

## Desenvolvimento de tagetes em resposta ao excesso de cobre em diferentes pH no solo

### *Marigold development in response to excess copper at different soil pH*

Leandra de Carvalho Lacerda<sup>1</sup>, Alexandre Swarowsky<sup>2</sup>, Janine Farias Menegaes<sup>3\*</sup>, Fernanda Alice Antonello Londero Backes<sup>4</sup>, Rodrigo Fernando dos Santos Salazar<sup>5</sup>

**RESUMO:** As áreas agrícolas vêm sendo constantemente contaminadas pelo excesso de aplicações de produtos agrícolas, entre eles o cobre (Cu), nas áreas vitivinícolas. Assim, buscando uma agricultura de baixo impacto ambiental, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento vegetativo de tagetes (*Tagetes patula* L.) em resposta ao excesso de Cu em diferentes pH no solo. O experimento ocorreu na casa de vegetação utilizando delineamento inteiramente casualizado, com fatorial 5x2 (doses adicionadas de Cu no solo: 0 (sem adição: testemunha), 250, 500, 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de Cu e correções de pH no solo: 5,5 e 6,0 de acordo com o laudo da análise do solo), com cinco repetições. Avaliaram-se parâmetros fitotécnicos conteúdos de nutrientes na massa seca, fatores fitorremediativos e taxa de extração de Cu na planta. Verificou-se que as plantas de tagetes apresentaram bom crescimento e desenvolvimento vegetativo em ambos os pH no solo, todavia, o incremento de Cu no solo afetou negativamente a altura de planta. Não houve indícios de fitotoxidez das plantas, assim concluiu-se que as plantas de tagetes são tolerantes em áreas contendo altas concentrações de Cu no solo, sem alterar suas características ornamentais.

**Palavras-chave:** *Tagetes patula* L.; Agricultura de baixo impacto ambiental; Tolerância a cobre no solo, Floricultura.

**ABSTRACT:** Agricultural areas have been constantly contaminated by excessive applications of agricultural products, including copper (Cu), in wine-growing areas. Thus, seeking for a low environmental impact agriculture, the objective of this work was to evaluate the vegetative development of marigold (*Tagetes patula* L.) in response to excess of Cu at different pH levels in the soil. The experiment took place in the greenhouse using a completely randomized design, with a 5x2 factorial (added doses of Cu in the soil: 0 (no addition: control), 250, 500, 750 and 1,000 mg kg<sup>-1</sup> of Cu and pH corrections in the soil: 5.5 and 6.0 according to the soil analysis report), with five repetitions. Phytotechnical parameters, nutrient content in dry mass, phytoremediation factors and Cu extraction rate in the plant were evaluated. It was found that marigold plants showed good growth and vegetative development at both soil pH levels, however, the Cu concentration increase in the soil negatively affected plant height. There was no evidence of phytotoxicity in the plants, so it was concluded that marigold plants are tolerant in areas containing high concentrations of Cu in the soil, without altering their ornamental characteristics.

**Keywords:** *Tagetes patula* L.; Low environmental impact agriculture; Tolerance to copper in the soil, Floriculture.

**Autor correspondente:** Janine Farias Menegaes  
E-mail: janine.menegaes@unesp.br

Recebido em: 2024-02-05 Aceito  
em: 2024-06-07

<sup>1</sup> Engenheira Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, Brasil.

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (UFSM), RS, Brasil.

<sup>3</sup> Professora do Departamento de Produção Vegetal – Horticultura, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), SP, Brasil.

<sup>4</sup> Professora do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria (UFSM), RS, Brasil.

<sup>5</sup> Professor do Departamento de Química da Universidade de Passo Fundo (UPF), RS, Brasil.

## INTRODUÇÃO

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. Na produção vitivinícola há necessidade de manejo sanitário preventivo para doenças fúngicas, como míldio (*Plasmopara viticola* (Berk & Curtis) Berl & de Toni), a base de cobre (Cu). Nas videiras (*Vitis* spp.) esse manejo é realizado com 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, mundialmente, difundida como solução fungicida e bactericida. Todavia, seu uso contínuo contribui para o acúmulo de Cu na superfície do solo (Jeyakumar *et al.*, 2010).

O acúmulo de Cu no solo, especialmente, em áreas vitivinícolas tem se tornado um problema socioambiental, pois o Cu possui uma elevada afinidade com a matéria orgânica, e quando em contato, complexos solúveis e insolúveis são gerados. Através de reações de complexação com ácidos húmicos e fúlvicos, no horizonte superficial do solo, ocorre a retenção desse nutriente. Assim, a tolerância das plantas em relação ao excesso de Cu está associada ao acúmulo nas raízes e a uma restrição do transporte do nutriente até a parte aérea, onde em excesso modifica os fatores fisiológicos prejudicando diversos processos celulares, por exemplo, o transporte de elétrons na fotossíntese (Casali *et al.*, 2008; Zancheta *et al.*, 2011).

A disponibilidade do Cu para as plantas é afetada pelo pH do meio, tendendo a diminuir quando este aumenta. É possível sugerir, também que este nutriente formará hidróxidos e precipitará quando colocado sob elevado valor de pH. Dessa forma, entende-se que a biodisponibilidade do Cu é alterada 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 nutriente. Como possui elevada superfície específica, a carga líquida negativa dependente do pH do meio e capacidade de formar quelatos orgânicos (Simão; Siqueira, 2001; Prado, 2020).

Entre as técnicas que visam reduzir os efeitos nocivos de Cu acumulado no solo, destaca-se a fitorremediação, sendo uma tecnologia efetiva e não destrutiva que visa o tratamento de solos contaminados através de plantas, apresentando baixo impacto ambiental e grande aceitação pública (Caille *et al.*, 2005; Yoon *et al.*, 2006; Marques *et al.*, 2011). Nas áreas vitivinícolas diversos pesquisadores ao redor do mundo vêm utilizando plantas para auxiliar na ciclagem natural do Cu, por exemplo, sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.), crotalária (*Crotalaria juncea* L.) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.) (Zancheta *et al.*, 2011); aveia-branca e aveia-preta (*Avena* spp.), menta-roxa (*Elsholtzia splendens* N. F. M.) (Mackie *et al.*, 2012); barbatimão (*Stryphnodendron polyphyllum* Mart.) e cássia (*Cassia multijuga* (L. C. Rich.) H. S. Irwin & Barneby) (Silva *et al.*, 2014).

