

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**

**FREDERICO LUIZ PEREIRA**

**VIABILIDADE DO BIOSÓLIDO NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATO NO  
CULTIVO DE CRISÂNTEMO**

**Alfenas/MG  
2018**

**FREDERICO LUIZ PEREIRA**

**VIABILIDADE DO BIOSSÓLIDO NA COMPOSIÇÃO DE SUBSTRATO NO  
CULTIVO DE CRISÂNTEMO**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas/UNIFAL-MG. Área de concentração: Tecnologias Ambientais Aplicadas

**Orientador:** Prof. Dr. Sandro Barbosa

**Coorientadora:** Dr<sup>a</sup> Marília Carvalho

**Alfenas/MG  
2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca Central - Sede

P436v Pereira, Frederico Luiz  
Viabilidade do bioossólido na composição de substrato no cultivo  
de crisântemo / Frederico Luiz Pereira. – Alfenas/MG, 2018.  
46 f. –

Orientador: Sandro Barbosa  
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade  
Federal de Alfenas, 2018.  
Bibliografia.

1. *Chrysanthemum*. 2. Nutrição. 3. Fisiologia. 4. Propriedades  
Físico-químicas. I. Barbosa, Sandro. II. Título.

CDD-635.93399



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Alfenas / UNIFAL-MG  
Programa de Pós-graduação – Ciências Ambientais  
Rua Gabriel Monteiro da Silva, 714. Alfenas - MG CEP 37130-000  
Fone: (35) 3701-9685 (Coordenação) / (35) 3701-9262 (Secretaria)  
<http://www.unifal-mg.edu.br/ppgca/>




**FREDERICO LUIZ PEREIRA**

**“Viabilidade do bioossólido na composição de substrato no cultivo de crisântemo”**

A Banca julgadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de Concentração: Ciências Ambientais.

Aprovado em: 27 de fevereiro de 2018.

Prof. Dr. Sandro Barbosa  
Instituição: UNIFAL - MG

Assinatura:  \_\_\_\_\_

Profa. Dra. Patrícia Duarte de Oliveira Paiva  
Instituição: UFLA

Assinatura:  \_\_\_\_\_

Prof. Dr. Felipe Campos Figueiredo  
Instituição: IFSULDEMINAS - Muzambinho

Assinatura:  \_\_\_\_\_

Dedico a Deus, a minha família, a minha namorada,  
aos amigos e companheiros de trabalho, pelo apoio  
e compreensão durante a realização deste trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço sempre e primeiramente a Deus, pela força e saúde concedida na realização deste trabalho, por sem a presença de Deus em nossas vidas, nada seria possível;

À minha mãe Helena, e ao meu pai Luiz Pereira, que mesmo não estando mais presente em vida, sempre me passou bons ensinamentos, irmãs Cristiane, Caroline, Camilla, irmão João Pedro, cunhados Eduardo e Pedro, que sempre foram e sempre serão minha base de vida, por toda a paciência, compreensão e apoio em diversos momentos; Aos meus sobrinhos, Luiz Eduardo e Pedro Emanuel, pelos momentos de risos e descontração; Aos meus tios e tias, presentes e ausentes, que participam da minha formação pessoal e profissional, a eles agradeço pelo apoio, ensinamentos e carinho recebido;

À minha querida e amada namorada Ursuléia, que mesmo em alguns momentos não podendo estar mais perto, sempre se fez presente em minha vida, nos momentos bons e ruins, me dando forças, apoio, sendo paciente, e não mediu esforços e nem trabalho, para que esse projeto e esse mestrado pudesse ser realizado, a ela meus mais sinceros agradecimentos e carinho por tudo;

Ao Sr<sup>o</sup> Mario e a Sr<sup>a</sup> Ana Maria, pela grande colaboração e ajuda prestada, em realizar os cortes e as costuras dos panos que muito nos serviu de apoio para conduzir os trabalhos, a eles meus mais sinceros agradecimentos;

À Unifenas – Campus Alfenas, em nome dos professores Douglas e Paulo Landgraf por ter nos concedido o espaço para realização do trabalho; Ao Sr<sup>o</sup> Leonel, funcionário do setor de agronomia, pela grande ajuda prestada e pelo grande apoio;

À Cooxupé, em nome do responsável Márcio Donizete, pela grande colaboração na realização das análises químicas;

À professora Priscila, responsável pelo laboratório de Biotecnologia do Campus Muzambinho, por ter gentilmente cedido o espaço do laboratório para as pesagens de material; À Dona Ciomara, funcionária do laboratório Biogen, pela ajuda e paciência que teve conosco durante as avaliações do experimento, à Denise secretária do programa, por toda a atenção e as meninas responsáveis pela limpeza do laboratório, muito obrigado. Aos colegas de mestrado, Elba, Roberto e Letícia Bressanim, pela grande ajuda e colaboração prestada durante a realização das avaliações.

Ao professor Luiz Beijo, pela grande ajuda e colaboração na realização das análises estatísticas; Ao professor Breno, por todo o conhecimento, atenção, apoio, ajuda e colaboração

prestada, para que fosse possível realizar este trabalho, suas intervenções foram muito importantes;

À minha Coorientadora Marília, por primeiramente ter confiado em mim na realização deste trabalho, por todos os conhecimentos transmitidos, atenção, paciência, dedicação, e por fazer parte da minha formação profissional;

Ao meu orientador Sandro, pela confiança depositada na realização do trabalho, paciência, apoio, atenção, e pelos conhecimentos adquiridos;

Enfim, agradeço a todos que de uma forma e outra, contribuíram para realização deste trabalho.

## RESUMO

Os resíduos de esgotos provenientes das estações de tratamento são conhecidos como biossólidos. Estes são ricos em macro e micronutrientes como (N, P, Ca, Mg, B, Fe, Zn, Cu) entre outros, que são essenciais as plantas e por isso tem potencial de uso na agricultura. Objetivou-se avaliar o fornecimento de nutrientes para o crisântemo cultivar *White Diamond*, bem como, os aspectos nutricionais da planta, fisiológicos e de crescimento, pela adição de biossólido em diferentes concentrações no substrato. Para analisar os aspectos nutricionais, bioquímicos, fisiológicos e de crescimento, as plantas foram coletadas semanalmente e separadas de acordo com os diferentes órgãos (raiz, caule, folha e inflorescência) em um período de 8 semanas, correspondendo ao período de condução das plantas na fase reprodutiva, onde a cada semana, foram coletados 5 vasos de cada concentração, totalizando 90 plantas para análise. No laboratório, foram realizadas as análises de crescimento das plantas e em seguida, foram separadas de acordo com os diferentes órgãos, para determinação e quantificação das concentrações dos diferentes elementos nas diferentes partes e posterior verificação do estado nutricional. Os resultados mostraram que houve absorção e maior acúmulo de S, B, Fe, Mn, Mo nas raízes, bem como um alto acúmulo de Al. Nas folhas e inflorescências, foram observados maiores acúmulos de P, Ca, Mg, independente da concentração de biossólido. No caule, não foram observados maiores acúmulos. As concentrações de até 60% de biossólido, promoveram as melhores respostas conforme exigências nutricionais das plantas. As concentrações de até 40% de biossólido, promoveram os melhores resultados para a maioria das variáveis de crescimento, bioquímicas e fisiológicas avaliadas. Concentrações acima de 80% de biossólido, não foram favoráveis, pois provocaram atrasos no crescimento das plantas, promovendo plantas com baixo comprimento de parte aérea e raiz. Conclui-se que o composto de biossólido, tem potencial como fonte de nutrientes no cultivo de crisântemo. Concentrações de até 40% de biossólido, ofereceram melhores condições físicas ao substrato e nutricionais as plantas, ao promoverem plantas com melhores aspectos de crescimento e desenvolvimento, conforme padrões de exigência no mercado. Portanto, a utilização do biossólido no cultivo de crisântemos em vasos é uma excelente alternativa para destinação deste resíduo.

Palavras-chave: *White Diamond*. Lodo de esgoto. Nutrição. Fisiologia. Aspectos físico-Químicos



## ABSTRACT

Waste from sewage treatment plants are known as biosolids. These are rich in macro and micronutrients (N, P, Ca, Mg, B, Fe, Zn, Cu) among others, which are essential as plants and therefore have potential use in agriculture. The objective of this study was to evaluate the supply of nutrients for the cultivation of *White Diamond*, as well as the plant nutritional and physiological parameters of growth, to the addition of biosolids in different concentrations without substrate. The nutritional, biochemical, physiological and growth substrates, as the plants were collected and exchanged according to the period of 8 weeks, correspond to the period of realization of the plants. In the reproductive phase, each week, 5 pots were collected from each concentration, totaling 90 plants for analysis. Without laboratory, they were the species of plants of growth and then, were separated according to the species of organ, for determination and quantification of species in the different parts and later verification of the nutritional state. The results were removed and highlighted as S, B, Fe, Mn, Mo in the roots, as well as a high accumulation of Al. In the leaves and inflorescences, larger accumulations of P, Ca, Mg, independent of the biosolid concentration were observed. No stem, no greater accumulations were observed. As a substrate of 60% biosolid, they were promoted as directed to the conditioned plants. As a result of 40% biosolid, promote positive results for an evaluation of the growth, biochemical and physiological variables evaluated. Concentrations above 80% of biosolids were not favorable, as they caused delays in the growth of plants, they promoted plants with low shoot length and root length. It is concluded that the biosolid compound has potential as a source of nutrients not chrysanthemum cultivation. Concentrations of up to 40% of biosolid, the best physical sources to the substrate and nutritional as plants, when making new plants with better rates of growth and development, according to demanding standards in the market. Therefore, the use of the Bosphorus in the cultivation of potted chrysanthemums is an excellent alternative to destine this product.

Keywords: *White Diamond*. Sewage sludge. Nutrition Physiology. Physical-chemical

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	DESENVOLVIMENTO	11
2.1	Lodo de esgoto	11
2.2	Biossólidos como fonte de nutrientes	14
2.3	Origem, caracterização da planta de crisântemo e condições de cultivo	19
2.4	Nutrição mineral do crisântemo	21
3	JUSTIFICATIVA	23
4	OBJETIVOS	24
4.1	Objetivo geral	24
4.2	Objetivos específicos	24
	REFERÊNCIAS	25
	SEGUNDA PARTE	34
	Production and nutrition of substrate grown Chrysanthemums with the addition of biosolids	35
	Introduction	35
	Results	36
	Macronutrient accumulation in chrysanthemum plants	36
	Micronutrient accumulation in chrysanthemum plants	37
	Discussion	37
	Methods	39
	References	40
	Additional information	44

## 1 INTRODUÇÃO

O biossólido é a denominação pela qual são conhecidos os resíduos gerados em Estações de Tratamento (ETE), a partir do tratamento do lodo de esgoto, a fim de deixá-los em condições permitidas pela legislação em relação aos aspectos físico-químicos e sanitários. São produzidos em enormes quantidades pelo mundo e exercem uma forte pressão sobre o ambiente devido à possibilidade de conter fontes poluidoras como resíduos de metais pesados (UN-HABITAT, 2008). De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o processo de produção dos lodos de esgoto, tende a um crescimento no mínimo proporcional ao crescimento da população humana e a solução para sua disposição é uma medida que se impõe com urgência. No entanto, os biossólidos, constituem uma importante fonte de matéria orgânica e de nutrientes e sua aplicação pode trazer diversos benefícios à agricultura (CONAMA, 2006).

No Brasil, a utilização do biossólido é experimentada cada vez mais em atividades agrícolas e em alguns casos, existe o monitoramento por universidades e instituições de pesquisa quanto ao seu uso (REZENDE, 2005). A composição do biossólido pode variar de uma estação para outra e depende da origem do material a ser tratado e ainda do tipo de tratamento que ele tenha recebido, da quantidade e forma como foi tratado (BRADY; WEIL, 2013). O uso como componente do substrato para produção torna-se uma alternativa viável para o reaproveitamento desse resíduo, assim como para sua melhor destinação final (CALDEIRA et al., 2013).

Diversas pesquisas já foram realizadas mostrando sua aplicação na recuperação de áreas degradadas e existem ainda trabalhos comparando o biossólido em mistura com outros tipos de substrato para produção ornamental como fonte de nutrientes. Uma boa aplicabilidade do biossólido seria sua utilização como componente de substratos para o cultivo ornamental em vasos. No setor de produção de flores, são testados diferentes tipos de substratos, na tentativa de se encontrar um material adequado e que ofereça boas condições para o crescimento das espécies, garantindo uma boa produção (HECK et al., 2013).

Estudos com plantas ornamentais mostram crescimento de 10 a 60% das plantas com utilização de biossólidos (BUGBEE 2002; LOMBARD et al., 2011). No entanto, são necessárias mais pesquisas que comprovem os benefícios gerados com o seu uso na melhoria de propriedades físico-químicas de substratos e principalmente uma avaliação para definição de taxas de aplicação, viabilidade técnica, segurança ambiental específica para cada resíduo, o comportamento da planta submetida a estas condições e, principalmente, verificar a qualidade

final das plantas frente à exposição à este resíduo (FERREIRA; ANDREOLI; JÜRGENSEN, 1999).

