

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

Rejane Pereira de Souza

Uso de resíduos de papel em compostagem agrícola

**Montes Claros
2018**

Rejane Pereira de Souza

Uso de resíduos de papel em compostagem agrícola

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Arnaldo Fernandes

Coorientador: Prof. Dr. Regynaldo Arruda Sampaio

Montes Claros
Abril de 2018

Rejane Pereira de Souza

Uso de resíduos de papel em compostagem agrícola



Prof. Dr. Luiz Arnaldo Fernandes
(Orientador ICA/UFG)

Aprovada em 05 de Abril de 2018.

Montes Claros, Abril de 2018

Souza, Rejane Pereira de.

S729u Uso de resíduos de papel em compostagem agrícola / Rejane Pereira de
2018 Souza. Montes Claros, 2018.
48 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Área de concentração em Produção Vegetal,
Universidade Federal de Minas Gerais / Instituto de Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Luiz Arnaldo Fernandes

Banca examinadora: Prof. Luiz Arnaldo Fernandes, Prof.^a Leidivan
Almeida Frazão, Prof.^a Maria das Dores Magalhães Veloso.

Inclui referências: f. 22-24; 33-34; 46-47.

1. Papel. 2. Resíduos de papel -- reaproveitamento. 3. Adubos
compostos. I. Fernandes, Luiz Arnaldo (Orientador). II. Universidade
Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 628.4

“Dedico este trabalho aos meus pais que reuniram todos os esforços para nos ensinar que a educação é a melhor forma de transformar realidades...”

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, no qual busco força, inspiração e segurança para perseverar diante de todas as situações.

Ao meu esposo, companheiro e cúmplice em todas as lutas, sem o qual não seria possível essa conquista.

Aos meus pais queridos, que sempre colocaram a educação como uma prioridade em nossas vidas e às minhas irmãs pelo apoio e carinho.

Aos meus filhos amados, por compreenderem as minhas aflições, o meu cansaço e as minhas ausências.

Aos colegas de mestrado e amigos que fiz no decorrer deste curso. Em especial, as amigas Camila, Luana e Josiane, pela troca de experiências, pelas alegrias e pelo carinho.

À equipe do Laboratório de Solo, pela compreensão e paciência.

À equipe do Laboratório de Resíduos, em especial ao amigo Márcio, pelo suporte e orientação e ao graduando Gilmar pelo auxílio.

Ao amigo Sérgio do Laboratório de Bromatologia pelo apoio.

Aos excelentes professores que tive o prazer de conhecer e admirar pelo alto comprometimento em todas as tarefas que realizam.

Às professoras Leidivan Almeida Frazão e Elka Fabiana Aparecida Almeida pelas parcerias em projetos nas escolas em que atuo.

Ao professor Charles Martins Aguiar, pelo apoio e amizade.

Ao professor Regynaldo Arruda Sampaio por orientar-me em diversas situações.

Ao professor Delacyr, pelo carinho e simpatia.

De forma especial a minha gratidão, admiração e respeito ao professor Luiz Arnaldo Fernandes pelo seu profissionalismo, competência e humanidade.

À Érika do Laboratório de Pesquisa em Agroquímica e ao Professor Flaviano Silvério pela prestatividade e competência.

Ao amigo Luan pela orientação e suporte.

Aos estagiários Kelson Noronha e Eulina Fernandes pelo auxílio em todas as etapas da pesquisa.

Muito obrigada!

*“O êxito da vida não se mede pelo caminho que você conquistou,
mas sim pelas dificuldades que superou”.*