Neste contexto, em busca de uma agricultura de baixo impacto ambiental, a utilização de plantas ornamentais torna-se uma alternativa viável para os processos de adaptação, tolerância e fitorremediação do solo contaminado com Cu. Menegaes *et al.* (2020) utilizando as espécies ornamentais de cala-lily (*Zantedeschia* spp.), cravina-de-jardim (*Dianthus chinensis* L.) e crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzevelev) confirmou a utilização dessas plantas para esse propósito. É importante ressaltar que a planta para ser utilizadas nesses processos devem ter curto ciclo, fácil cultivo e boa adaptabilidade a diferentes regiões edafoclimáticas.

Entre as plantas ornamentais com essas propriedades, destaca-se o tagetes (*Tagetes patula* L.), conhecida popularmente como cravo-de-defunto, pertencente à família Asteraceae, é originada do México. Além de características ornamentais, destaca-se pelas inflorescências em capítulos e folhas pinadas cartáceas, bem como, apresentar propriedades repelentes e inseticida natural, utilizada para manejo sanitário de

pragas, nematoides e microrganismos fitoinfestantes (Carvalho *et al.*, 2013; Lorenzi, 2013). Bons resultados com a espécie quando é utilizada como planta atrativa para controle natural de pragas nos cultivos de cebola (*Allium cepa* L.) (Silveira *et al.*, 2009) e de melão (*Cucumis melo* L.) (Peres *et al.*, 2009).

Assim, objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento vegetativo de tagetes em resposta ao excesso de Cu em diferentes pH no solo, buscando uma agricultura de baixo impacto ambiental.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado, em casa de vegetação do Setor de Floricultura do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria, RS (29°43' S; 53°43' W e altitude de 95 m), em 2021. O clima na região é subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação de Köppen-Geiger, com precipitação média anual acumulada de 1.769 mm, temperatura média anual próxima de 19,2° C e umidade do ar em torno de 78,4% (Alvares *et al.*, 2013).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x2 (doses adicionadas de Cu no solo e correções de pH no solo), com cinco repetições, onde cada unidade experimental foi composta por um vaso. As doses de Cu foram por quilo de solo, nas quantidades de zero (sem adição: testemunha), 250, 500, 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de cobre via sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>). As correções de pH no solo foram pH 5,5 sem adição de calcário de acordo com o laudo da análise do solo (Tabela 1) e pH 6,0 com adição de calcário PRNT 76%.

O solo utilizado foi coletado em área vitivinícola, com 10 anos de cultivo, do município de Santa Maria, RS, na profundidade de 0-20 cm, o solo da região é classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico típico. O laudo físico-químico do solo antes e depois do cultivo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Laudo da análise de solo antes e depois do cultivo de tagetes (*Tagetes patula* L.).

(Continua)

Amostras de solo	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP	Textura
							Al	Bases		
			cmol <sub>c</sub> dm <sup>3</sup>							
Antes do cultivo	5,5	3,3	0,9	0,00	2	4,6	0,0	69,3	6,7	4
0 Cu + pH 5,5	5,7	2,7	0,7	0,00	4	3,5	0,0	66,8	6,7	4
250 Cu + pH 5,5	5,3	2,8	0,8	0,10	4	3,8	2,6	62,2	6,8	4
500 Cu + pH 5,5	5,0	2,7	0,8	0,10	4	3,9	2,6	63,4	6,6	4
750 Cu + pH 5,5	4,9	2,8	0,9	0,11	4	4,3	2,6	58,0	6,6	4
1.000 Cu + pH 5,5	4,8	2,5	0,7	0,12	4	3,9	3,1	52,0	6,3	4
0 Cu + pH 6,0	5,6	3,4	1,0	0,00	4	4,6	0,0	73,7	6,2	4
250 Cu + pH 6,0	6,0	3,5	1,3	0,00	4	4,9	0,0	75,2	6,9	4
500 Cu + pH 6,0	5,5	3,5	1,6	0,00	4	5,4	0,0	76,1	6,9	4
750 Cu + pH 6,0	5,2	3,1	1,3	0,12	4	5,1	2,4	63,7	6,8	4
1.000 Cu + pH 6,0	5,0	3,0	1,2	0,13	4	4,9	2,7	68,7	6,4	4

(Conclusão)

	% MO	% Argila	S	P-Mehlich	K	CTC pH7	K	Cu	Zn	B
	m/v		mg/dm <sup>3</sup>		cmol/dm <sup>3</sup>			mg/dm <sup>3</sup>		
0 Cu + pH 5,5	1,2	8	10,1	16,2	0,348	6,6	136	14,01	14,00	0,37
250 Cu + pH 5,5	1,3	9	4,1	12,2	0,143	5,2	56	16,10	9,46	0,23
500 Cu + pH 5,5	1,4	10	5,9	33,7	0,133	5,9	52	13,28	10,86	0,21
750 Cu + pH 5,5	1,5	12	8,2	142,8	0,348	6,0	136	12,09	10,93	0,25
1.000 Cu + pH 5,5	1,4	10	7,1	238,6	0,491	7,3	192	13,17	10,70	0,32
0 Cu + pH 6,0	1,3	9	3,8	341,0	0,675	7,3	264	17,32	11,49	0,38
250 Cu + pH 6,0	1,7	8	5,6	11,0	0,143	6,2	56	12,02	10,41	0,32
500 Cu + pH 6,0	1,4	10	5,3	54,7	0,143	6,5	56	15,12	12,53	0,28
750 Cu + pH 6,0	1,6	15	6,8	215,4	0,317	7,1	124	13,60	12,86	0,23
1.000 Cu + pH 6,0	1,5	8	6,9	273,0	0,552	7,8	216	16,00	12,28	0,25
0 Cu + pH 5,5	1,5	10	5,8	273,0	0,563	7,0	220	13,24	11,21	0,32

Fonte: Laboratório de Solos segue as normas do ROLAS.

As sementes de tagetes utilizadas são 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 (DAS), com a 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>. Com irrigação a cada dois dias e sem adubação.

Avaliou-se os parâmetros de alturas da planta, o número de folhas e das inflorescências (pelo método de contagem manual). Aos 72 DAT, foram avaliados a massa seca das inflorescências, das folhas 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 dos elementos Cu (cobre), P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), Enxofre (S), Fe (ferro), Mn (manganês), Zn (zinco) e B (boro) dos tecidos vegetais foram efetuadas por espectrofotometria de absorção atômica. As doses de Cu no solo após o cultivo foram amostrados por análise química.