No setor de produção ornamental, o crisântemo possui grande interesse no mercado de flores e uma alta procura por parte do consumidor devido à beleza e durabilidade de suas inflorescências. É considerada uma planta de cultivo relativamente fácil, mas que exige uma grande tecnologia de cultivo, além de um substrato que ofereça boas características físicas e químicas (PAIVA; ALMEIDA, 2012). Uma das flores mais populares no mundo e, juntamente com as rosas, os cravos e mais recentemente a gérbera faz parte do elenco básico de todas as floriculturas. O crisântemo apresenta disponibilidade e diversidade de cultivares para produção e seus aspectos referentes à morfologia, número de flores e variedade de cores e formatos de inflorescências tornam-nas mais atrativas para o consumo (BARBOSA, 2003).

Portanto, este estudo teve por objetivo geral avaliar o potencial nutricional do biossólido, as alterações físicas e químicas promovidas no substrato através da adição no cultivo de crisântemo e ainda avaliar o crescimento e desenvolvimento das plantas, suas características morfofisiológicas e nutricionais, submetidas em diferentes concentrações de biossólido e identificar a(s) melhor(es) concentrações para o cultivo da espécie.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Na sequência, é apresentada uma revisão da literatura atualizada referente aos temas abordados neste estudo, com a finalidade de gerar embasamento e conhecimento teórico para a análise e discussão dos resultados obtidos.

### 2.1 Lodo de esgoto

A maioria das cidades brasileiras não apresentam rede coletora de esgotos e/ou estações de tratamento dos mesmos, muitas vezes, o esgoto é lançado diretamente nas coleções hídricas, poluindo-as e resultando em situações caóticas como a do rio Tietê em São Paulo (PIRES, 2006). A técnica de tratamento do lodo de esgoto foi importada e implementada no Brasil, mas não houve preocupação com o destino do resíduo produzido (TELLES, 2013).

O tratamento do lodo de esgoto pode se dar por um ou por uma combinação dos seguintes métodos genéricos:

- a) Processos biológicos (digestão anaeróbica / aeróbica, compostagem);
- b) Processos químicos (tratamento com limas);
- c) Processos físicos (pasteurização, hidrólise térmica, secagem térmica, secagem ao ar / solar).

De acordo com Lu; He e Stoffella (2012), os métodos de tratamento do lodo de esgoto se baseiam em desidratação, digestão anaeróbica (AD), compostagem, estabilização alcalina, granulação ou secagem térmica. O lodo de esgoto tratado por um desses métodos é frequentemente denominado biossólido (CLARK; ESMITH, 2011).

Em 2004 a produção de biossólido no Brasil estava entre 150 a 220 mil toneladas de matéria seca e considerando ainda que neste mesmo período apenas 30% da população urbana brasileira tinha esgoto tratado, imaginava-se que esse total superaria 400 mil toneladas por ano, caso os esgotos fossem totalmente tratados (SOARES, 2004). Atualmente, apenas 42,67% da população brasileira, tem acesso à esgoto tratado (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2017).

O biossólido é um importante tipo de resíduo orgânico entre as várias categorias de resíduos sólidos (SINGH et al., 2014). São produzidos durante o tratamento do esgoto doméstico ou águas residuais, por processos biológicos, físicos e químicos usados para remover

os sólidos suspensos, reduzir e remover o excesso de matéria orgânica, de agentes patogênicos e metais pesados que podem estar presentes em níveis acima do permitidos (JACOBS; McCREARY, 2001).

É aplicado o termo “biossólido” a um lodo de esgoto que passou pelo processo de tratamento para atender a certos padrões de aplicação ao solo (baixos níveis de patógenos e contaminantes) e assim apresentar características que permitem o seu uso agrícola (BRADY e WEIL, 2013; ANDREOLI et al., 2006; MELO; MARQUES, 2000). Um resíduo sólido, semi-sólido ou líquido gerado durante o tratamento de esgoto doméstico, predominantemente orgânico, com acúmulos variáveis de componentes inorgânicos obtido do tratamento de águas residuárias, com a finalidade de recuperar sua qualidade, de modo a permitir o seu retorno ao ambiente, sem causar poluição (CASSINI; VAZOLLER; PINTO, 2003). A Environmental Protection Agency (EPA) (1994) define os biossólidos como "o produto orgânico primariamente produzido pelos processos de tratamento de águas residuais municipais que podem ser reciclados de forma benéfica" como emendas ao solo. Quando distribuído desordenadamente, o resíduo pode causar impactos no meio ambiente devido à presença de nitrato e de metais pesados como chumbo (Pb), cromo (Cr) e cádmio (Cd) (COLODRO, 2005).

Os esgotos sanitários constituem, sem dúvida, a principal fonte poluidora das bacias hidrográficas, mesmo nas regiões mais industrializadas. As principais preocupações associam-se ao lançamento de matéria orgânica biodegradável e de nutrientes, além da contaminação biológica (TELLES, 2013). Os principais riscos ambientais relacionados com a reciclagem do lodo no meio ambiente são apresentados pelo conteúdo de metais, de compostos orgânicos, e de microrganismos patogênicos e pelos riscos de poluição das águas superficiais e subterrâneas. Ao longo do tempo, diferentes meios para destinação segura dos biossólidos tais como incineração, aplicação e preenchimento de terras (MARQUÍ et al., 2016; KOMINKO; GORAZDA; WZOREK, 2017) e despejos marítimos (SANCHEZ MONEDERO et al., 2004) foram explorados. Entretanto, o despejo nos oceanos teve seus deméritos devido à poluição das águas e também porque não levaram em consideração à reutilização benéfica dos constituintes dos biossólidos (SINGH; AGRAWAL, 2009).

O tratamento adequado do lodo de esgoto, para fins agrícolas mostra-se como uma das alternativas mais apropriadas, pois esse material tem um potencial fertilizante que não pode ser desprezado (SILVA et al, 2004). A dinâmica de cada elemento químico deve ser analisada frente às dosagens consideradas tóxicas e aos diferentes níveis de exposição (FERREIRA; ANDREOLI; JÜRGENSEN, 1999). Tem-se por premissa a condição de que os efluentes

predominantemente orgânicos biodegradáveis devem ser prioritariamente tratados por processos biológicos, normalmente mais eficientes e econômicos (TELLES, 2013). De acordo com Fernandes (2000) e Gray (2005), a composição média do esgoto aponta para uma mistura de água (99,9%) e sólidos (0,1%), sendo que, do total de sólidos, 70% são orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras) e 30% inorgânicos (partículas minerais, sais e metais) e durante o processo de tratamento, ocorre a separação por decantação das partes sólida e líquida.

A quantidade de material retirado das águas residuárias durante o processo de tratamento tem aumentando bastante. Esse material sólido deve também ser descartado de forma segura. Algumas cidades trabalham com propriedades agrícolas nas quais o biossólido é aplicado no solo em que são produzidas culturas (geralmente, grãos para rações e forragens para animais), as quais compensam uma parte da despesa com descarte de efluentes (BRADY; WEIL, 2013). Nos Estados Unidos, Canadá e em vários países da Europa, grande parte do lodo doméstico é destinado ao uso agrícola, aproveitamento que chega a 65% no caso dos norte-americanos (ALAMINO, 2010). Países desenvolvidos e em desenvolvimento, estão lutando efetivamente para reutilizar as águas residuais e especialmente os biossólidos tratados. Um esforço é feito pela comunidade científica para eliminar o conceito de "desperdício" e substituí-lo pelo conceito de "reciclagem de recursos", por meio de um efetivo e moderno gerenciamento, que inclui questões de conversão, por exemplo dos biossólidos em produtos úteis, como em fertilizantes orgânicos (UN-HABITAT, 2008).

A qualidade do efluente líquido tratado irá depender de sua destinação final em corpos d' água receptores, quando então deverão ser obedecidos os padrões de lançamento, em função da classificação desse corpo d' água de acordo com o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2006).

Aproximadamente 0,1% das terras agrícolas disponíveis nos Estados Unidos são tratadas com biossólidos (USDA, 1997). Existem algumas preocupações com o uso de biossólido, como a possível presença de agentes patogênicos, hormônios e antibióticos. Isto é uma das razões pelas quais é difícil aceitar o uso de biossólidos como fertilizantes em países como a Suécia (AGÊNCIA FLORESTAL SUECA, 2008). A eliminação de biossólidos de forma inadequada representa um grande problema ambiental e econômico. O uso agrícola é geralmente considerado como o melhor meio de destinação. Os biossólidos melhoraram as propriedades do solo, fornecendo nutrientes e aumentando a matéria orgânica. Contudo, pode haver um efeito potencialmente prejudicial decorrente da introdução de metais pesados em solos, com a disposição de biossólidos. É importante destacar, que para fins agrônômicos, o biossólido precisa ser analisado quimicamente (HEALY et al., 2016; MOSSA et al., 2017).

No cenário atual de aumento da população global, a geração de resíduos sólidos como o biossólido deve aumentar notavelmente. A eliminação inadequada e não científica de biossólido, ocasiona vários problemas ambientais, como a contaminação das águas subterrâneas, degradação do solo, causando desequilíbrios na cadeia alimentar. Assim, de acordo com os princípios da hierarquia de gestão de resíduos, a reciclagem agrícola se torna uma maneira sustentável e uma opção preferida em relação aos métodos de disposição tradicionais. Usando o seu potencial para reciclar nutrientes vegetais valiosos e com uma alteração efetiva do solo não só ajudará na sustentabilidade de gestão desses resíduos, mas também na minimização dos negativos associados à sua disposição tradicional (SRIVASTAVA et al., 2016; SINGH et al., 2017). Os biossólidos tratados são um recurso abundante e renovável que oferece uma variedade de benefícios. Quando aplicado à terra, podem melhorar os rendimentos das culturas através da fertilização, aumentar a água do solo (armazenamento), melhorar a qualidade do solo, evitar emissões de gases de efeito estufa e acelerar o sequestro de carbono, melhorando a capacidade do solo para armazenar carbono (BROWN; TRLICA, 2013).

Uma vez que a tecnologia dos sistemas de tratamentos de lodo de esgoto melhorou, e houve a expansão das estações de tratamento, a poluição da água, foi reduzida. Durante o processo de tratamento, alta quantidade de resíduo é produzida e quando tratado e processo de forma eficiente, os biossólidos são materiais ricos em nutrientes que podem ser usados na produção de energia ou como fertilizante na agricultura, sendo esta última opção mais sustentável para a gestão dos biossólidos (RASTETTERT; GERHARDT, 2017).

## 2.2 Biossólidos como fonte de nutrientes

O Conselho Nacional de Meio Ambiente define o biossólido como uma fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas e sua aplicação no solo pode trazer benefícios à agricultura (CONAMA, 2006).

Os lodos de esgoto, quando são estabilizados por digestão ou outro processo de tratamento podem ser usados na agricultura como um agente de correção ou fertilizante orgânico rico em nutrientes, podendo ser beneficentemente utilizados como condicionadores de solo, contribuindo para as propriedades físico-químicas, como por exemplo, a estabilidade de



agregados, densidade aparente, porosidade e retenção de água, que ao ser acrescido pela aplicação de biossólido, altera o balanço de nutrientes disponível as plantas (WANG et al., 2008).

O biossólido contém concentrações variadas de macronutrientes e micronutrientes, necessários ao crescimento das plantas, com destaque para os macronutrientes nitrogênio (N) e fósforo (P). Este último por sua vez é um elemento essencial para a produtividade das culturas o qual há uma preocupação quanto à sua escassez global (CORDELL et al., 2009). Resíduos orgânicos como o biossólido, pode ser uma fonte renovável de P para uso agrícola, aliviando então a questão da escassez (ASHLEY et al., 2011).

O fósforo é um recurso não renovável, sendo um elemento essencial e, portanto, limitante para o crescimento das plantas que não pode ser produzido sinteticamente ou substituído por qualquer outra (RASTETTERT, GERHARDT, 2017). O P está presente nos biossólidos nas formas orgânicas e inorgânicas, no entanto, 70% a 90% desse P encontra-se na forma inorgânica, podendo formar ligações com alumínio (Al), ferro (Fe), manganês (Mn) e óxidos hidratados. O P orgânico é convertido em P inorgânico pelo processo de mineralização. Ao contrário do nitrogênio, o P é imóvel no solo e sua lixiviação para águas subterrâneas é insignificante (Wolf, Baker, 1985), no entanto, é geralmente aceito que a lixiviação de P a partir de solos modificados em biossólidos é mínima (TORRI et al., 2017).

Uma proporção substancial de P aplicado através dos fertilizantes é adsorvido pelos coloides e superfícies minerais. A solubilização subsequente é regida por propriedades físico-químicas do solo, clima, disponibilidade de outros nutrientes importantes e a forma em que foi aplicado (BLAKE et al., 2000; KIRK, 2002).