Abraham Lincoln

USO DE RESÍDUOS DE PAPEL EM COMPOSTAGEM AGRÍCOLA

RESUMO

Nos dias atuais, a destinação correta de resíduos sólidos gerados no ambiente urbano tem sido tema de debates constantes por parte da sociedade civil e dos órgãos ambientais. É preciso garantir que os recursos naturais utilizados possam de alguma forma retornar ao ambiente e, de preferência, que este retorno seja vantajoso. O presente trabalho teve por objetivo avaliar compostos orgânicos produzidos a partir de esterco bovino com resíduos de papel de ambientes escolares, brancos e impressos com tinta preta. Em recipientes de 6 dm³ de capacidade produziu-se três compostos orgânicos a partir de esterco bovino e resíduos de papel sulfite branco (relação 4:1) (RPB), composto de esterco bovino e papel sulfite impresso (relação 4:1) (RPI) e somente de esterco bovino (EPC). Nos compostos orgânicos produzidos, os teores de Pb e Cd ficaram abaixo dos limites de quantificação da metodologia utilizada. Realizaram-se dois cultivos consecutivos de alface. O primeiro cultivo foi realizado em vasos de 3 dm³, em delineamento inteiramente casualizado no esquema 4x3+1 com quatro repetições. Os tratamentos foram: quatro doses de composto orgânico, equivalentes a 20, 40, 80, 160 Mgha⁻¹, três compostos (RPB, RPI e EPC) e a dose zero como tratamento adicional, sem adição de composto orgânico. O segundo cultivo foi realizado 90 dias após o primeiro, sem adubação adicional. No solo, houve aumento do pH, CTC, COS, teores de P, K, Ca e Mg, após 2 cultivos consecutivos. Os metais Ni, Cr, Pb e Cd não foram absorvidos pela planta após incorporação do composto orgânico ao solo após um período de três meses. A utilização de resíduos de papel de ambientes escolares em compostagem agrícola melhorou as propriedades do solo e aumentou a produção da alface, sendo as maiores produtividades obtidas no segundo cultivo. Os resultados indicam que esse tipo de composto apresenta efeito residual para um segundo cultivo de alface, sendo indicado como um condicionador e que esta tecnologia pode ser utilizada como descarte final de resíduos de papel.

Palavras-chave: Tintas de impressão. Papel reciclado. Compostagem.

USE OF PAPER WASTE IN AGRICULTURAL COMPOSITION

ABSTRACT

Nowadays, the correct destination of solid waste generated in the urban environment has been the subject of constant debates by civil society and environmental agencies. It is necessary to ensure that the natural resources used can somehow return to the environment and, preferably, that this return is advantageous. The present work aimed to evaluate organic compounds produced from bovine manure with paper waste from school environments, white and printed with black ink. In containers of 6 dm³ three organic composts were produced from bovine manure and white sulfite paper (4: 1 ratio) (RPB), bovine manure and printed sulfite paper (4: 1 ratio) (RPI) and bovine manure (EPC) only. In the organic compounds produced, the Pb and Cd contents were below the limits of quantification of the methodology used. Two consecutive lettuce crops were grown. The first cultivation was carried out in pots of 3 dm³, in a completely randomized design in the 4x3 + 1 scheme with four replications. The treatments were: four doses of organic compound, equivalent to 20, 40, 80, 160 Mg ha⁻¹, three compounds (RPB, RPI and EPC) and the zero dose as additional treatment, without addition of organic compound. The second cultivation was carried out 90 days after the first one, without additional fertilization. In the soil, there was an increase in pH, CTC, COS, P, K Ca and Mg, after 2 consecutive cultivations. The Ni, Cr, Pb and Cd metals were not absorbed by the plant after incorporation of the organic compound into the soil after a period of three months. The use of paper waste from school environments in agricultural compost improved soil properties and increased lettuce production, with the highest yields obtained in the second crop. The results indicate that this type of organic compound has residual effect for a second lettuce crop, being indicated as a soil conditioner and that this technology can be used as final disposal of waste paper.