As avaliações fitorremediativas seguiram metodologias descritas por Caille *et al.* (2005) e Yoon *et al.* (2006) para o fator de translocação [ $FT = Cu_{PA}/Cu_R$ ]; o fator de bioacumulação da parte aérea [ $FCA = Cu_{PA}/Cu_S$ ] e o fator de bioconcentração das raízes [ $FCO = Cu_R/Cu_S$ ] e, taxa de extração de metal [ $MER = ((Cu_T * FM_T)/(Cu_S * M_R)) \times 100$ ] descrita por Mertens *et al.* (2005), onde:  $Cu_{PA}$  = concentração de Cu na fitomassa seca da parte aérea;  $Cu_R$  = concentração de Cu na fitomassa seca radicular;  $Cu_T$  = concentração de Cu na fitomassa seca total;  $Cu_S$  = teor de Cu disponível no solo após o cultivo;  $FM_T$  = fitomassa seca total; e  $M_R$  = massa do volume de solo enraizada pela espécie.

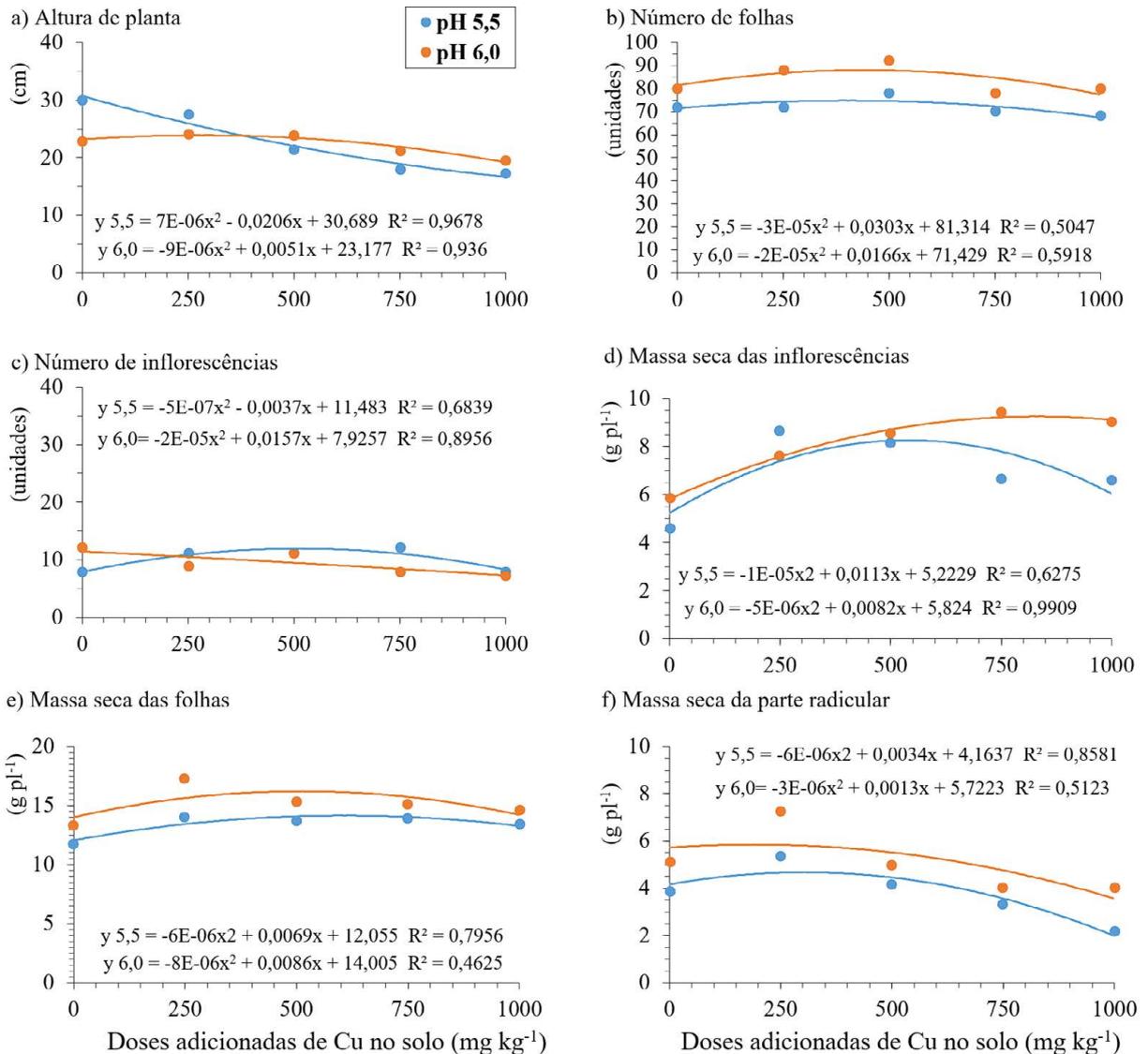
Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas por regressão ( $p < 0,05$ ) com auxílio do programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2014).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

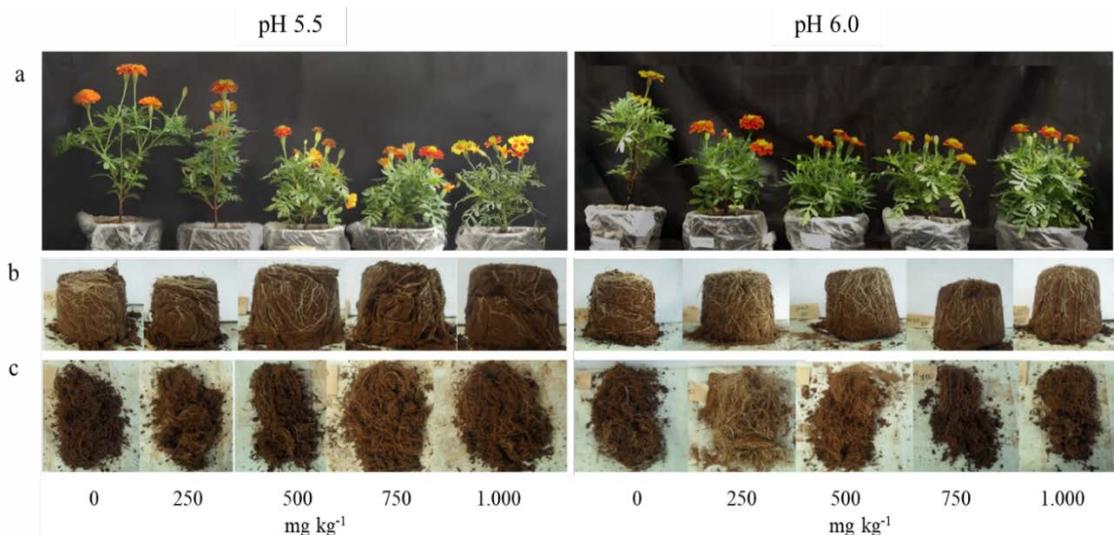
Verificou-se que a altura de todas as plantas foi reduzida com o incremento de Cu no solo (Figuras 1a e 2a), variando em pH 5,5 de 30,0 cm para 17,2 cm nas doses de Cu de 0 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup>, nesta ordem. As médias dos números de folhas foram de 72,0 e 83,6 (Figura 1b) e os números de inflorescências, contendo os botões iniciais, foram de 10,0 e 9,5 (Figura 1c), para os cultivos no solo em pH de 5,5 e 6,0, respectivamente, em todas as doses de Cu adicionadas no solo. Boueri *et al.* (2010) no cultivo de tagetes em ambiente protegido aos 80 DAT, verificaram números médios de 156 folhas e 34 inflorescências por planta, altura média de 17,7 cm. Apesar da redução gradual da altura das plantas de tagetes conforme o incremento de Cu no solo, as plantas mantiveram os números de folhas e inflorescências semelhantes, sem apresentar amarelecimento ou necroses, promovendo uma compactação da planta de maneira geral (Figura 2a). Menegaes *et al.* (2019) verificaram mesmas condições de desenvolvimento vegetativo e florístico para as plantas de cravina-de-jardim cultivada em solos contaminados por Cu.