A quantidade de biossólido reciclada para a agricultura varia consideravelmente entre os Estados membros da União Europeia (UE), onde a Irlanda lidera o ranking com a utilização de aproximadamente 90% do lodo de esgoto tratado na agricultura (SMITH, 2008). Nos EUA, aproximadamente 49% dos biossólidos são utilizados na agricultura, desse total, 44,5% no paisagismo, 2,5% na horticultura, 1,5% na restauração de terras e 0,5% na silvicultura (NEBRA, 2007). Já na Austrália, 69% dos biossólidos produzidos, 59% são utilizados na agricultura, sendo 6% na compostagem para o paisagismo, 4% na reabilitação de terras e 20% são armazenados, os restantes (3%) enviados para aterro, ou descarregados para o oceano e rota não especificada (7%) (AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND BIOSOLIDS PARTNERSHIP, 2013).

Em seus estudos sobre o efeito residual com a aplicação de biossólidos, Sigua (2009) concluiu que este promoveu efeitos residuais elevados no solo e também melhorias

significativas nas suas propriedades. Este efeito residual segundo o autor é considerado significativo, pois apenas 50% do total de 1 milhão de hectares de áreas com pastagens são fertilizadas com o fertilizante inorgânico contendo P anualmente. Isso mostra claramente o potencial dos bio sólidos em reduzir o uso de fertilizantes inorgânicos, gerando vantagens na economia e no meio ambiente.

De acordo com Codling (2014), em áreas de produção de *Triticum aestivum* que receberam bio sólidos por 16 a 24 anos, o P tornou-se o elemento mais disponível a ser aproveitado como nutriente para as plantas. Um dos maiores benefícios associados ao uso de bio sólidos, é o fornecimento de fósforo às culturas, que se supõe estar mais disponível para as plantas do que o P em fertilizantes minerais (BERGKVIST et al., 2003). Para Loganathan et al. (2003), a utilização de bio sólidos poderia reduzir a dependência de fertilizantes inorgânicos como o superfosfato. Mehrotra et al., (2016) também considera que além da reciclagem de nutrientes benéficos das plantas, o bio sólido pode com o requisito de fertilização comercial ser usado como substituto de fertilizantes químicos. A sua aplicação ganhou popularidade em vista de seu potencial para reciclar componentes valiosos como M.O, N, P e outros nutrientes essenciais as plantas (MARTINEZ et al., 2002).

A matéria orgânica (M.O) dos bio sólidos varia de 40% a 60% e, por esse motivo, é bastante utilizado na recuperação de solos degradados por promover melhorias nas propriedades físicas do solo (aumentar a agregação, retenção de umidade e por reduzir a densidade aparente do solo) melhorando o ambiente das raízes, e as plantas tornam-se mais capazes de suportar períodos secos (LATARE et al., 2014). A matéria orgânica de bio sólidos também é importante por aumentar a capacidade de troca de cátions (CTC) do solo e o alto nível de M.O pode ajudar a diminuir a disponibilidade de metais pesados para absorção de plantas. Esses efeitos devem persistir por vários anos após a aplicação, dependendo das condições climáticas, estrutura e manejo do solo. Um material bio sólido típico pode apresentar em torno de 40% de matéria orgânica, aproximadamente 4% de nitrogênio, 2% de fósforo e os demais macronutrientes (Mg, S e Ca) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Zn, Mo, Cl, Mn) e outros elementos como Co, Si e Na. De acordo com Usman et al., (2012), a aplicação de bio sólidos em áreas ricas em carbono, melhoram a vitalidade do solo, por promover melhores condições aos microrganismos benéficos, aumentar retenção de água, fornecimento e retenção de nutrientes.

As alterações provocadas pelos bio sólidos podem afetar a atividade enzimática nos meios de cultivo duas maneiras:

- a) As propriedades da superfície em fase sólida dos bioossólidos podem levar a um aumento na estabilização de enzimas ou podem aumentar a atividade enzimática do solo, fornecendo substratos tais como peptídeos e proteínas que representam a proliferação microbiana;
- b) As emendas de bioossólidos, podem produzir um efeito positivo sobre a atividade dos microrganismos, uma vez que as enzimas ativas produzidas por estes microrganismos facilitam a mineralização e reduzem a complexa barreira de energia que promove decomposição da matéria orgânica (TORRI et al., 2014).

Os compostos de N orgânicos são lentamente convertidos via atividade microbiana chamada "mineralização" para formas inorgânicas ou disponíveis para a planta, apenas parte do N orgânico estará disponível para uso na planta, sendo que, os nutrientes nos bioossólidos são de liberação lenta com 15 – 25% do N e P tornando-se disponíveis no primeiro ano e o restante nos anos subsequentes (MARTIN; KELSO, 2009). O uso agrícola do bioossólido é uma alternativa que apresenta vantagens ambientais quando comparado a outras práticas de destinação final e sua aplicação na agricultura se enquadra nos princípios de reutilização de resíduos de forma ambientalmente adequada (CONAMA, 2006). Quando o bioossólido é utilizado na agricultura, as melhores práticas de gestão deverão ser seguidas para garantir proteção ambiental (DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND CONSERVATION, 2012).

O bioossólido oferece vários benefícios para culturas produzidas em viveiros, como fonte nutricional podendo reduzir ou eliminar a necessidade de fertilizantes inorgânicos (BUGBEE, 2002). Dados sobre a utilização benéfica em cultivos ornamentais realizados no México podem aumentar a demanda de bioossólidos nos cultivos de estufas e viveiros de produção ornamental, mudando também a percepção negativa sobre o uso de bioossólidos. Nesses estudos, foi identificada uma alta salinidade do substrato, sendo uma consequência adversa do uso do bioossólido, pois a salinidade pode impor um efeito negativo no pleno aproveitamento dos nutrientes, prejudicando o crescimento e produtividade (PICCHIONI et al., 2014).

A utilização de bioossólido na agricultura é uma opção atrativa, o que contribui para a liberação relativa da pressão exercida no ecossistema, oferecendo assim uma solução parcial para o problema (UN-HABITAT, 2008). As pesquisas e experiências com o uso de bioossólido mostram que este resíduo pode ser benéfico tanto como um condicionador do solo quanto como fonte de nutrientes. Como antes mencionado, estes resíduos contêm quantidades significativas de N e P, contudo tipicamente possuem baixos acúmulos de K, onde este elemento é descarregado durante o processo de tratamento (JACOBS; McCREARY, 2001). A proporção exata de nutrientes dos bioossólidos não se apresenta de forma equilibrada, como em um fertilizante formulado, porém, podem ser combinados com nutrientes de outros compostos

comerciais e assim fornecer adequadas quantidades dos mesmos para a produção. A maioria dos bio sólidos contém o nitrogênio (N) disponível nas formas orgânicas, isto é, como componente de aminoácidos e proteínas e em menores concentrações o N - amônio ( $\text{N-NH}_4^-$ ) e o N - nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ).

A proporção de  $\text{N-NH}_4^-$  e  $\text{N-NO}_3^-$  nos bio sólidos depende do tipo de estabilização na qual o lodo de esgoto foi submetido. Nesse sentido, quando estabilizados por processos anaeróbicos possuem mais  $\text{N-NH}_4^-$  do que N orgânico, enquanto que no processo de estabilização com cal, possuem principalmente N – orgânico, devido ao pH elevado volatilizar o N – amônio. Estudo realizado em Shenyang na China, constatou aumento significativo do acúmulo de nutrientes do solo após a aplicação de bio sólidos, onde a matéria orgânica aumentou de 12,79% para 80,9% em comparação com o controle, na camada superior de 15 cm do perfil do solo. O estudo também mostrou aumento no conteúdo total de fósforo em 190,5% em comparação com o controle com taxas de aplicação de 30 t/ha (WANG et al., 2008). A disponibilidade de N disponível às plantas em solos tratados com bio sólidos depende, portanto, do conteúdo inorgânico de N e as formas de disponibilidade de N orgânico presente. A fração disponível de N orgânico em bio sólidos pode ser influenciada por fatores como o método de tratamento ou estabilização do lodo de esgoto, das propriedades do solo e condições ambientais (ESTELLER et al., 2009). As concentrações de nitrogênio total (TN) em bio sólido conforme relatado na literatura, encontram-se no intervalo de 0,7-15%. Em termos de concentração de N, o bio sólido normalmente contém mais nitrogênio total do que o estrume de gado, que tem um conteúdo de nitrogênio total de 1,0 – 3,9% (DEFRA, 2010).

A turfa e o solo natural têm sido amplamente utilizados como constituintes na produção de plantas ornamentais no cultivo em vaso. Os componentes de vasos predominantes na maioria dos viveiros são: solo arenoso natural e estrume animal. Entretanto, a rápida decomposição do estrume na mistura pode causar compactação do solo e o seu empobrecimento, por outro lado, muito solo, aumenta o peso e cria dificuldades no manuseio dificultando o crescimento e diminuindo o valor comercial das plantas ornamentais (DEDE, OZDEMIR, 2016).

Ainda, de acordo com Dede e Ozdemir (2016), na tentativa de recuperação da compactação do solo, alguns materiais alternativos estão sendo investigados, como o musgo de turfa, perlita expandida e pedra-pomes. A busca por materiais a serem usados como substratos nos cultivos em vaso, se faz necessário, e no caso do bio sólidos, existem dados limitados sobre o seu uso em plantas ornamentais. O crescimento populacional contínuo vai aumentar a disponibilidade de bio sólidos e, por sua vez, aumentar as perspectivas de capitalizar este produto rico em nutrientes como fonte renovável (PICCHIONI et al., 2014).

Almeida et al., (2005) avaliaram o efeito de diferentes concentrações de biofóssido no desenvolvimento de *Catharanthus roseus* e obtiveram resultados positivos em altura de plantas, número e diâmetro de flores, área foliar e produção de matéria fresca e seca na concentração de 75% de biofóssido. Já Castro et al., (2007), avaliaram o desenvolvimento de crisântemos de corte em cultivo protegido contendo lixo urbano e resíduo de esgoto nas concentrações de 0, 10, 20 e 30 t há<sup>-1</sup> na altura das plantas, diâmetro das plantas, número de folhas, área foliar e massa seca de hastes e diâmetro de massa seca de inflorescências e concluíram que o composto de lixo urbano e resíduo de esgoto tiveram efeito positivos na nutrição mineral dos crisântemos e indicaram a concentração de 10 t ha com base nos seus resultados. Scheer et al., (2012) também avaliaram o efeito da aplicação do biofóssido na altura de plantas, número de ramos, biomassa seca de parte aérea (folhas e caules) *Jasminum mesnyi* e verificaram que o composto à base de biofóssido, promoveu crescimentos significativamente maiores comparados ao substrato comercial.

Já Dias (2015) avaliou o uso de biofóssido na altura de plantas, altura de raiz, matéria seca da parte aérea e matéria seca de raiz em plantas de Petúnia e constatou que para essas plantas, as concentrações de 13% - 18% promoveram os melhores resultados. Já Rocha (2012), avaliou o efeito de resíduo orgânico na espécie *Neoregelia tigrina* pelas variáveis números de folhas, crescimento da parte aérea, massa fresca da parte aérea, comprimento do sistema radicular e massa seca do sistema radicular nas concentrações de 25%, 50%, 75% e 100% em mistura com casca de pinus e fibra de coco e constatou que os substratos a base de casca de pinus e fibra de coco se destacaram e que as concentrações de 100% de resíduo orgânico, não promoveu efeitos desejados, não sendo portanto indicado.

Conforma legislação que regulamenta os fertilizantes orgânicos, Instrução Normativa 25/2009, que define como porcentagem mínima de carbono orgânico de 8%, umidade máxima de 30%, CTC mínima de 80 mml<sub>c</sub>/kg, macronutrientes primários isoladamente (N, P, K) – 10%, macronutrientes secundários isoladamente ou em misturas 5% e micronutrientes isoladamente ou em misturas 4% (INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 25, 2009).

### 2.3 Origem, caracterização da planta de crisântemo e condições de cultivo

O crisântemo é originário da China e conhecido há mais de 2000 anos. Pertence ao gênero *Dendranthema*, família Asteraceae, tendo sido introduzido no Japão no ano de 286, onde foi adaptado e considerado símbolo nacional, significando vida longa. Em 1789, foi introduzido na Europa, sendo distribuído para as demais localidades do mundo (BARBOSA, 2003). No Brasil o crisântemo foi introduzido com grande expressividade em São Paulo, sendo que atualmente o estado se destaca por 80% da produção nacional, seguido por Rio de Janeiro e Minas Gerais (BARBOSA, 2012).

É uma planta ornamental cultivada pela beleza e durabilidade de suas inflorescências têm grande valor comercial por ser uma das culturas ornamentais de maior aceitação no mercado (PAIVA; ALMEIDA, 2012; FARIAS et al., 2005). Uma das flores mais populares no mundo e, juntamente com as rosas, os cravos e mais recentemente a gérbera faz parte do elenco básico de todas as floriculturas. O crisântemo apresenta disponibilidade e diversidade de cultivares para produção e seus aspectos referentes à morfologia, número de flores e variedade de cores de formatos de inflorescências tornam-nas mais atrativas para o consumo (BARBOSA, 2003). O sucesso na comercialização deve-se à diversidade no formato, na cor e no tamanho das inflorescências, além de possuir com precisão, respostas ao controle de fotoperíodo, durabilidade pós-colheita tanto das inflorescências como da planta e ainda possui um ciclo rápido de crescimento (MAINARDI et al., 2004).