Keywords: Printing inks. Recycled paper. Composting.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo Geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1 Resíduo de papel.....	14
3.1.1 O papel e sua história	14
3.1.2 A composição bioquímica da madeira	14
3.1.3 Processo produtivo do papel	15
3.1.4 O processo de impressão	16
3.2 Processos de Compostagem	17
3.2.1 Características do processo	17
3.2.2 Compostos Orgânicos.....	17
3.2.3 Legislação sobre compostos no Brasil.....	17
3.2.4 Efeito residual de compostos orgânicos	18
3.3 Cultivo de Plantas do gênero <i>Lactuca</i>	19
3.4 Metais potencialmente tóxicos em compostos orgânicos e seus efeitos.....	20
3.5 Referências.....	21
4 ARTIGO(S)	24
4.1 Artigo 1 - caracterização de compostos orgânicos produzidos com resíduos de papel.....	24
4.1.1- Referências.....	32
4.2 Artigo 2 - Cultivos sucessivos de alface em solo adubado com composto orgânico produzido a partir de resíduos de papel	34
4.2.1 Referências.....	46
5 CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de papel do mundo, sendo o maior da América do Sul. Entre 2010 e 2015 produziu 10,35 milhões de toneladas e deste total 24% é destinado à impressão e escrita (SILVA *et al.*, 2016). O papel cut-size ou sulfite utiliza em seu processo produtivo uma pasta a base de celulose retirada principalmente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (FELÍCIA, 2009). Essas duas espécies são ricas em nutrientes que podem permanecer mesmo que em quantidades menores no produto final.

Este tipo de papel é usado em escritórios e, principalmente, no ambiente escolar. Após o uso é descartado, geralmente no lixo comum e destinado de forma incorreta em lixões ou incinerações caseiras. A reciclagem de papel enfrenta desafios relacionados à falta de um serviço eficiente de coleta seletiva, sendo apenas 18% dos municípios brasileiros atendidos (RADIOGRAFANDO..., 2016). Como alternativa de reciclagem, a compostagem tem se mostrado como um processo eficiente para o retorno de nutrientes para o solo. No entanto, estes resíduos podem conter substâncias provenientes do processo produtivo ou substâncias empregadas nas tintas que causem contaminação ambiental, inviabilizando seu uso.

A compostagem em pilhas e com grande volume de material nitrogenado em ambientes com pouco espaço e com grande circulação de pessoas, como é o caso do ambiente escolar, pode atrair vetores, liberar maus odores, tornando assim um meio de contaminação do ambiente e alimentos ali servidos, sendo a compostagem em vasos uma alternativa no sentido de minimizar estes efeitos.

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças mais consumidas no Brasil e é considerada uma boa indicadora para validar a qualidade de adubos orgânicos (KHIEL, 2010). A adubação orgânica tem sido recomendada por vários autores para o cultivo de alface por disponibilizar nutrientes que atendem a necessidade da cultura, substituindo a adubação mineral (SILVA *et al.*, 2010). No entanto, se o composto orgânico não estiver adequado para o uso, ele pode gerar toxidez e conter poluentes que prejudicam o desenvolvimento das plantas (KHIEL, 2010).

A resposta desta espécie à adubação orgânica depende da cultivar, do tipo de substrato utilizado e das doses aplicadas. Além disso, o composto orgânico recém produzido pode não disponibilizar para as plantas as quantidades necessárias de nutrientes em um primeiro cultivo, logo após a sua aplicação. Sampaio *et al.* (2007) afirmam que o uso de esterco bovino pode causar imobilização de nutrientes quando incorporado ao solo, tendo sua liberação aumentada ao longo de três meses após a incorporação. Nesse sentido, o efeito residual do esterco bovino apresenta melhores resultados a médio e longo prazo (BONELA *et al.*, 2017). Santi *et al.* (2010), usando esterco e esterco com serragem como adubos orgânicos em cultivo de alface, verificaram que o esterco com serragem por apresentar maior relação C/N disponibilizou de forma mais lenta os nutrientes para as plantas. Peixoto Filho *et al.* (2013) verificaram um maior incremento nos teores de matéria fresca, seca, número de folhas e produtividade com o uso de esterco bovino em um segundo cultivo de alface.

São poucos os estudos sobre a decomposição de resíduos de papel em branco e impresso e seu efeito sobre as propriedades do solo e produção vegetal.