Verificou-se que a partição da massa seca das plantas foram em média de 29,3% e 28,8% para as inflorescências, 54,8% e 53,9% para as folhas e 15,9 e 17,4% para a parte radicular os cultivos em solo nos pH de 5,5 e 6,0, respectivamente, em todas as doses de Cu adicionadas no solo (Figuras 1d, 1e e 1f). Para Taiz e Zeiger (2009), a produção de massa seca e as relações de seus acúmulos entre as partes aérea e radicular está diretamente relacionada a adaptação e tolerância da planta a condições diversas, por exemplo, dessas condições com excesso de Cu no solo.

Segundo Bellé (2000), o cultivo de plantas de tagetes (*Tagetes* spp.) nas condições edafoclimáticas do Rio Grande do Sul, com pleno desenvolvimento ocorre em pH do solo ou substrato acima de 6,3 com altura média de plantas de 30 cm. De acordo com Oorts (2013), o Cu fica disponível no solo e pode ser absorvido pela planta em média de 33% a pH 6,0 e 100% em pH 4,0. Ou seja, em menor pH o Cu fica mais disponível para as plantas no geral, isso explica a similaridade dos cultivos em ambos pH no solo (5,5 e 6,0) em todas as doses de Cu adicionadas, especialmente, para os números de folhas e inflorescências.



**Figura 1.** Altura da planta (a), diâmetro da planta no vaso (b), número de folhas (c), número de inflorescências (d), massa seca das inflorescências (e), massa seca das folhas (f) e massa seca radicular (f) das plantas de tagetes (*Tagetes patula* L.) cultivadas em solo nos pH de 5,5 e 6,0 e nas doses adicionadas de Cu de 0; 250; 500; 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup>. ns: não significativo.



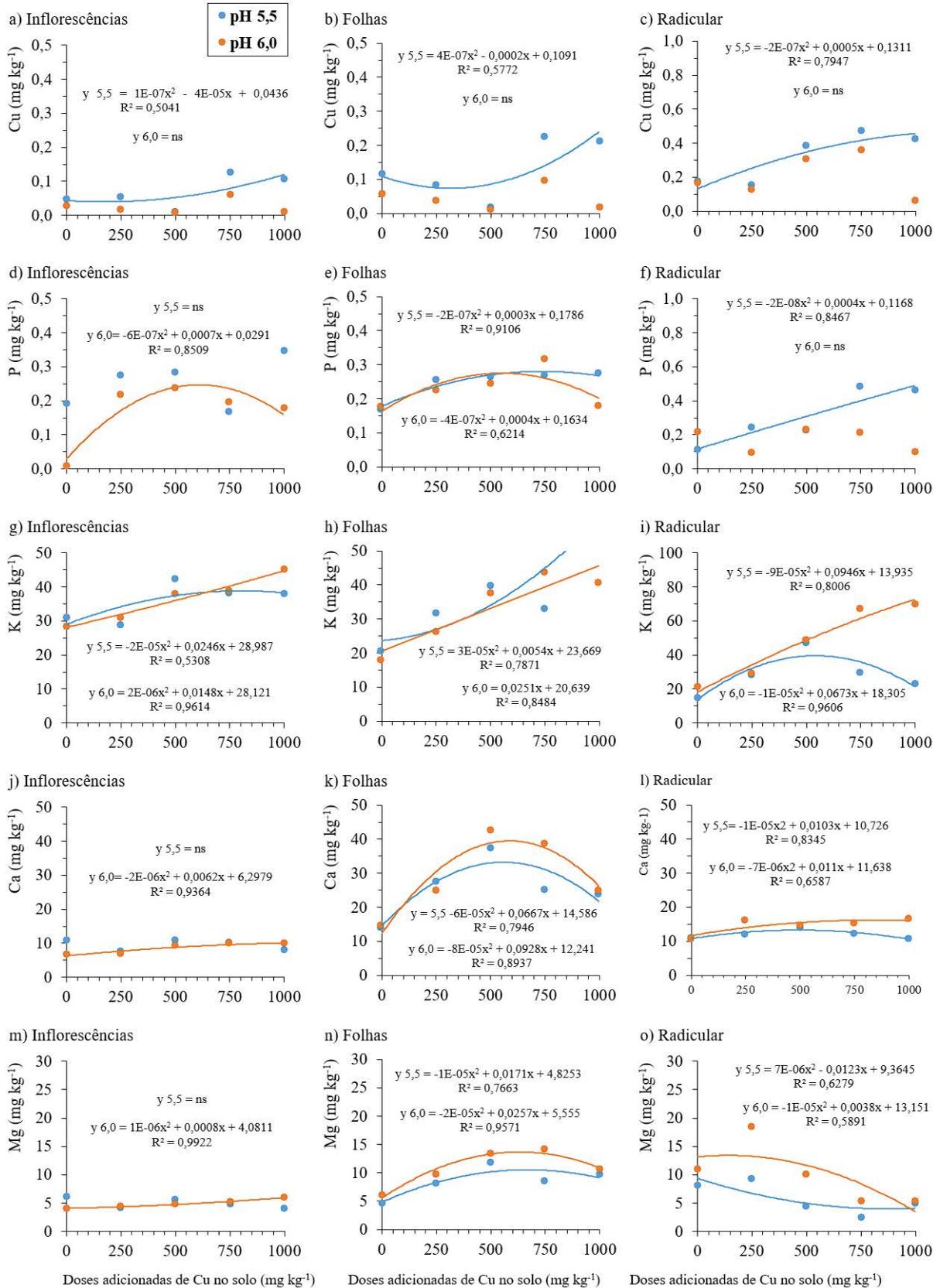
**Figura 2.** Plantas de tagetes (*Tagetes patula* L.) cultivadas em solo nos pH de 5,5 e 6,0 e nas doses adicionadas de Cu de 0; 250; 500; 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup>. Plantas floridas (a), torrão inteiro (b) e massa de raízes sem o torrão (c) aos 72 dias após o transplante (DAT).