Do ponto de vista de produção, pelo seu comportamento fotoperiódico e ao amplo trabalho de melhoramento genético desenvolvido ao longo de décadas, o crisântemo é considerado uma planta de fácil propagação e de produção de flores entre as espécies cultivadas (GRUSZYNSKI, 2001). O crisântemo de vaso está entre as plantas ornamentais mais produzidas em estufas e com constante aumento de produção. Isso ocorre devido à cultura apresentar principalmente precisão na resposta ao fotoperíodo e longevidade das inflorescências.

No cultivo do crisântemo a temperatura diurna deve estar na faixa de 23-25° C e a noturna em torno de 18° C. Pelo fato do crisântemo ser uma planta de dias curtos (PDC), necessitando de comprimento do dia menor que 13 horas para a indução do florescimento, a indução de dias longos (DL) e alta intensidade luminosa promovem o seu crescimento. O desenvolvimento de plantas de crisântemo, da área foliar a emissão do botão floral, bem como o acúmulo de biomassa seca, são dependentes diretamente da intensidade de radiação solar, do fotoperíodo e da temperatura que tornam possível a produção de flores o ano todo (BARBOSA., 2012). O ciclo de produção do crisântemo é medido a partir do dia de início da indução floral até o ponto de comercialização (Toloti, 2001) atingido quando, aproximadamente, 50 a 60%

das inflorescências estiverem abertas (BARBOSA et al., 2005). A planta ainda pode ser comercializada após 12 semanas de plantio (STRINGHETA et al., 2004).

Dentre as cultivares de crisântemo disponíveis no mercado, a cultivar *White diamond*, apresenta inflorescência branco/creme do tipo decorativo, ciclo precoce, composta por flores pistiladas, entretanto as pétalas externas são mais longas que as internas, conferindo uma aparência achatada e com tempo de reação, ou seja, período entre a aplicação de dias curtos até o ponto de comercialização, que no caso do cultivar *White Diamond*, corresponde a oito semanas (BRASILFLOR, 2017).

Um fator importante a ser considerado no estabelecimento da cultura, é a qualidade do substrato de cultivo. De acordo com Malvestiti (2004), um substrato pode ser considerado como uma combinação de materiais que proporcionem suporte, retenção de água, aeração e retenção de nutrientes para as plantas. Um substrato ideal possui baixa densidade, rico em matéria orgânica, com boa drenagem e disponibilidade de nutrientes. É comum o uso de substratos/condicionadores que, em diferentes composições e proporções, propiciam misturas adequadas às plantas (PAIVA; ALMEIDA, 2012).

#### 2.4 Nutrição mineral do crisântemo

Segundo Mota et al. (2013) a crescente demanda por flores de qualidade requer sistemas de produção modernos e eficientes para atender ao mercado. O conhecimento das necessidades nutricionais da cultura, está intrinsicamente relacionado à adubação, que juntamente com a nutrição, têm importante impacto na qualidade, produtividade e longevidade das inflorescências e da planta.

Segundo Tombolato (2004) a cultura do crisântemo é bastante exigente em N e K logo nas primeiras semanas de cultivo, fase em que as plantas possuem um rápido crescimento. Para Petry (2000) o crisântemo é classificado como uma planta com alta tolerância a salinidade, até 7 g de sal/litro de substrato de cultivo. De acordo com Vidalie (1992) a exportação de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, em crisântemo, durante o ciclo de 3 meses de cultivo envasado é respectivamente 400, 120 e 520 mg por planta. O nitrogênio é importante, pois auxilia no crescimento vegetativo nas primeiras semanas de cultivo. Os crisântemos absorvem nitrogênio a uma taxa uniforme desde o momento da plantação até a fase de floração (YOON et al., 2000). O ótimo crescimento dos

crisântemos é evidente quando o nitrogênio (amônio) é utilizado a uma taxa de 50% da quantidade total de nitrogênio (MUNIZ et al., 2009). A absorção de nitrogênio pela planta de crisântemo, correlaciona-se estreitamente com o crescimento da biomassa, principalmente durante a fase inicial de crescimento (KAPLAN et al., 2013).

As necessidades em fósforo em crisântemos, são menores em relação ao nitrogênio (LI et al., 2009). As necessidades de potássio são elevadas e sua disponibilidade na planta afeta favoravelmente o crescimento e coloração de flores (VANĚK et al., 2012).



### 3 JUSTIFICATIVA

Considerando que o biossólido, resíduo gerado em grande volume a partir do tratamento do lodo de esgoto, que contém macronutrientes e micronutrientes como N, P, Ca, Mg, Zn, Fe, B, Mn, Cu entre outros, altos níveis de matéria orgânica e CTC, se o tratado de forma eficiente visando a eliminação ou redução de metais pesados como Pb, Cr, Cd, ficando esses, abaixo das concentrações máximas permitidas este resíduo pode ser utilizado na agricultura como fonte de nutrientes no cultivo de plantas, dessa forma, otimizando a produção e gerando ganhos ao produtor. Embora a legislação brasileira, imponha restrições quanto à utilização do biossólido na agricultura, devido aos riscos de conter metais pesados, trabalhos desenvolvidos recentemente têm demonstrado que o biossólido é uma grande fonte de nutrientes no cultivo de espécies ornamentais e uma boa fonte de matéria orgânica, sendo esta, uma justificativa para este estudo. Assim, estudos com o intuito de utilizar o biossólido para fins de agricultura tornam-se cada vez mais importantes e necessários.

## 4 OBJETIVOS

Nos itens a seguir constam os objetivos gerais e específicos pretendidos neste trabalho

### 4.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial nutricional do biossólido adicionado ao substrato de cultivo de crisântemo (*Dendranthema grandiflorum*) na espécie *White Diamond*.

### 4.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar o crescimento e desenvolvimento das plantas, submetidas às concentrações de biossólido;
- b) Analisar as características morfofisiológicas de crisântemo frente à adição do biossólido;
- c) Analisar as características do biossólido e alterações físicas e químicas no substrato, promovidas pela sua adição;
- d) Analisar os aspectos nutricionais de plantas de crisântemo, cultivados em substrato contendo biossólido;
- e) Estabelecer a concentração ideal de biossólido no cultivo de crisântemo;

## REFERÊNCIAS

- ALAMINO, R. C. J. **A utilização de lodo de esgoto como alternative sustentável na recuperação de solos degradados:** viabilidade, avaliação e biodisponibilidade de metais. 2010. 221f. Tese (Doutorado em Ciências - área de concentração Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 2010.
- ALMEIDA, G. C. A.; FANHANI, J. C.; D’OLIVEIRA, R. S. Utilização de lodo de esgoto como componente de substrato para cultivo de vinca (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don). **Iniciação Científica CESUMAR**, Maringá, v. 07, n. 1, p. 41-48, 2005.
- ANDREOLI, C. V. et al. Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal. In: **bio sólidos - alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: Editora ABES, p. 398, 2006.
- AUSTRALIAN AND NEW ZEALAND BIOSOLIDS PARTNERSHIP, 2013. **Biosolids production in Australia: the Australian and New Zealand biosolids partnership national survey of biosolids production and end use**. Disponível em: <  
<https://www.biosolids.com.au/guidelines/international-biosolids-statistics/>>. Acesso em: 10 out. 2017.
- ASHLEY, K.; CORDELL, D.; MAVINIC, D. A brief history of phosphorus: from the philosopher’s stone to nutrient recovery and reuse. **Chemosphere**, Los Angeles, v. 84, p. 737–746, 2011.
- BARBOSA, J. G. et al. Crisântemo. In: PAIVA, P. D. O. **Produção de flores de corte**. Lavras: UFLA, p. 244 – 277, 2012.
- BARBOSA, J. G. et al. Cultivo de crisântemo em vaso. **Informe Agropecuário**, Lavras, v. 26, n. 227, p. 44-49, 2005.
- BERGKVIST, P. et al. Long-term effects of sewage sludge applications on soil properties, cadmium availability and distribution in arable soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Índia, v. 97, p. 167e179, 2003.
- BLAKE, L. et al. Phosphorus content in soils, uptake by plants and balance in three European long-term field experiments. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. Durham, v. 56, p. 263–275, 2000.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**; tradução técnica: Igo Fernando Lepsch. 3. ed. Porto Alegre : Bookman, 2013, p. 398.

BRASILFLOR. **Variedade: White Diamond**. Disponível em:<  
[http://www.brasilflor.com.br/mostra\\_det.php?id=85](http://www.brasilflor.com.br/mostra_det.php?id=85)>. Acesso em:07 set. 2017.

BROWN, S.; TRLICA, A. Greenhouse Gas Emissions and the Interrelation of Urban and Forest Sectors in Reclaiming One Hectare of Land in the Pacific Northwest. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 47, n. 13, p. 7250–7259, 2013.

BUGBEE, G. J. Growth of Ornamental Plants in Container Media Amended with Biosolids Compost. **Compost Science & Utilization**, Rockville Pike, v. 10, n. 2, p. 92–98. 2002.

CALDEIRA, M. V. et al. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Ciências Florestais e da Madeira. **Pesquisa Agropecuária**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 155-163, abr/jun. 2013.

CASSINI, S.T.; VAZOLLER, R.F.; PINTO, M.T. Introdução. **In: Cassini S. T. (Coord). Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: Prosab, RIMA ABES, p.1-9, 2003.

CASTRO, C. P.; HENRIQUEZ, O.; FRERES, R. Posibilidades de aplicación de lodos o biosólidos a los suelos del sector norte de la Región Metropolitana de Santiago. **Revista de Geografía Norte Grande**, Santiago. v. 37, p. 35-45. 2007.

CODLING, E. E. Long-term effects of biosolid-amended soils on phosphorus, copper, manganese and zinc uptake by wheat. **Soil Science**, v. 179, p.21–27, 2014.

COLODRO, G. **Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo de esgoto**. 2005. 82f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola - área de concentração: água e solo) – Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 2005.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução n.º 375, de 29 de agosto de 2006**. Brasília, DF, 30 ago. 2006.

CORDELL, D.; DRANGERT, J.; WHITE, S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. **Global Environmental Change**, v. 19, n. 2, p.292–305, 2009.

DEDE, G.; OZDEMIR, S. Effect of elemental sulphur on heavy metal uptake by plants growing on municipal sewage sludge. **Journal of Environmental Management**, v. 166, p. 103–108, 2016.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENT AND CONSERVATION, 2012. **Western Australian Guidelines for Biosolids Management**. Disponível em: <<http://www.dec.ny.gov/index.html>> Acesso em: 07 set. 2017.

DEFRA, 2010. **Fertilizer Manual (RB209)**. eighth ed. The Stationery Office, Norwich. 2010.

DIAS, S. S. H. **Lodo de esgoto na produção de mudas de Bracatinga, (*Mimosa scabrella*), Crisântemo (*Dendranthema grandiflora*) e Petúnia (*Petunia x híbrida*)**. 2015. 98f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas – Universidade Federal de Santa Catarina – Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, 2015.

EPA – **United States Environmental Protection Agency. Indoor air pollution: an introduction for health professionals**. 1994. Publication n. 1994 – 523 - 217/81322. Disponível em: <<http://www.epa.gov/iaq/pubs/hpguide.html>: Introduction to phytoremediation. Cincinnati, Ohio, 2000>. Acesso em: 02 fev. 2017.

ESTELLER, M.V. et al. Nitrate and phosphate leaching in a Phaeozem soil treated with biosolids, composted biosolids and inorganic fertilizers. **Waste Management**. v.29, n. 6, p. 1936–1944, 2009.

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

FERNANDES, F. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, cap.3, p. 45 – 67, 2000.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; JÜRGENSEN, D. I. Produção e características dos biossólidos. In: **Programa de Pesquisa em Saneamento Básico: uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro: Prosab, p.16-25, 1999.

GRAY, N. F. Water technology: Na introduction for environmental scientists and engineers. Britain: **Elsevier**, 3. ed, 2005, p. 645.

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

HEALY, M. G et al. Metal concentrations in lime stabilized, thermally dried and anaerobically digested sewage sludges. **Waste Management**, v. 48, p. 404-408. 2016.

HECK, K. et al. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.17, n.1, p.54-59, 2013.

INSTITUTOTRATABRASIL: **Saneamento e Saúde**. Disponível em:<  
<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>>. Acesso em: 16 out. 2017.

JACOBS, L. W; McCREARY, D. S. 2001. **Utilizing Biosolids on Agricultural Land**. Department of Crop and Soil Sciences. Michigan State University. Extension Bulletin E-2781/ December, 2001.

KAPLAN, L et al. The influence of slow-release fertilizers on potted chrysanthemum growth and nutrient consumption. **Plant Soil Environmental**, v. 59, n. 9, p. 385-391, 2013.

KIRK, G. Use of modelling to understand nutrient acquisition by plants. **Plant and Soil**, v. 247, p. 123–130, 2002.

KOMINKO, H.; GORAZDA, K.; WZOREK, Z. The possibility of organo-mineral fertilizer production from sewage sludge. **Waste and Biomass Valorization**, v. 8, n. 5, p. 1781-1791, 2017.