Considerando que a alface é considerada um bioindicador para validar a qualidade de compostos orgânicos, o objetivo deste trabalho foi caracterizar compostos orgânicos produzidos em pequena escala a partir de resíduos de papéis em branco e impressos e usar a alface para testar a qualidade dos compostos produzidos avaliando as propriedades do solo e a nutrição da alface em dois cultivos consecutivos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Avaliar a viabilidade da utilização de papel sulfite como matéria-prima para compostagem agrícola.

2.2 Objetivos Específicos

- Produzir compostos orgânicos utilizando resíduos de papel em branco e papel impresso;
- Avaliar atributos químicos dos compostos produzidos na melhoria das condições da fertilidade do solo;
- Avaliar o efeito das doses dos compostos produzidos em cultivo de alface (*Lactuca sativa*), cultivar cinderela;
- Avaliar o efeito residual dos compostos em um segundo cultivo;
- Avaliar a presença dos metais Pb e Cd nos compostos, Pb, Cr, Cd e Ni na planta e no solo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Resíduo de papel

3.1.1 O papel e sua história

Há registros históricos que permitem dizer que a fabricação de papel é um processo antigo. O papel largamente usado nos dias atuais é originário da China e era feito por meio de um processo que consistia na união de restos de cascas de árvores e tecidos, sendo a sugestão para sua produção oriunda de um processo realizado por vespas que a partir da mastigação de madeira podre produziam uma pasta para uso em ninhos (OSÓRIO, 2007). O segredo da produção de papel ficou guardado na China por muitos anos sendo difundido para o mundo a partir do século VIII. No Brasil, a primeira fábrica instalada foi em 1971 (FRITOLI; KRÜGER; CARVALHO, 2016). Nos dias atuais, a madeira é a matéria-prima principal da produção de papel. As espécies mais utilizadas como matéria-prima são as pertencentes ao gênero *Pinus* que, além de apresentarem um preço reduzido, fornecem também uma maior resistência, devido ao maior comprimento de suas fibras e as espécies pertencentes ao gênero *Eucalyptus* por apresentarem acelerado ciclo de crescimento (FELÍCIA, 2009).

3.1.2 Composição bioquímica da madeira

As cascas de madeira do gênero *Eucalyptus* são constituídas de açúcares, ceras, pectinas, alcoóis, óleos, flavonóides, gomas, resinas, suberina, celulose, hemicelulose, lignina e minerais. Apresentam um teor de celulose de 40%. Do total de carboidratos, a glicose aparece como o monossacarídeo mais abundante (70 a 75%). A lignina representa de 12 a 20% da composição. Além desta composição, as cascas destas espécies apresentam ainda alto teor de sais minerais (FOEKEL, [2005?]).

A celulose é um polissacarídeo de grande importância como componente estrutural da parede celular dos vegetais. É o polímero de maior ocorrência no mundo, que apresenta a fórmula ($C_6H_{10}O_5$), sendo encontrada em plantas verdes, fungos, protozoários e procariontes (DONINI *et al.*, 2010). Ela é uma macromolécula constituída por vários monômeros unidos em longas cadeias que necessitam passar pelo processo de hidrólise para que sejam usados como fonte de energia pelas plantas. Uma vez incorporada à parede celular dos vegetais, a celulose não disponibiliza mais glicose para a planta. Poucos seres conseguem degradar a celulose. Somente alguns fungos, cupins e bactérias conseguem produzir a celulase, que é uma enzima capaz de realizar essa função (RAVEN, 1996).

As moléculas de celulose não apresentam ramificações. Estas se unem em um complexo cristalino que recebe o nome de microfibrila. A disposição das hidroxilas na molécula favorece a formação de várias pontes de hidrogênio que competem com a água, restando o mínimo de água no cristal, formando uma estrutura cristalina e desidratada. Esse fato gera maior resistência às forças de tração e ao ataque enzimático da molécula (KERBAUY, 2008).