### 3.1 INTERAÇÕES DOS NUTRIENTES PRESENTES NA MASSA SECA CONFORME O INCREMENTO DE Cu ADICIONADAS NO SOLO

No sistema solo-água-planta-atmosfera há muitas interações, as quais determinam o crescimento e o desenvolvimento da planta, entre elas a nutricional. Quando parte desse sistema está em desequilíbrio, por exemplo, neste trabalho com cultivo de tagetes em solo contendo excesso de Cu há necessidade de a planta cultivadas realizar um desses processos seja de adaptação, de tolerância e/ou de fitorremediação, para concluir seu ciclo de vida (Figuras 2, 3 e 4). Segundo Malavolta *et al.* (1997), a faixa de disponibilidade nutricional para a maioria das plantas está entre 5,5 e 6,5. Essa variação depende diretamente da espécie cultivada, como os seus estádios fenológicos e órgãos de interesse (folhas, flores, frutos, entre outros).

De acordo com Kämpf (2000), as flores e as plantas ornamentais apresentam boas características de adequação as condições edafoclimáticas, assim estabelecendo a Lei da Tolerância ou Shelford (1913), a qual desenvolve um conceito dos limites mínimos e máximos, baseado na Lei do Mínimo ou de Liebig (1983). Ou seja, a planta dentro do sistema solo-água-planta-atmosfera só tem crescimento e desenvolvimento dentro dos limites de tolerância.

Verificou-se que as plantas de tagetes cultivadas em diferentes pH no solo e doses de Cu apresentaram desenvolvimento variado conforme a interação do nutriente. Tendo a partição média de Cu na massa seca de 38,2% e 24,8% para parte aérea (folhas e inflorescências) e de 61,8% e 75,2% para a parte radicular, nos cultivos com pH 5,5 e 6,0, respectivamente, para todas as doses de Cu adicionadas no solo (Figuras 3a, 3b e 3c). Para Epstein & Bloom (2006) e Prado (2020), o Cu como um nutriente é essencial para as plantas na faixa de 5,0 a 20,0 mg kg<sup>-1</sup>, e o seu excesso pode causar clorose nas nervuras secundárias, induz a deficiência de Fe, o que não foi observado nas plantas (Figura 2).



**Figura 3.** Conteúdo dos nutrientes na massa seca das plantas de tagetes (*Tagetes patula* L.) cultivadas em solo nos pH de 5,5 e 6,0 e nas doses adicionadas de Cu de 0; 250; 500; 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup>. Cu (a, b, c), P (d, e, f), K (g, h, i), Ca (j, k, l) e Mg (m, n, o) nas inflorescências, folhas e parte radicular, respectivamente. ns: não significativo.

Nas Figuras 3d, 3e e 3f, observou-se que os conteúdos de fósforo (P) na massa seca de tagetes teve uma partição média de 62,0% e 69,9% para parte aérea (folhas e inflorescências) e de 38,0% e 30,1% para

a parte radicular, nos cultivos com pH 5,5 e 6,0, respectivamente, para todas as doses de Cu adicionadas no solo. Segundo Malavolta *et al.* (1997), o P é um dos nutrientes essenciais que atuam diretamente no florescimento das plantas, tendo a sua exigência entre 2,5 a 5,0 g kg<sup>-1</sup>. Apesar dos conteúdos observados nas plantas de tagetes estar abaixo dessa exigência houve florescimento das plantas (Figuras 1c e 2).