LATARE, A. M. et al. Direct and residual effect of sewage sludge on yield, heavy metals content and soil fertility under rice-wheat system. **Ecological Engineering**. v. 69, p.17–24, 2014.

LI, H. The remediation of the leadpolluted garden soil by natural zeolite. **Journal of Hazardous Materials**. v.169, p. 1106–1111. 2009.

LOGANATHAN, P. et al. Fertiliser contaminants in New Zealand grazed pasture with special reference to cadmium and fluorine: a review. **Australian Journal of Soil Research**, v. 41, n. 3, p. 501–532, 2003.

LOMBARD, K. et al. Fly Ash and Composted Biosolids as a Source of Fe for Hybrid Poplar: A Greenhouse Study. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 59, p. 1–11, 2011.

LU, Q.; HE, Z.L.; STOFFELLA, P.J. Land application of biosolids in the USA: a review. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 6, p. 1955-1964, 2012.

MAINARDI, J. C. C. T.; BELLÉ, R. A.; MAINARDI, L. Produção de crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzvelev.) ‘Snowdon’ em vaso II: ciclo do cultivar, comprimento, largura e área da folha. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1709 -1714, 2004.

MALVESTITI, A. L. Propriedades e aplicações da fibra de coco na produção de mudas. In: BARBOSA, J. G.; MANTINEZ, H. E. P.; PEDROSA, M.W.; SEDIYAMA, M. A. N. **Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato**. Viçosa: UFV, p. 226-235, 2004.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho 2009**.

MARQUÍ, E. et al. Long-term use of biosolids as organic fertilizers in agricultural soils: potentially toxic elements occurrence and mobility. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 5, p. 4454–4464, 2016.

MARTIN, L.; KELSO, G. Use of biosolids in agriculture. Primefacts 859. **NSW Department of Primary Industries**. April, 2009.

MARTINEZ, E.C.; McBRIDE, M.B. Cd, Cu, Pb, and Zn coprecipitates in Fe oxide formed at different pH: aging effects on metal solubility and, extractability by citrate. **Environmental Toxicology and Chemistry**, Pensacola, v. 20, n. p. 122-126, 2002.

MELO, W. J., MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W., CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, p.109-142, 2000.

MEHROTRA, A.; KUNDU, K.; SREEKRISHNAN, T. R. Decontamination of heavy metal laden sewage sludge with simultaneous solids reduction using thermophilic sulfur and ferrous oxidizing species. **Journal Environmental Management**. v. 167, p. 228-235, 2016.

MOTA, P.R.D. et al. Condutividade elétrica da solução nutritiva e acúmulo de macro e micronutrientes no cultivo de crisântemo. **Bragantia**, v.72, n. 1, p.81-89, 2013.

MOSSA, A.W. et al. The response of soil microbial diversity and abundance to long-term application of biossolids. **Environmental Pollution**. v. 224, p. 16-25. 2017.

MUNIZ, M. A. et al. Produção e qualidade de crisântemos de vaso fertirrigados com diferentes relações nitrato/ammonio. **Bioscience Journal**. v. 25, n.1, p. 75-82, 2009.

NEBRA: North East Biosolids and Residuals Association, 2007. **A National Biosolids Regulation, Quality, End Use and Disposal Survey**. NEBRA, Tamworth, New Hampshire, 2007.

PAIVA, P. D. O.; ALMEIDA, E. F. A. **Produção de flores de corte**. vol 1. Lavras: Ed. UFLA. p. 678, 2012.

PETRY, C. **Plantas ornamentais, aspectos para a produção**. Passo Fundo: Editora Universidade de Passo Fundo, p. 160, 2000.

PICCHIONI, G.A. et al. Merging the Roles of Learning, Research, and Outreach in a Nursery Irrigation Exercise. **Hort Technology**, v. 17, p. 379–385. 2014.

PIRES, A. M. M. **Uso agrícola do lodo de esgoto: aspectos legais**. EMBRAPA Meio Ambiente, Jaguariúna, 2006.

RASTETTER, N.; GERHARDT, A. Toxic potential of different types of sewage sludge as fertiliser in agriculture: ecotoxicological effects on aquatic, sediment and soil indicator species. **Journal of Soils Sediments**, v. 15, n. 3, p. 565–577, 2017.

REZENDE, C. I. O. **Influência da aplicação do lodo de esgoto (biossólido) sobre a concentração e o estoque de nutrientes na biomassa do sub-bosque, na serapilheira e no solo de um talhão de *Eucalyptus grandis***. 2005. 97f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia de Ecossistemas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2005.

ROCHA, A. B. F. **Desenvolvimento de mudas de Bromélia em resíduos orgânicos e industriais**. 2012. 49f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade José do Rosário Vellano. Alfenas, 2012.

SANCHEZ-MONEDERO, M. A. et al. Land application of biossolids. Soil response to diferente stabilization degree of the treated organic matter. **Waste Management**, v. 24, ed. 4, p. 325 – 332, 2004.



SIGUA, G.C. Recycling biosolids and lake-dredged materials to pasture-based animal agriculture: alternative nutrient sources for forage productivity and sustainability. A review. **Agronomy for Sustainable Development**. v. 29, p. 143–160, 2009.

SCHEER, M. B. et al. Crescimento e nutrição de mudas de *Lafoensia pacari* com lodo de esgoto. **Floresta & Ambiente**, v. 19, p. 55-65, 2012.

SINGH, R.P.; AGRAWAL, M. A. Use of sewage sludge as fertilizer supplement for *Abelmoschus esculentus* plants: physiological, biochemical and growth responses. **International Journal of Environment and Waste Management**, v. 3, n.1, p. 91-106, 2009.

\_\_\_\_\_. Biochemical and physiological responses of Rice *Oryza sativa* L grown on different sewage sludge amendments rates. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 23, p. 606–612, 2014.

SINGH, R.P.; SINGH, M. A.; SRIVASTAVA, V. **Environmental Issues Surrounding Human Overpopulation**. Índia IGI Global, USA, v. 2, p. 325, 2017

SILVA, W. T. L et al. **Método de aproveitamento biossólido proveniente de lodo de esgoto residencial através de processo de compostagem seguido de biodigestão anaeróbia** - Relatório técnico. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária. Documentos, n. 13, p. 55, 2004.

SMITH, S.R. The Implications for Human Health and Environment of Recycling Biosolids onto Agricultural Land. **Centre for Environmental Control and Waste Management**, p. 76–77, 2008.

SOARES, M. R. **Coefficiente de distribuição (kd) de metais pesados em solos do estado de São Paulo**. 2004. 202p. Tese (Doutorado em Solos e nutrição de plantas) - Universidade de São Paulo. São Paulo: 2004.

SRIVASTAVA, V. Biological response of using municipal solid waste compost in agriculture as fertilizer supplement. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 15, n. 4, p. 677–696, 2016.

STRINGHETA, A. C. O. **Crisântemo para flor de corte (*Dendranthema grandiflorum* Tzelev)**. In: TOMBOLATO, A. F. C. (Ed.) Cultivo comercial de plantas ornamentais. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, p. 95–135, 2004.

SWEDISH FOREST AGENCY. **Recommendations on Ash Recycling to the Forest (In Swedish)**. Report 2:2008.

TELLES, D. A. **Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão**. São Paulo: Fundação de Apoio a Tecnologia, 1ª ed. p. 504, 2013.

TOLOTTI, J. C. C. **Efeito de resíduos de crescimento em crisântemo (*Dendranthema grandiflora* Tzelev.) Snowdon cultivado em vaso**. 2001. 97f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.

TOMBOLATO, A.F.C. **Cultivo comercial de plantas ornamentais**. Instituto Agrônomo de Campinas, 2004.

TORRI, S. I.; CORRÊA, R.S.; RENELLA, G. Biosolid Application to Agricultural Land a Contribution to Global Phosphorus Recycle: A Review. **Pedosphere**, v. 27, p. 1–16, 2017.

TORRI, S.I.; CORRÊA, R.S.; RENELLA, G. Soil Carbon Sequestration Resulting from Biosolids Application. **Applied and Environmental Soil Science**, 2014.

UN-HABITAT Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge, And Biosolids Management: Moving Forward The Sustainable And Welcome Uses Of A Global Resource. Ronald J. LeBlanc, Peter Matthews, Roland P. Richard (eds). UN HABITAT POBOX 30030, Nairobi, Kenya, 2008.

USMAN, K. et al. Sewage sludge: an important biological resource for sustainable agriculture and its environmental implications. **American Journal of Plant Sciences**, v. 3, n. 12, p. 1708-1721, 2012.

VANĚK, V. et al. **The Nutrition of Horticultural Plants**. 2. ed. Academic Press, Prague, p. 568, 2012.

VIDALIE, H. **Produccion de flores y plantas ornamentales**. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, p. 301, 1992.

WANG, X. et al. Studies on land application of sewage sludge and its limiting factors. **Journal of Hazardous Materials**, v. 160, p. 554–558, 2008.

WOLF, A.M.; BAKER, D. E. **Criteria for land spreading of sludges in the Northeast: Phosphorus**. p. 39-41. In D.E. Baker, D.R. Bouldin, H.A. Elliott, and J.R. Miller (eds)

Criteria and recommendations for land application of sludges in the Northeast. Penn. Agric. Exp. Stn. Res. Bull. No. 851, The Pennsylvania State University, University Park, PA, 1985.

YOON, H.S.; GOTO, T.; KAGEYAMA, Y. Mineral uptake as influenced by growing seasons and developmental stages in spray chrysanthemums grown under a hydroponic system. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v. 69, n. 3, p. 255-260, 2000.

## **SEGUNDA PARTE**

**ARTIGO:** Production and nutrition of substrate grown Chrysanthemums with the addition of biosolids

**AUTORES:** Frederico Luiz Pereira, Ursuléia Aparecida de Oliveira, Márcio Donizetti de Andrade, Felipe Campos Figueiredo, Breno Régis Santos, Marília Carvalho e Sandro Barbosa

# Production and nutrition of substrate grown Chrysanthemums with the addition of biosolids

Frederico Luiz Pereira<sup>1+</sup>, Ursuléia Aparecida de Oliveira<sup>1+</sup>, Márcio Donizetti de Andrade<sup>2+</sup>, Felipe Campos Figueiredo<sup>3+</sup>, Breno Régis Santos<sup>1+</sup>, Marília Carvalho<sup>1+</sup> and Sandro Barbosa<sup>1+\*</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Alfenas/MG, Instituto de Ciências da Natureza, Alfenas/MG, 37130-000, Brazil

<sup>2</sup>Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé-MG, Laboratório de Solos e Tecido Vegetal, Guaxupé/MG, 37800-000, Brazil

<sup>3</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Muzambinho, Laboratório de Biotecnologia e Cultura de Tecidos, Muzambinho/MG, 37890-000, Brazil

\* sandrobiogen@gmail.com

+these authors contributed equally to this study

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the growth and nutrition of ‘White Diamond’ chrysanthemums by adding biosolids to the growth substrate. The experiment was conducted in pots, in a greenhouse for a period of 90 days. The experimental design was in blocks, with 6 treatments and 5 replicates. The treatments consisted of the mixture (commercial substrate + biosolid) at the concentrations: 20%, 40%, 60% and 80% biosolid and two controls, 100% biosolid and 100% substrate. To analyze the nutritional aspects and the accumulation of elements, 90 plants were collected and separated according to the different organs: root, stem, leaf and inflorescence. The results showed that concentrations of up to 40% of biosolid led to higher accumulation of elements in the plant dry biomass, photosynthetic rates, total dry biomass and number of flower buds. Among the organs, the leaves accumulated larger amounts for most of the elements. Concentrations above 60% yielded plants with lower accumulation of elements, photosynthetic rates, increase in biomass and number of buds. It is concluded that biosolids have nutritional potential in chrysanthemum cultivation, and the proportion of 40% is more adequate for greater production and nutrition, thus providing an alternative for final waste destination.

**Keywords:** ‘White Diamond’, Waste, Accumulation of nutrients, Final destination.

## Introduction

Few studies deal with the nutrition of ornamental plants, especially in the cultivation of chrysanthemums. As they are plants with possibilities of cultivation in a greenhouse, substrates are used, and they have to offer good physical and nutritional conditions.

The biosolid, waste generated in a sewage treatment plant through the treatment of sewage sludge, contains macro- and micronutrients such as N, P, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Cu, among others, that can reduce or eliminate the need for inorganic fertilizers<sup>3</sup>. An adequate use of biosolids in ornamental crops may increase the demand for biosolids in greenhouse crops and ornamental nurseries, also changing the negative perception of waste. Increases in substrate fertility with the addition of biosolids were observed, with emphasis on phosphorus, nitrogen and calcium contents<sup>31</sup>. Studies with ornamental plants show growth of 10 to 60% of the plants with the use of biosolids<sup>3,21</sup>. Knowledge of the nutritional needs of the crop is intrinsically related to fertilization, which favors quality, yield and longevity of the inflorescences and the plant<sup>25</sup>.

