), representado na Figura 6c, demonstra uma baixa correlação dos dados para o pH 5,5 e uma relação não significativa para o pH 6,0. Ou seja, os valores acusam uma baixa bioacumulação de cobre nas raízes. Em outros termos, pode-se entender que a espécie não acumulou o metal

na parte radicular, da mesma forma que não translocou uma quantidade significativa de Cu para a parte aérea.

A taxa de extração de metal (MER) pode ser determinada pela razão da biomassa produzida e o volume do solo que irá ser fitorremediado. Essa relação tem a finalidade de expressar a capacidade de extração vegetal (MERTENS; LUYSSAERT; VERHEYEN, 2005). Na Figura 7d pode-se analisar a capacidade do tagetes na extração do Cu. Para o pH 5,5 a análise estatística indica uma baixa correlação entre os dados e para o pH 6,0 os resultados não são significativos, indicando a dificuldade da planta em remover o metal do solo.

#### 4 CONCLUSÕES

As doses de Cu adicionadas ao solo afetaram a estética das plantas, quanto maior a dosagem menor o desenvolvimento vegetal da espécie, em ambas as correções de pH. Os valores apresentados para Tagetes Anão acusam uma baixa bioacumulação de cobre nas raízes, pressupondo que a planta não acumulou o metal na parte radicular, da mesma forma que não translocou uma quantidade significativa de Cu para a parte aérea. Presumindo assim, que o Tagetes Anão não possui potenciais características fitorremediativas de cobre no solo.

#### REFERÊNCIAS

AMBROSINI, V. G. *et al.* Impacto do excesso de cobre e zinco no solo sobre videiras e plantas de cobertura. In: MELO, G. W. *et al.* **Calagem, adubação e contaminação em solos cultivados com videira**. Bento Gonçalves: Embrapa, 2016. Cap. 6. p. 91-110. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1065884/1/Impactodoexcesso decobreezinconosolosobrevideiraseplantasdecobertura.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2022.

CAILLE, N.; ZHAO, F. J.; MCGRATH, S. P. Comparison of root absorption, translocation and tolerance of arsenic in the hyperaccumulator *Pteris vittata* and the non-hyperaccumulator *Pteris tremula*. **New Phytologist**, Palo Alto, v. 165, p. 755-761, 2005. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2004.01239.x.

CHAVES, L. H. G. *et al.* ZINCO E COBRE EM PINHÃO MANSO. I. CRESCIMENTO INICIAL DA CULTURA. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 94-99, set. 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2371/237117837015.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2022.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014. DOI: 10.1590/S1413-70542014000200001.

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*, v. 12, n. 2, p. 105-114, 2013. DOI: 10.1818/sap.v12i2.6451

MCGRATH, S. P.; ZHAO, F.-J. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. **Current Opinion In Biotechnology**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 277-282, jun. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0958-1669\(03\)00060-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0958-1669(03)00060-0). Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/6639788\\_Phytoextraction\\_of\\_metals\\_and\\_metalloids\\_from\\_contaminated\\_soils](https://www.researchgate.net/publication/6639788_Phytoextraction_of_metals_and_metalloids_from_contaminated_soils). Acesso em: 26 ago. 2022.

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. DOI: 10.1016/j.envpol.2012.03.023

MANTOVANI, A. **COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE SOLOS CONTAMINADOS POR**

**COBRE:** formas, sorção e efeito no desenvolvimento de espécies vegetais. 2009. Tese

(Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17085/000710287.pdf?s>.

Acesso em: 10 mar. 2022.

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*, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 92-98, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000100014>. Acesso em: 25 ago. 2022.

MERTENS, J.; LUYSSAERT, S.; VERHEYEN, K. Use and abuse of trace metal concentrations in plant tissue for biomonitoring and phytoextraction. *Environmental Pollution*, [s. l.], v. 138, n. 1, p. 1-4, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2005.01.002>

MENEGAES, J. F. **Avaliação do potencial fitorremediador de plantas floríferas em solo**

**contaminado com cobre.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade

Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

MENEGAES, J. F. *et al.* Avaliação do potencial fitorremediador de crisântemo em solo com excesso de cobre. **Ornamental Horticulture**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 63-71, 2017. Available at: <https://doi.org/10.14295/oh.v23i1.915>

MERTENS, J.; LUYSSAERT, S.; VERHEYEN, K. Use and abuse of trace metal

concentrations in plant tissue for biomonitoring and phytoextraction. **Environmental Pollution**, [s. l.], v. 138, n. 1, p. 1–4, 2005. Available at: <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2005.01.002>

SONMEZ, S. *et al.* Copper application growth and yield of tomato plants HIGH LEVEL OF COPPER APPLICATION TO SOIL AND LEAVES REDUCE THE GROWTH AND YIELD OF TOMATO PLANTS ALTOS NÍVEIS DE COBRE NO SOLO E NAS FOLHAS REDUZ CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE TOMATEIROS. **Sci. Agric**, [s. l.], n. 3, p. 213–218, [s. d.].

NACHTIGALL, G. R.; NOGUEIROL, R. C.; ALLEONI, L. R. F.. Formas de cobre em solos de vinhedos em função do pH e da adição de cama-de-frango. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 42, n. 3, p. 427-434, mar. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2007000300017>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/SsYKnrJwTYwC4MbK9vdXdfJ/?lang=pt>. Acesso em: 25 ago. 2022.

REINERT, D.J., et al. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; ROSA, G.M. & CERETTA, C.A. eds. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria, RS, 2001, 165 p.

SONMEZ, S. *et al.* Copper application growth and yield of tomato plants HIGH LEVEL OF COPPER APPLICATION TO SOIL AND LEAVES REDUCE THE GROWTH AND YIELD OF TOMATO PLANTS ALTOS NÍVEIS DE COBRE NO SOLO E NAS FOLHAS REDUZ CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE TOMATEIROS. **Sci. Agric**, [s. l.], n. 3, p. 213–218, s. d.].

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**, v. 368, p. 456-464, 2006. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.01.016

YRUELA, I. Copper in plants. **Brazilian Journal Of Plant Physiology**, [s.l.], v. 17, n. 1, p. 145-156, mar. 2005. Disponível em: [https://www-scielo-br.translate.google.com/j/bjpp/a/F43kT7jYFPygVtd86sLGBYx/?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=pt&\\_x\\_tr\\_hl=pt-BR&\\_x\\_tr\\_pto=sc](https://www-scielo-br.translate.google.com/j/bjpp/a/F43kT7jYFPygVtd86sLGBYx/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt-BR&_x_tr_pto=sc). Acesso em: 16 mar. 2022.