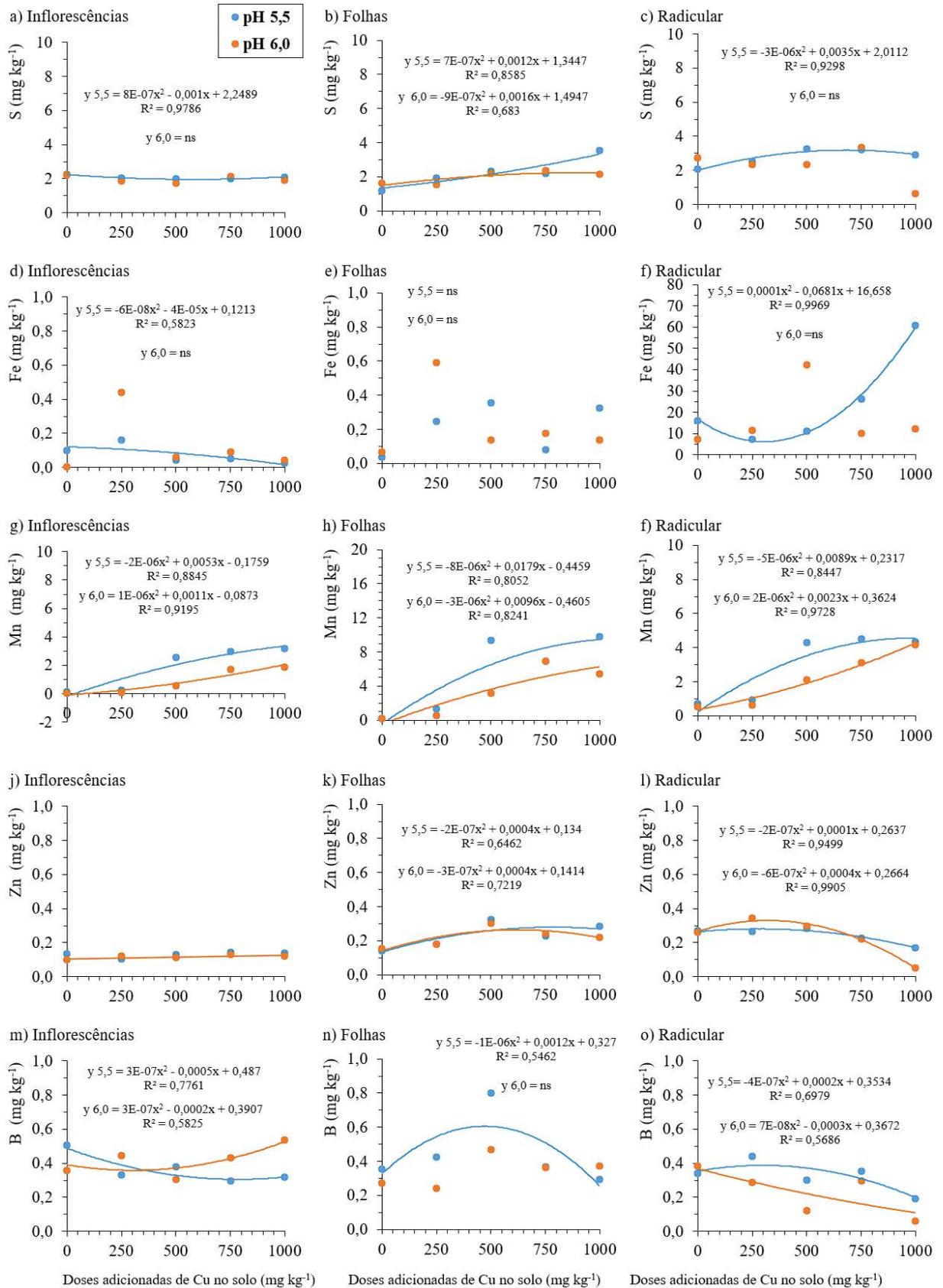
Os conteúdos de potássio (K) (Figuras 3g, 3h e 3i) apresentaram uma partição média de 72,0% e 59,6% para parte aérea (folhas e inflorescências) e de 28,0% e 4,04% para a parte radicular, nos cultivos com pH 5,5 e 6,0, respectivamente, em todas as doses de Cu adicionadas no solo, onde Epstein e Bloom (2006), indicam a faixa de exigência entre 20,0 a 40,0 g kg<sup>-1</sup>.

Onde nota-se que os teores de Cu no solo afetaram as dinâmicas de acúmulos de K nas partes radiculares nos diferentes pH do solo, enquanto no pH 5,5 após a dose adicionada de 500 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, houve uma redução na absorção, ao ponto que em pH 6,0 a tendência de absorção se manteve crescente conforme o incremento de Cu no solo sendo o K essencial para a célula manter a turgescência e hidratação.

Os conteúdos de cálcio (Ca) na massa seca de tagetes apresentou uma partição média de 74,6% e 71,9% para parte aérea (folhas e inflorescências) e de 25,6% e 28,1% para a parte radicular, nos cultivos com pH 5,5 e 6,0, respectivamente, para todas as doses de Cu adicionadas no solo (Figuras 3j, 3k e 3l). Destaque para a Figura 3k, na dose adicionada de 500 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, onde houve um acúmulo grande de Ca de 37,2 e 42,5 mg kg<sup>-1</sup> na massa seca das plantas para os pH 5,5 e 6,0, respectivamente. Prado (2020) indica que a exigência de Ca é entre 10,0 e 15,0 g kg<sup>-1</sup>, sendo essencial para estrutura e resistência mecânica da parede celular.

Os conteúdos de magnésio (Mg) (Figuras 3m, 3n e 3o) na massa seca de tagetes apresentaram uma partição média de 69,7% e 61,0% para parte aérea (folhas e inflorescências) e de 30,3% e 39,0% para a parte radicular, nos cultivos com pH 5,5 e 6,0, respectivamente, para todas as doses de Cu adicionadas no solo. Para Malavolta *et al.* (1997) a exigência de Mg está entre 2,0 a 5,0 g kg<sup>-1</sup>, sendo fundamental para estruturação da clorofila e sínteses enzimáticas.

Os conteúdos de enxofre (S) na massa seca de tagetes apresentaram uma partição média de 60,7% e 63,4% para parte aérea (folhas e inflorescências) e de 39,3% e 36,6% para a parte radicular, nos cultivos com pH 5,5 e 6,0, respectivamente, para todas as doses de Cu adicionadas no solo (Figuras 4a, 4b e 4c). Kirkby e Römheld (2007) mencionam a importância do S para formação de aminoácidos e vitaminas, sendo sua exigência de 0,5 a 5,0 g kg<sup>-1</sup>. Entre os nutrientes manteve-se praticamente constante a média de 2,2 mg kg<sup>-1</sup>, nas inflorescências, folhas e parte radicular, isso pode explicar o odor característico da planta e parte das suas propriedades fitossanitárias.



**Figura 4.** Conteúdo dos nutrientes na massa seca das plantas de tagetes (*Tagetes patula* L.) cultivadas em solo nos pH de 5,5 e 6,0 e nas doses adicionadas de Cu de 0; 250; 500; 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup>. S (a, b, c), Fe (d, e, f), Mn (g, h, i), Zn (j, k, l) e B (m, n, o) nas inflorescências, folhas e parte radicular, respectivamente. ns: não significativo.

Os conteúdos de ferro (Fe) (Figuras 4d, 4e e 4f) na massa seca de tagetes teve uma partição média de 1,2% e 2,0% para parte aérea (folhas e inflorescências) e de 98,8% e 98,0% para a parte radicular, nos cultivos com pH 5,5 e 6,0, respectivamente, em todas as doses de Cu adicionadas no solo. Epstein e Bloom (2006) avaliaram o Fe como nutriente primordial para a constituição enzimática e transportador de elétrons na fotossíntese, com exigência de 50,0 a 100,0 mg kg<sup>-1</sup>. Notou-se que grande parte do Fe presente na massa seca dos tecidos estão acumulados na parte radicular, podendo ser uma estratégia de proteção da planta. Segundo Taiz e Zeiger (2009), o Cu e o Fe competem pelo mesmo sítio de atuação do substrato, podendo agir com efeito sinérgico ou antagônico. Contudo, apesar da grande parte do Fe estar no sistema radicular, não foi verificado visualmente raízes avermelhadas, comuns quando há quantidade elevada desse elemento.