The commercialization of chrysanthemums is directly related to the size and quality of leaves, stems and flowers, and the success for the production of plants with these characteristics is also associated with nutritional conditions<sup>30</sup>. A sustainable flower production requires an ideal fertilizer, to achieve a yield with high ornamental value and to reduce production costs<sup>42</sup>. Plant growth and development are associated with several factors, which may or may not be related to the plant itself. In the ornamental production sector, chrysanthemum is of great interest in the flower market and is highly demanded by the consumer due to the beauty and durability of its inflorescences. It is considered a relatively easy growing plant, but it requires a great cultivation technology,

besides a substrate that offers good physical and chemical characteristics<sup>27</sup>. There are limited data on the use of biosolids in ornamental plants and, in some countries, biosolids are used in the horticultural sector. The difficulty in the cultivation of chrysanthemums is in quantifying the doses of fertilizers to be applied, according to the nutritional needs. In general, producers use unbalanced doses, which interfere with the plant production potential and longevity<sup>10</sup>.

The dynamics of nutrient accumulation in dry biomass throughout the growing season characterizes the nutrient uptake and quantifies the nutritional requirements and the appropriate times for fertilization. Thus, problems related to salinity or nutritional deficiency are avoided, as well as the possibility of correcting any deficiencies and evaluating nutritional status<sup>26,22</sup>. The accumulation of nutrients in chrysanthemums accompanies the production of dry biomass and is intensified during the development of flower buds and inflorescence opening<sup>20</sup>.

In studies involving the accumulation of nutrients in the 'White Diamond' chrysanthemum shoot, the authors observed the accumulation and concentration of nutrients in the order of K>N>Ca>P>Mg>S (1425, 892, 184, 150, 110 and 59 mg plant<sup>-1</sup>) and Fe>Zn>B>Mn>Cu (2254, 2219, 1725, 1287, 210 µg plant<sup>-1</sup>)<sup>25</sup>. The sequence of accumulated macronutrients, in descending order, for cultivar 'White Diamond', is K>N>P<sup>12</sup>. Balanced doses of N, P and K increase plant growth, favoring the synthesis of peptide binding, protein and carbohydrate metabolism that are essential for the development of chrysanthemums<sup>1</sup>.

The uptake of N in chrysanthemums occurs gradually until flowering and tends to decrease after this phase<sup>41</sup>. The need for phosphorus in chrysanthemum plants is low and significantly lower than that of nitrogen<sup>19</sup>. Responses to changes caused by biosolids can improve the understanding of P uptake by crops and optimize the use of P-rich biosolids for sustainable agriculture<sup>37</sup>.

As for potassium requirements, the requirements in the plant are high and this element favorably affects flower growth and color<sup>39</sup>. Considering the lack of information on the use of biosolids as a substrate and in nutrient supply, the objective of this study was to evaluate the production and nutrition of substrate grown 'White Diamond' chrysanthemums with biosolids.

## Results

### Macronutrient accumulation in chrysanthemum plants

The addition of 20% and 40% biosolid yielded the largest macronutrient accumulations. The accumulation of macronutrients at 90 days of cultivation has the following order: K>Ca>P>Mg and S. Concentrations equal to or greater than 60% of biosolid reduce the total dry biomass.

Chrysanthemum plants grown with 20% and 40% biosolid accumulated more phosphorus than other biosolid concentrations (Figure 1A). The accumulation in the leaves and inflorescences of plants at 90 days of cultivation stood out. For the concentration of 40% biosolids, accumulations of 1057 mg plant<sup>-1</sup> of P were observed. In plants grown at concentrations of 80% and 100% biosolid, a lower P accumulation was observed, related to the smaller increase in dry biomass, due to the small root volume of these plants, evidencing plants with low growth and development in relation to the others, from the beginning of their cultivation (Figure 2).

As for potassium, the concentration of 40% biosolid yielded the highest accumulation of this element in plants, 7218 mg plant<sup>-1</sup>, followed by the concentration of 20% biosolid, which led to an accumulation of 5962 mg plant<sup>-1</sup>, to the detriment of the others (FIGURE 1B). At concentrations above 80% biosolid, the plants had lower potassium accumulation, possibly due to their lower root growth, as observed for P accumulation, and it could even be associated to a saline effect of these substrates, negatively affecting root growth. Figure 2F shows the increment in total dry biomass in chrysanthemum plants caused by the concentrations of up to 20% and 40% biosolid, to the detriment of the other concentrations and the substrate with the absence of biosolid, evidencing the results obtained by the accumulation of nutrients, especially phosphorus and potassium.

For calcium, concentrations of 20% and 40% biosolid led to higher accumulations, to the detriment of the others, especially in the leaves (Figure 1C) since, at these concentrations, the available calcium amounts were higher, as they increased proportionally with the increase in biosolid concentration, which influenced the higher uptake by plants, once calcium is absorbed by mass flow through transpiration (FIGURE 3 C), thus accumulating more in the tissues.

Similarly to the results observed for Ca accumulation, concentrations of 20% and 40% biosolid yielded greater accumulations of magnesium in the plants, with emphasis on the accumulation in the leaves (FIGURE 1D), thus leading to a better production of photosynthetic pigments. The concentrations of 20% and 40% biosolids had

the highest photosynthetic rates at 90 days of cultivation, in relation to the other concentrations and in the absence of biosolids (FIGURE 3A). These results evidenced that the better availability and greater accumulation of elements in these plants guaranteed a better nutritional balance, which positively affected photosynthetic rates, noticed by the number of flower buds (FIGURE 3B). Plants submitted to 20% and 40% biosolids showed a higher flower bud development indicating that, at these biosolid concentrations, the best supply of mineral elements was also more effective in yielding greater bud production.

For sulfur, there was a greater accumulation of the element at concentrations of 20% and 40% biosolid, to the detriment of the others (FIGURE 1E). These results show the effective participation of biosolids in the sulfur supply to the plants.

## Micronutrient accumulation in chrysanthemum plants

Likewise, as observed for macronutrient accumulation, the concentrations of 20% and 40% biosolids yielded the greatest accumulations of micronutrients in the plants at 90 days of cultivation. The accumulation of micronutrients at the concentrations of 20% and 40% biosolid has the following order, respectively: Fe>Mo>B>Mn=Zn>Cu / Fe>Mo>B>Zn>Mn>Cu.

In the case of iron, concentrations of 20% and 40% biosolids yielded a greater accumulation of the element, with emphasis on the accumulation in the roots and leaves (FIGURE 4A). However, in spite of the levels higher than 80000  $\mu\text{g plant}^{-1}$  identified at concentrations of 20% to 40%, no symptoms were observed in these plants that could characterize Fe toxicity in the tissues, which allows to infer that chrysanthemum plants are tolerant to high salt accumulation.

For zinc, accumulations of the element in plants submitted to substrates with the addition of biosolids, especially the concentration of 40%, followed by the concentrations of 20% and 60% to the detriment of the others, were identified. In plants grown on substrates with the absence of biosolids, no element accumulation was identified, indicating that only the commercial substrate did not supply zinc to plants (FIGURE 4B).

As for copper, the concentration of 20% biosolids showed plants with a higher accumulation of the element, mainly in the inflorescences of these plants, with concentrations of 5097  $\mu\text{g plant}^{-1}$  (FIGURE 4C).

For boron, a higher accumulation was observed at the concentration of 40% biosolid, followed by the concentration of 20% biosolid, emphasizing the accumulation in the roots and leaves (FIGURE 4D). Despite its immobility in plant tissues, the accumulation of this element was observed in the roots, possibly related to the high concentrations of aluminum identified in plant roots.

As for molybdenum, there was a greater accumulation at the concentrations of 20% and 40% biosolids, to the detriment of the other concentrations and without the addition of biosolids (FIGURE 4E), highlighting the accumulated in plant roots, leaves and inflorescences.

Similarly to the other micronutrients, higher concentrations of manganese were observed at 20% and 40% biosolids, highlighting the accumulation in the leaves. Except for the concentration of 100% biosolid, no differences were observed in the accumulation of the element at other concentrations (FIGURE 4F).

## Discussion

The accumulation of phosphorus found at the concentrations of 20% and 40% are much higher than the 40.9  $\text{mg plant}^{-1}$  and 50.23  $\text{mg plant}^{-1}$  found in two studies<sup>12,10</sup>, where the authors worked with fertigation, differently from this study, where no nutrients were added other than those present in the substrates. Concentrations of 5% sewage sludge and 95% soil increased P accumulation by 78% in chrysanthemum seedlings in relation to the control treatment, and levels of 5  $\text{mg plant}^{-1}$  in another study<sup>7</sup>.

The potassium accumulation found in this study is lower than those found in a study using the same cultivar, where the authors observed the accumulation of 93400  $\text{mg plant}^{-1}$  potassium<sup>12</sup>. A sudden increase in potassium accumulation in flower buds, from 14.31  $\text{mg plant}^{-1}$  to 69.18  $\text{mg plant}^{-1}$ , was observed at 8 weeks of cultivation of fertigated chrysanthemums in another study<sup>29</sup>. However, the results are lower compared to this study. There are reports that chrysanthemum plants are highly demanding in potassium<sup>16,34</sup>, which is the most required nutrient when the flowering period approaches, from floral induction to its opening<sup>2</sup>. A potassium accumulation of 52000  $\text{mg plant}^{-1}$  is found during the three-month cycle of potted chrysanthemum<sup>40</sup>.

In evaluations of macronutrient contents in two chrysanthemum cultivars ('Amarelo São Paulo' and 'Puritana') through the supply of urban waste compost (CLU), together with carbonized rice husk (CAC), at concentrations of 100% CAC; 67% CAC + 33% CLU; 33% CAC + 67% CLU and 100% CLU, it was observed that potassium remained constant, independent of the concentration of CLU and CAC. The varieties did not show different concentrations for potassium, when submitted to different concentrations of CLU and CAC<sup>34</sup>. Concentrations above 80% biosolids affected root growth, as potassium can affect root growth due to the saline effect on the roots.

In relation to the accumulation of calcium found in this study, similar results were observed evaluating the effect of urban waste compost (CLU), together with carbonized rice husk (CAC). It was also observed that, at a concentration of 30% of CLU and 70% of CAC, there was a calcium increase in the leaves, above the minimum limits in two chrysanthemum cultivars<sup>34</sup>.

Considering the participation of calcium in the structure of the plant, its presence in the stem, especially in chrysanthemums, may be related to stem support, which is important for the closure and compaction of plant inflorescences in commercialization. Other effects related to the presence of calcium are reported<sup>15</sup>, where the authors studied the effect of calcium on the tolerance of *Lisianthus* by the application of alkaline irrigation water. The authors could verify that calcium contributes to the increase in plant tolerance to the alkalinity of soils/substrates, and that they showed improvements in growth and accumulation of dry biomass, which is an observation of this study.

In addition to the aforementioned functional activities, calcium has been reported as an element that improves abiotic stress tolerance in plants, including drought<sup>17</sup>, and even excessive boron concentrations<sup>32</sup>, as the plants accumulated high amounts of boron, mainly in the roots (FIGURE 4D).

The major magnesium accumulation in the leaves is fundamental for the formation of photosynthetic pigments, and magnesium, together with nitrogen, is important in the structuring of chlorophyll molecules that act in the capture of photosynthesizing radiation<sup>35</sup>. Plants submitted to substrates with high calcium accumulation commonly have high amounts of magnesium<sup>8</sup>.

For iron accumulation, studies reported that Fe concentrations ranging from 10000 to 1500000  $\mu\text{g kg}^{-1}$  dry biomass can be found in plants; however, at concentrations above 80000  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , toxicity symptoms may already be observed<sup>5,23</sup>. Nevertheless, in spite of the levels higher than 80000  $\mu\text{g plant}^{-1}$  identified at concentrations of 20% to 40%, no symptoms were observed in plants that could characterize Fe toxicity in the tissues, which allows to infer that chrysanthemum plants are highly tolerant to salt accumulation.

In relation to the accumulations of zinc, high zinc concentrations present in biosolids contribute to a greater accumulation of this nutrient in plants, which was evident through this study<sup>38</sup>. Plants with phytoextraction capacity can grow in soils enriched with heavy metals such as Zn, Cu, Mn, and they can be absorbed and transferred to the senescent parts, as occurs in *Cupressus sempervirens* plants<sup>4,9</sup>.

A study evaluated the response of different plants, including ornamental, such as *Carmelina sativa*, *Helianthus annuus*, *Festuca rubra*, *Amaranthus cruentus*, *Brassica napus*, *Melilotus albus*, *Beta vulgaris*, in soils with the addition of biosolids, containing high concentrations of metals such as Zn, and found that the plants were useful in soils strongly degraded by salts, and they even showed physical improvements from cultivation, indicating the possibility of plant use in environments with high salt concentrations<sup>18</sup>.

For copper accumulation, the study states that an accumulation of 5000 to 20,000  $\mu\text{g kg}^{-1}$  is considered adequate for normal plant growth and, in cases of toxicity, changes manifest in the roots, which tend to lose vigor, acquire dark color, show thickening and paralyze growth<sup>5</sup>. Another research analyzed the accumulating potential of Cu in 'Dark Fiji' chrysanthemum plants, by adding 250, 500, 750 and 1,000  $\text{mg kg}^{-1}$  in the soil and observed a high copper accumulation in plant roots and low plant and flower development in all the analyzed doses, indicating that the chrysanthemum plant is tolerant to excess copper in soil and tissues, assuming potential phytoremediation characteristics<sup>24</sup>. According to the authors, considering copper accumulation in the roots, and being a heavy metal when at high concentrations, there is a mechanism of the root system that regulates the absorption of heavy metals, and leads to copper accumulation in the roots, thus having a low translocation to the shoot, contributing to the tolerance of the species to this metallic element.