Os conteúdos de manganês (Mn) na massa seca de tagetes teve uma partição média de 71,2% e 66,1% para parte aérea (folhas e inflorescências) e de 28,8% e 33,9% para a parte radicular, nos cultivos com pH 5,5 e 6,0, respectivamente, para todas as doses de Cu adicionadas no solo (Figuras 4g, 4h e 4i). Kirkby e Römheld (2007) menciona a exigência de Mn na faixa de 10,0 a 20,0 mg kg<sup>-1</sup>, como primordial para a viabilidade do grão de pólen, sendo importante para floração, neste caso os teores baixos de Mn nos tecidos não afetaram o florescimento (Figuras 1c e 2).

Os conteúdos de zinco (Zn) (Figuras 4j, 4k e 4l) na massa seca de tagetes teve uma partição média de 59,7% e 59,9% para parte aérea (folhas e inflorescências) e de 40,3% e 41,1% para a parte radicular, nos cultivos com pH 5,5 e 6,0, respectivamente, em todas as doses de Cu adicionadas no solo. Segundo Prado (2020), a essencialidade de Zn está entre 10,0 a 30,0 mg kg<sup>-1</sup>, atuando diretamente na síntese e conservação das auxinas, controle hormonal, e no processo de respiração.

Os conteúdos de boro (B) na massa seca de tagetes teve uma partição média de 71,5% e 76,7% para parte aérea (folhas e inflorescências) e de 28,5% e 23,3% para a parte radicular, nos cultivos com pH 5,5 e 6,0, respectivamente, em todas as doses de Cu adicionadas no solo (Figuras 4m, 4n e 4o). Para Epstein e Bloom (2006), o B a faixa de essencialidade é de 12,0 a 50,0 mg kg<sup>-1</sup>, sendo importante desde a floração até o crescimento de novas raízes e brotações.

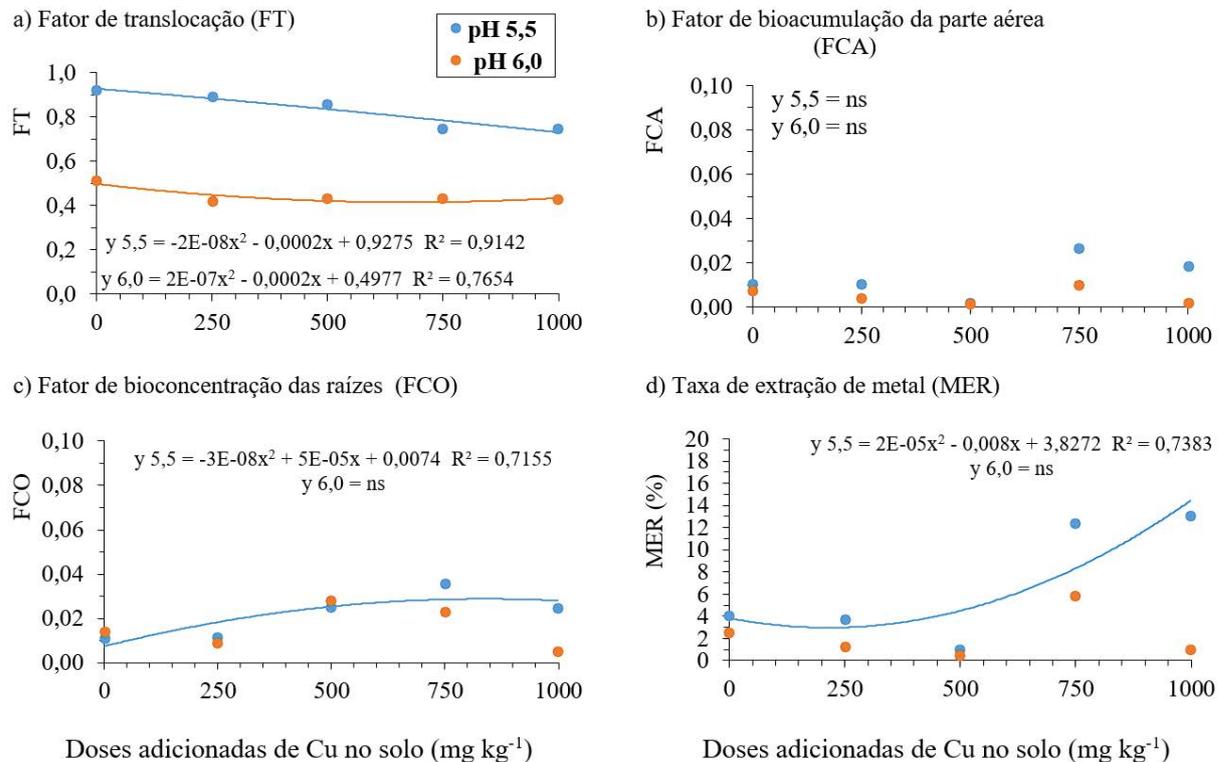
Menegaes *et al.* (2020) avaliando as espécies ornamentais de cala-lily, cravina-de-jardim e crisântemo cultivados em solos com excesso de Cu, verificaram respostas variadas de cada espécie, sendo as três tolerantes ao cultivo nessas condições. Para Taiz e Zeiger (2009), a nutrição mineral apresenta diferente interação no sistema solo-água-planta-atmosfera, podendo ter efeitos sinérgicos como antagônicos, variando diretamente com as condições ecofisiológicas da espécie vegetal e edafoclimáticas da região de estudo.

### 3.2 FATORES FITORREMEIATIVOS

Verificou-se que os fatores de translocação (FT), bioacumulação da parte aérea (FCA) e bioconcentração das raízes (FCO) foram em média de 0,674 e 0,368; 0,013 e 0,005; 0,023 e 0,014, para os cultivos de tagetes com pH 5,5 e 6,0, respectivamente, em todas as doses de Cu adicionadas no solo (Figuras 5a, 5b e 5c). Nota-se que o FT para ambos os pH do solo seguiram a mesma tendência, reduzindo conforme o incremento de Cu no solo. Como supracitado as partições de Cu nas massas secas foram maiores nas partes radiculares. Segundo Taiz e Zeiger (2009), isso ocorre como uma estratégia da planta em se adaptar as novas condições biogeoquímicas.

Já os baixos valores dos fatores FCA e FCO, indicam que a planta não se caracteriza como fitorremediadora do solo. Resultados semelhantes aos nossos foram verificados por Menegaes *et al.* (2017a), classificando as plantas de crisântemo cv. Dark Fiji como plantas extratoras de Cu, tendo fatores médios de FCA e FCO de 0,05 e 0,14, respectivamente.