As for boron accumulation, studies pointed out that the element acts in a plant defense mechanism to relieve aluminum toxicity, as it improves root growth and physiological characteristics of plants under aluminum toxicity, by regulating multiple physiological processes, activation of defense systems and reduction in oxidative damage. For the authors, the supply of B can reduce Al immobilization and restrict the entry of the element into the symplast, thus relieving its toxicity in environments with high aluminum concentrations<sup>28</sup>.

Regarding manganese accumulation, the effects of pine bark and biosolid residues were evaluated on nutrient accumulation in *Rosmarinus officinalis*, and it was observed that plants grown in pine bark showed lower growth and those submitted to biosolid residues accumulated a high concentration of Mn in the leaves, at contents



of 106.6 mg.kg<sup>-1</sup>, where it was possible to observe a slight leaf chlorosis, attributed by the high concentration of the element<sup>36</sup>.

It is possible to infer that the addition of 20% and 40% biosolids in the commercial substrate yielded the best nutritional contributions to the plants, highlighting the supply of P, K, Ca, Mg, S, B, Mo and Zn, which influenced the best photosynthetic rates and resulted in greater increases in dry biomass and number of flower buds produced. Among the analyzed organs, the leaves showed greater accumulation for the majority of the analyzed elements, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Mo and B. Concentrations above 60% biosolid were not satisfactory, since they delayed the establishment and initial plant growth, with low dry biomass increments due to the less favorable conditions of these substrates, such as density, porosity, drainage and aeration, yielding, therefore, plants with lower quality standards.

## Methods

The biosolid was collected at the Sewage Treatment Plant (Coságua), set in Paraguaçu - MG. The biosolid was transported to the drying yard and thus dried with natural insolation, stirred daily for 4 days. After drying, a 400-g sample of each material was collected and analyzed in the soil and plant tissue analysis laboratory of Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé – COOXUPÉ, for chemical analysis. The chemical composition of the biosolid was as follows: 30.3; 4.7; 2.9; 21.4; 2.3; 5.6 g kg<sup>-1</sup> and 14462; 120; 395; 107; 47 mg kg<sup>-1</sup> and 759.7 mmolc dm<sup>-3</sup> of N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, B and cation exchange capacity, respectively. The commercial substrate had the following chemical composition: 6.1; 1.1; 2.2; 11.2; 7.9; 1.2 g kg<sup>-1</sup> and 9433; 122; 21; 12; 29 mg kg<sup>-1</sup> and 571.7 mmolc dm<sup>-3</sup> of N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, B and cation exchange capacity, respectively.

The experimental design was in randomized blocks, with 6 treatments and 5 replicates; the replicate was the mean of the results of each chrysanthemum cutting in the pot. A total of 240 vessels (40 vessels/treatment) was used, and each vessel contained 3 chrysanthemum cuttings (720 in total). The treatments consisted of a homogeneous mixture based on the volume of commercial substrate + biosolid as a substrate for cultivation at the following concentrations: 100% pine bark; 20% biosolid + 80% pine bark; 40% biosolid + 60% pine bark; 60% biosolid + 40% pine bark; 80% biosolid + 20% pine bark and 100% biosolid. Data were submitted to analysis of variance and the means were compared by the Scott Knott test at 5% significance, using the Sisvar software (FERREIRA, 2014).

The experiment was set under greenhouse conditions, located at latitude 21°27'11.54"S, longitude 45°56'41.51"W and 848 m altitude, average temperature of 23 °C. Non-rooted chrysanthemum cuttings ('White Diamond') were purchased from Empresa Terra Viva LTDA and grown in black plastic pots with 8 holes and without dishes, with a volume of 1.3 L and 12 cm in height, containing growing substrate. The commercial substrate was purchased at Terra do Paraíso LTDA, and it consisted of 75% pine bark and 25% vermiculite, pH 6.5 and electrical conductivity of 0.50 mS cm<sup>-1</sup>.

Cutting planting was carried out in March 2017, directly on the growing substrate. Three cuttings per vessel, already treated with 0.1% indolebutyric acid (AIB) growth regulator, were arranged. In this period, to ensure that the substrate was maintained with good moisture in order to preserve the turgor of the newly planted cuttings and ensure their rooting, 150 mL water were applied per pot 2 to 3 times a day with the aid of a beaker, where they also received water directly in their structures through a manual sprayer, to maintain their hydration. Subsequently, during the experiment, the plants continued to receive water at amounts of 150 mL to 200 mL per day in each vessel, according to the development phases, with the aid of a beaker, always observing substrate moisture. Two weeks after planting, the pinch (breaking the apical dominance and stimulating lateral buds) was carried out, removing about 2 cm from the end, leaving 3 leaf pairs per plant.

During the 21-day period, from the date of planting, the cuttings were submitted to long days (DL) with 16h day<sup>-1</sup> of light, with the use of artificial lighting, using incandescent 60-W bulbs, installed at a height of 1.20 m from the pots and spaced 2 m apart from each other in the cyclic light system (alternating 15 minutes of lighting with 15 minutes of dark in the period from 9.00 p.m. to 4.00 a.m.). After 21 days of exposure to DL conditions on the third week of planting, the seedlings were submitted to short day conditions (DC), with 16h day<sup>-1</sup> of dark, from 4.00 p.m. to 8.00 a.m., performed with the use of black Oxford cloth with a double layer, arranged at a height of 1.00 m from the pots, thus covering the whole area of the experiment comprised by the pots. The application of short days through the cloth was interrupted from the observation of the appearance of flower buds. Subsequently, the lateral buds were removed as they became visible, keeping only the apical flower bud on each stem. The cultivation procedures were based on the commercial production of pot chrysanthemum. The cultivation period was 90 days and eight evaluations were carried out (one evaluation every week), from the 5th week until the end

of the cultivation period (12th week). The results for the nutritional verification and accumulation of elements were taken only on the last week of cultivation.

In order to evaluate the rates of absorption, transport, accumulation and redistribution of elements in the different parts of plants, 15 plants were collected per treatment for 8 weeks, in a total of 90 plants per week of evaluation. The plants were separated according to each organ (root, stem, leaf and inflorescence), placed separately in properly identified kraft paper bags and then taken to an oven at 65 °C until constant weight. These procedures were performed weekly and with all 90 plants collected, generating a total of 2475 samples. The different organs of the same concentration were then mixed and homogenized, comprising a single sample, generating a total of 168 plant tissue samples. These samples were sent to the soil and plant tissue analysis laboratory of Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé – Cooxupé, for determination and quantification of macro- and micronutrient concentrations and heavy metals in different organs.

For the analysis of net photosynthetic rate and transpiration, a portable CO<sub>2</sub> and infrared gas analyzer (IRGA Li-6400, LI-COR Biosciences Inc., Nebraska, USA) was used. Five pots were evaluated in each treatment and one plant per pot, and the 4th leaf was duly marked from the apex. Readings were taken in the middle region of the leaf and in the morning, between 09.30 and 11.00 a.m.

Thirty plants were measured and the net photosynthetic rate per unit leaf area (*A*) and transpiration (*E*) were determined. The photosynthetically active radiation (*RFA*) and the concentration of atmospheric CO<sub>2</sub> (*Ca*) were fixed to 1000 μmol photons m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> and 400 μmol mol<sup>-1</sup>, respectively.

## References

1. Ahmed, R et al. Effect of N, P. and K fertilizer on the flower yield of Chrysanthemum. **The Agriculturists**, v. 15, n. 1, p. 58-67, 2017.
2. Boodley, J. W. Plant nutrition and flower crop quality. **HortScience**, Alexandria, v. 10, n. 1, p. 41-42, Feb, 1975.
3. Bugbee, G.J. Growth of Ornamental Plants in Container Media Amended with Biosolids Compost. **Compost Science & Utilization – Journals** v. 10, p. 92–98, 2002.
4. Chang, C.Y et al. Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta, **Environmetal Monitoring and Assessment**, South China, v.186, p. 1547–1560, 2014.
5. Dechen, A. R.; Nachtigall, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S. (ed.) **Nutrição de mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.
6. Dechen, A. R.; Haag, H. P.; Carmello, Q. A. C. **Funções dos micronutrientes nas plantas**. In: Ferreira, M. E.; CRUZ, M. C. P. eds. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, Potafós / CNPq, 1991, p. 65-78.
7. Dias, S.S.H. **Lodo de esgoto na produção de mudas de Bracatinga, (Mimosa scabrella), Crisântemo (Dendranthema grandiflora) e Petúnia (Petunia x híbrida)**. 2015. 98f. Dissertação (em Mestrado Agroecossistemas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.
8. Dutt, M.; Sonawane, P.C. Nutrient uptake in chrysanthemum grown on various substrates. **Indian Journal Horticulture**, Nova Delhi, v.63, n. 1, p 66-69. 2006.
9. Farahat, E; Linderholm, W. H. The effect of long-term wastewater irrigation on accumulation and transfer of heavy metals in Cupressus sempervirens leaves and adjacent soils. **Science of The Total Environmental**, v. 15, p. 512–513;1–7, 2015.
10. Fernandes, E.P. et al. Marcha de acúmulo de fósforo em crisântemo (*Dendranthema grandiflorum* T., var. *Salmon Reagan*) no inverno. **Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiás**, v.38, n.1, p.27-31, jan-mar, 2008.
11. Fernandes, M. S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.
12. Ferreira, L. D. B. et al. Acúmulo de macronutrientes em cultivares de crisântemo para vaso, em Goianira – GO. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Goianira - GO**, v. 7, n. 1, p. 9-16, 2012.
13. 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.
14. Fontes, P. C. R. **Nutrição mineral de plantas: Anamnese e diagnóstico**. Em: *Análise Foliar: Interpretação de Resultados*, Ed. UFV. Viçosa-MG, p. 126, 2016.
  15. Gómez-Peres, L. et al. Calcium Ameliorates the Tolerance of Lisianthus [*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.] to Alkalinity in Irrigation Water. **HortScience**, Alexandria, v. 49, n. 6, p. 807-811, 2014.
  16. Gruszinski, C. **Produção comercial de crisântemo: vaso, corte e jardim**. Guaíba: Agropecuária, 2001, p.166.
  17. Hassan, Z.; Aarts, M.G.M. Opportunities and feasibilities for biotechnological improvement of Zn, Cd or Ni tolerance and accumulation in plants. **Environmental and Experimental Botany**. v. 72, p.53–63, 2011.
  18. Halecki, W; Klatka, S. Long term growth of crop plants on experimental plots created among slag heaps. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.147, p. 86-92, 2018.
  19. Li, B.; Brett, M.T. The influence of dissolved phosphorus molecular form on recalcitrance and bioavailability. **Environmental Pollution**,v. 182, p. 37–44, 2013.
  20. Lima, A.M.L.P.; Haag, P.H. **Nutrição mineral de plantas: XIII - Absorção de macronutrientes pelo em crisântemo (*Chrysanthemum morifolium* cv. Golden Polaris)**. In: Haag, P.H.; Minami, K.; Lima, A.M.L.P. (Eds.). *Nutrição mineral de algumas espécies ornamentais*. Campinas: Fundação Cargill, p.64-102, 1989.
  21. Lombard, K.; Et al. Fly Ash and Composted Biosolids as a Source of Fe for Hybrid Poplar: A Greenhouse Study. **Applied and Environmental Soil Science**. v. p. 1–11, 2011.
  22. Malavolta, E. (2006) **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. Ed. Agronômica Ceres, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ, São Paulo-SP: Agronômica Ceres, 2006, p. 638.
  23. Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. D. E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, 1997. p. 319.
  24. Menegaes, J. F. et al. Avaliação do potencial fitorremediador de crisântemo em solo com excesso de cobre. **Ornamental Horticulture**, Campinas, v. 23, n. 1. P. 63-71, 2017.
  25. Mota, P. R. D' A. et al. Condutividade elétrica da solução nutritiva e acúmulo de macro e micronutrientes no cultivo de crisântemo. **Bragantia**. Campinas, v.72, n. 1, p.81-89, 2013.
  26. \_\_\_\_\_. Concentração de sais da solução avaliada pela condutividade elétrica na zona radicular do crisântemo sob irrigação por gotejamento. **Irriga**. Botucatu, v. 11, n. 4, p. 532-542, 2006.
  27. Paiva, P.D.O.; Almeida, E.F.A. 2012. vol 1. p.678. **Produção de flores de corte**. Lavras: Ed. UFLA.
  28. Riaz, M et al. Boron alleviates the aluminum toxicity in trifoliolate orange by regulating antioxidant defense system and reducing root cell injury, **Journal of Environmental Management**, v. 208, p. 149-158, 2018.
  29. Rodrigues, M. A. **Crescimento e marcha de absorção de nutrientes de crisântemo (*Dendranthema grandiflora*, Tzvelev.) cultivado em vaso**. 2013. 192f. Tese (Doutorado em Ciências, área de concentração em Fitotecnia) - Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013.
  30. Roude, N.; Nell, T. A.; Barret, V. E. Nitrogen source and concentration growing medium and cultivar affect longevity of potted chrysanthemums. **HortScience**, Alexandria, v. 26, n. 1, p. 49-52, 1991.
  31. Santos, F. E. V et al. Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 18, n. 9, p. 971-979, 2014.
  32. Siddiqui, M. H.; et al. Calcium-Induced amelioration of boron toxicity in radish. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 32, p. 61–71, 2013.