De acordo com McGrath e Zhao (2003) e Menegaes *et al.* (2020), através dos fatores fitorremediativos pode-se classificar uma planta como adaptada, tolerante ou fitorremediadora, onde mais próximo de um (1,0) mais eficiente é a translocação do elemento na planta, bem como seu acúmulo na massa seca. Neste caso, pode-se classificar a planta de tagetes como planta tolerante ao cultivo em solos com excesso de Cu, afetando negativamente a sua altura típica, no entanto, mantendo seu florescimento. O oposto foi verificado por Menegaes *et al.* (2017b) que verificaram tolerância da espécie de cala-lily cultivada em solo com alto teor de Cu, afetando negativamente o seu desenvolvimento e floração.



**Figura 5.** 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 (*Tagetes patula* L.) cultivadas em solo nos pH de 5,5 e 6,0 e nas doses adicionadas de Cu de 0; 250; 500; 750 e 1.000 mg kg<sup>-1</sup>. ns: não significativo.

A taxa de extração de metal (MER) também confirma a tolerância das plantas de tagetes a serem cultivadas em solos contendo excesso de Cu, com médias de 6,822 e 2,194 para os cultivos de tagetes com pH 5,5 e 6,0, respectivamente, os em todas as doses de Cu adicionadas no solo (Figuras 5d). Notou-se que em pH 5,5 conforme o incremento de Cu no solo maior a taxa MER, mesmo que a planta de tagetes seja apenas tolerante ao Cu e não fitorremediativa.

Assim como Marques *et al.* (2011), Mackie *et al.* (2012) e Menegaes *et al.* (2017a; 2017b; 2019; 2020), nota-se que é fundamental continuar pesquisas com as plantas tolerantes ao excesso de Cu no solo, especialmente, em áreas de cultivo de vitivinícolas, onde essas plantas auxiliam na cobertura e na fertilidade do solo, além do controle da erosão. Tornam-se uma alternativa de cultivo para áreas contaminadas com Cu, com baixo custo e impacto ambiental, quando plantas com caráter ornamental ainda embeleza essas áreas.

#### 4 CONCLUSÕES

As plantas de tagetes tiveram bom desenvolvimento vegetativo quando cultivadas em ambos pH no solo. As diferentes doses de Cu no solo afetaram negativamente a altura de planta, conforme o incremento

de Cu no solo. No entanto, não apresentaram indícios de fitotoxidez, podendo ser cultivadas nessas áreas, sendo classificada como planta tolerante ao cultivo com elevadas concentrações de Cu do solo, sem alteração nas suas características ornamentais.

## REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. *et al.* Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 1, p. 711-728, 2013. DOI:10.1127/0941-2948/2013/0507

BELLÉ, R. A. **Caderno Didático de Floricultura**. Santa Maria: UFSM, 2000.

BOUERI, M. A.; MARTINEZ, R. A.; LUNARDI, D. M. C. Avaliação de parâmetros de crescimento na cultura do *Tagetes patula* em ambiente protegido e a campo. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 153-159, 2010.

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.

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**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, 2013.

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 Ciências do Solo**, 32:1479-1487, 2008.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**. Londrina: Editora Planta, 2006.

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

JEYAKUMAR, P. *et al.* Bioavailability of copper and zinc to poplar and microorganisms in a biosolids-amended soil. **Australian Journal of Soil Research**, Sydney, v. 48, p. 1-11, 2010.

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

LORENZI, H. **Plantas para jardim no Brasil: herbáceas, arbustivas e trepadeiras**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2013.

MACKIE, K. A.; MÜLLER, T.; KANDELER, E. Remediation of copper in vineyards - A mini review. **Journals Environmental Pollution**, California, v. 167, n. 1, p. 16-26, 2012. DOI: 10.1016/j.envpol.2012.03.023.

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

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. DOI: 10.1590/S0100-06832011000100001.

- MCGRATH, S. P.; ZHAO, F. J. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. **Current Opinion in Biotechnology**, New York, v. 14, n. 3, p. 277-282, 2003.
- MENEGAES, J. F. *et al.* Avaliação do potencial fitorremediador de crisântemo em solo com excesso de cobre. **Horticulture Ornamental**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 63-71, 2017a. DOI: 10.14295/oh.v23i1.915.
- MENEGAES, J. F. *et al.* Consumo hídrico de calla lily submetida ao manejo de irrigação via solo e teores de cobre. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 1, p. 74-86, 2017b. DOI: 10.15809/irriga.2017v22n1p74-86.
- MENEGAES, J. F.; SWAROWSKY, A.; BELLÉ, R. A.; BACKES, F. A. A. L. Avaliação do potencial fitorremediador de cravina-chinesa cultivada em solo com excesso de cobre. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 12, n.4, p. 1353-1370, 2019. DOI:10.17765/2176-9168.2019v12n4p1353-1370
- MENEGAES, J. F.; SWAROWSKY, A.; BELLÉ, R. A.; BACKES, F. A. A. L. Desenvolvimento e potencial fitorremediador de espécies florícolas em resposta ao excesso de cobre no solo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 13, n. 3, p. 1163-1183, 2020. DOI: 10.17765/2176-9168.2020v13n3p1163-1183.
- MERTENS, J.; LUYSSAERT, S.; VERHEYEN, K. Use and abuse of trace metal concentrations in plant tissue for biomonitoring and phytoextraction. **Environmental Pollution**, New York, v. 138, n. 1, p. 1-4, 2005. DOI: 10.1016/J.ENVPOL.2005.01.002.
- PERES, F. S. C.; FERNANDES, O. A.; SILVEIRA, L. C. P.; SILVA, C. S. B. Cravo-de-defunto como planta atrativa para tripses em cultivo protegido de melão orgânico. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.4, p.953-960, 2009.
- PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. São Paulo: UNESP, 2020.
- SILVA, R. F. *et al.* Efeito do cobre sobre o crescimento e qualidade de mudas de *Stryphnodendron polyphyllum* Mart. E *Cassia multijuga* Rich. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 717-725, 2014. DOI: 10.5902/1980509815730.
- SILVEIRA, L. C. P. *et al.* Marigold (*Tagetes patula* L.) as an attractive crop to natural enemies in onion fields. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 6, p. 780-787, 2009. DOI: 10.1590/S0103-90162009000600009..
- 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.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- 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**, Bethesda, v. 368, n. 1, p. 456-464, 2006. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2006.01.016
- ZANCHETA, A. C. F. *et al.* Fitoextração de cobre por espécies de plantas cultivadas em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 737-744, 2011. DOI: 10.1590/S0006-87052011000400002.