33. Silva, M. A. G et al. Chemical characteristics of an Oxisol after urea and potassium chloride fertilization in a protected environment. **Scientia Agricola**, v. 58, 561-566, 2001.
34. Stringheta, A.C. O. **Crisântemo para flor de corte (*Dendranthema grandiflorum* Tzelev)**. In: TOMBOLATO, A. F. C. (Ed.) Cultivo comercial de plantas ornamentais. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2004, p. 95–135.
35. Taiz, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal** [tradução: Alexandra Antunes Mastroberti ... et al.]; revisão técnica: Paulo Luiz de Oliveira. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017, p. 735.
36. Tapia, Y. O, et al. Accumulation of Mn in Leaves of *Rosmarinus officinalis* Cultivated in Substrates of Pine Bark, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n.14, p. 1961-1973, 2014.
37. Torri, S. I; Corrêa, R.S; Renella, G. Biosolid Application to Agricultural Land a Contribution to Global Phosphorus Recycle: A Review. **Pedosphere**, v. 27, p.1–16, 2017.
38. Trazzi, P. A et al. Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com biossólido. **Revista Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 293-302, 2014.
39. Vaněk. V. et al. **The Nutrition of Horticultural Plants**. Ed. 2 Academic Press, Prague, p. 568, 2012.
40. Vidalie, H. **Produccion de flores y plantas ornamentales**. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1992, p. 301.
41. Yoon, H.S.; Goto, T.; Kageyama, Y. Mineral uptake as influenced by growing seasons and developmental stages in spray chrysanthemums grown under a hydroponic system. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v. 69, p. 255-260, 2000.
42. Zhang, W.; et al. Accumulation and distribution characteristics for nitrogen, phosphorus and potassium in different cultivars of *Petunia hybrida* Vlim. **Science in Horticulture**, v. 141, p. 83-90, 2012.
43. Zanten, S. V. **Valores de referência para análise foliar no crisântemo na fase generativa**. Agrifloricultura-Ltda, 1997.

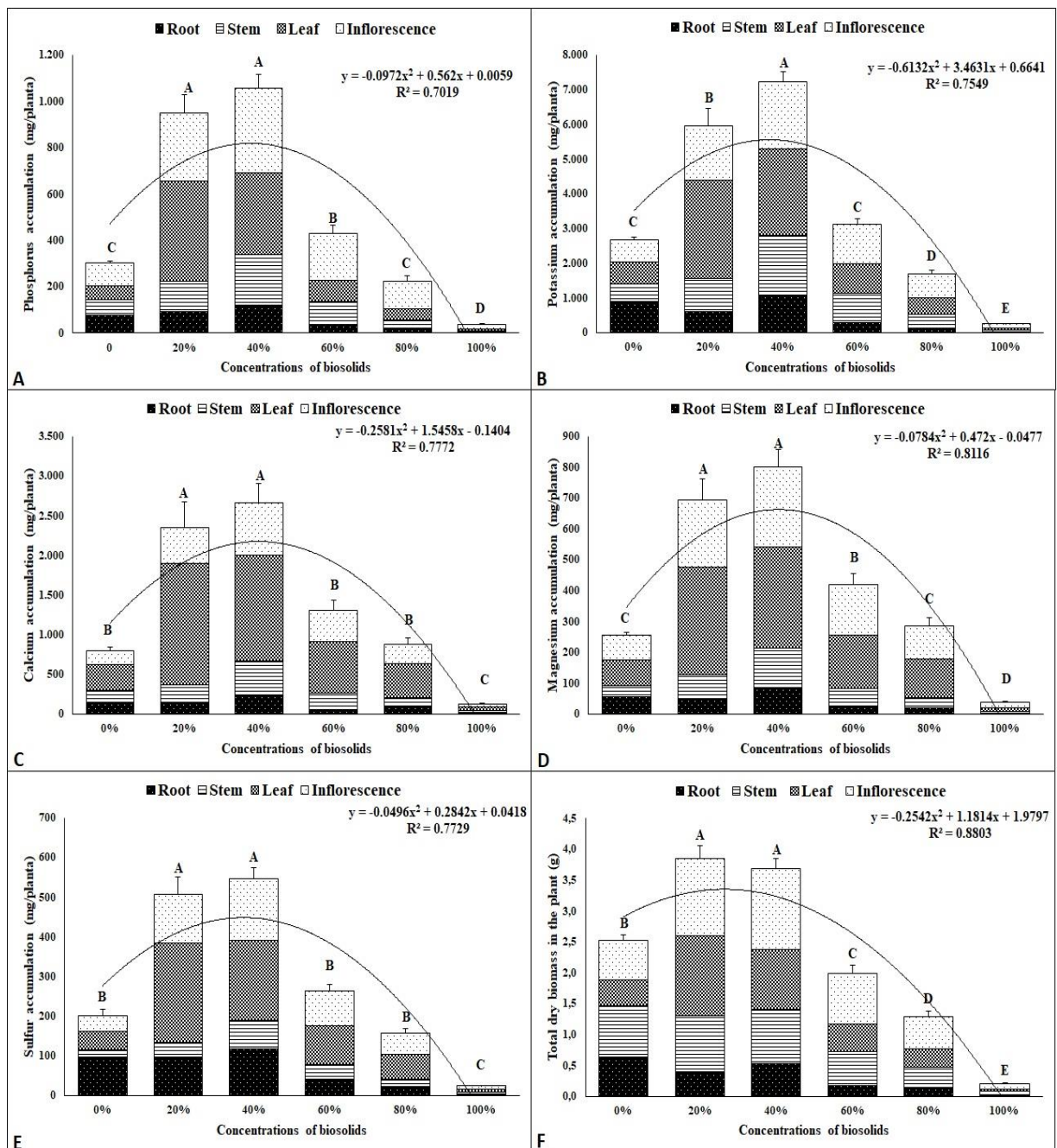
**Acknowledgements**

FAPEMIG, CAPES, COOXUPÉ, UNIFAL/MG, UNIFENAS/Alfenas, IFSULDEMINAS – Campus Muzaminho

**Author contributions statement**

F.L.P. Participation, preparation, execution and analysis of the results of the whole experiment; U.A.O. Participation, preparation, execution and analysis of the results of the whole experiment; M. D. A. Conduction of chemical analyses of substrates and plant material, F.C.F. Participation in statistical analyses, review of results and writing; B. R. S. Co-advisor; M. C. Co-advisor, S. B. Advisor.

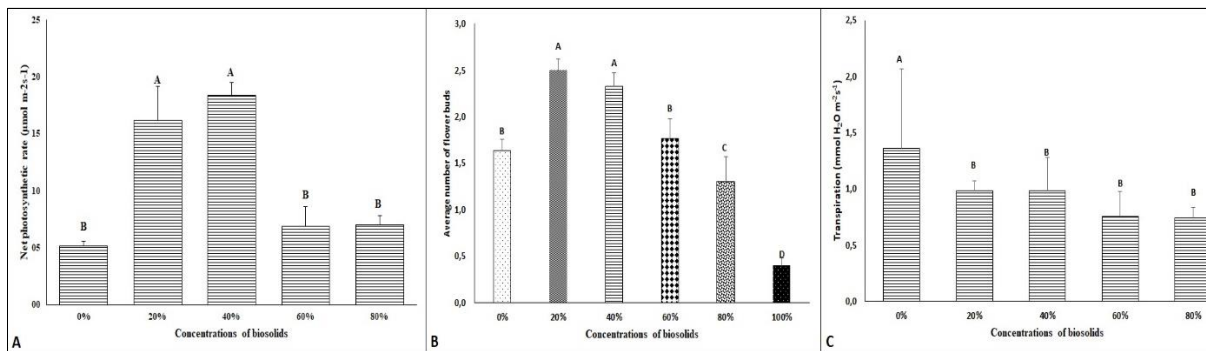
## Additional information



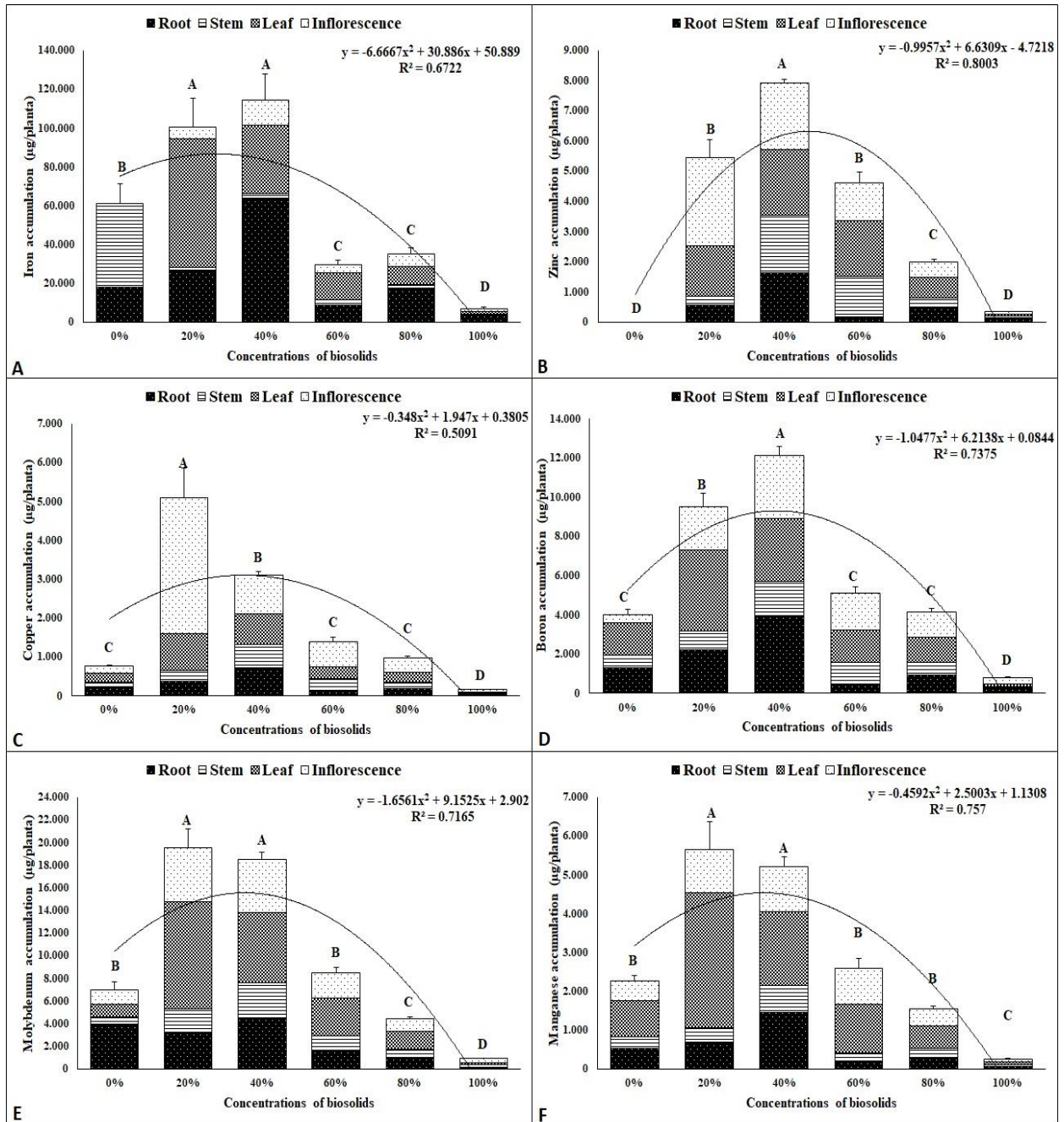
**Figure 1.** Total accumulation of macronutrients and dry biomass in chrysanthemum plants at 90 days of cultivation. **A** - Phosphorus, **B** - Potassium, **C** - Calcium, **D** - Magnesium, **E** - Sulfur, **F** - Total dry biomass. Same letters do not differ by the Scott-Knott test at 5% significance.



**Figure 2.** Chrysanthemum plants submitted to concentrations of 0, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% of biosolid, respectively, evidencing differences in root growth at 10 days of cultivation.



**Figure 3.** **A** – Net photosynthetic rate, **B** – Average number of flower buds and **C** – Transpiration in chrysanthemum plants submitted to concentrations of 0, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% of biosolid.



**Figure 4.** Total accumulation of micronutrients in the dry biomass of chrysanthemum plants at 90 days of cultivation. **A** - Iron, **B** - Zinc, **C** - Copper, **D** - Boron, **E** - Molybdenum, **F** - Manganese. Same letters do not differ by the Scott-Knott test at 5% significance.