A celulose é insolúvel em água e sua decomposição ocorre por ação de enzimas produzidas por vários fungos (*Trichoderma*, *Chaetomium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium* e *Phoma*) e por bactérias aeróbias e anaeróbias. Em pH menor ou igual a 5,5, a decomposição da celulose é favorecida por fungos, em pH acima de 5,7 a 6,2 predominam bactérias do gênero *Cytophaga* e em pH neutro a alcalino, a decomposição ocorre por bactérias do gênero *Vibrio*. Em compostos, geralmente a bactéria que degrada a celulose é a *Clostridium Thermocellum* devido a altas temperaturas. Outras bactérias do gênero *Clostridium* são boas decompositoras anaeróbias de celulose (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As hemiceluloses cujo representante principal é o xiloglucano (XG), são formadas por cadeias de glicoses ligadas, só que de forma ramificada em alguns pontos do xiloglucano. O local da cadeia onde as glicoses não estão ramificadas é um dos poucos pontos de acesso das celulasas. As forças de interação entre as moléculas de xiloglucanos são menores que as da celulose, impedindo que estes formem microfibrilas (KERBAUY, 2008).

As hemiceluloses apresentam dificuldades de degradação quando se unem a outros compostos através de pontes de hidrogênio. Alguns fungos e bactérias são capazes de degradar este componente da parede celular (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A lignina é um polímero abundante, localizada na parede celular dos vegetais. No solo, ela é considerada um material recalcitrante devido ao seu alto peso molecular e sua composição que lhe confere grande estabilidade. A lignina impede e protege a celulose e a hemicelulose da ação enzimática de decomposição. A decomposição da lignina pode ser feita por fungos das espécies *Pleurotus ostreatus*, *Phanerochaete versicolor* e *Phanerochaete chrysosporium*, exigindo as seguintes condições: umidade entre 60 e 70%, temperatura de 25 a 30 graus, relação C/N: 25:1 e pH na faixa ácida (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

3.1.3 Processo produtivo do papel

A matéria-prima usada na fabricação de papel é a celulose, cuja origem é a madeira ou sobras de papel reaproveitadas durante o processo de fabricação ou reutilizadas após consumo, ou também do uso de outros materiais de origem fibrosa (BRACELPA, 2010). A celulose é submetida a processos de tratamento de acordo com a finalidade do papel a ser produzido. De acordo com Piotto (2003), os processos envolvidos na produção de papel são realizados por meio de etapas. A madeira é recortada e peneirada para permitir um cozimento mais homogêneo e com melhor rendimento. As fibras são cozidas no licor com hidróxido e sulfeto de sódio facilitando a dissolução da lignina e de hemiceluloses. A seguir, as fibras são lavadas havendo recuperação dos reagentes. A deslignificação do produto é realizada com o uso de oxigênio, hidróxido, tiosulfato de sódio e sulfato de magnésio, passando pela etapa de clareamento com dióxido de cloro, peróxidos, ozônio e oxigênios. Hoje, os produtos clorados estão sendo substituídos por peróxidos com o objetivo de reduzir a formação de subprodutos tóxicos.

A etapa de clareamento tem como principal objetivo, a retirada quase que total da lignina, pois papéis que apresentam 1/3 ou 1/4 de lignina como é o caso do papelão, amarelam quando entram em contato com o oxigênio (FELÍCIA, 2009).

3.1.4 O processo de impressão

O papel utilizado por diversos setores da economia e que é próprio para impressão é o papel denominado de “Offset” sulfite. Ele é fabricado com bastante cola, superfície uniforme livre de felpas, penugem e preparado para resistir aos efeitos da umidade, facilitando assim a fixação de tintas na sua superfície (TIPOS..., [2012?]).

As tintas pretas de caneta ou de cartuchos apresentam como componente básico uma substância denominada “negro de fumo”. No caso de tintas de impressoras, são usados ainda outros polímeros (que vêm do petróleo, derivados de óleo de pinho ou breu) e solventes que são derivados do petróleo e evaporam rapidamente (VELSON, 2013)

O negro de fumo “carbon black” é um produto obtido por meio de decomposição térmica (pirólise) ou combustão parcial de hidrocarbonetos gasosos ou líquidos. Suas características principais são o elevado poder de pigmentação e a capacidade de elevar a resistência de materiais, como acontece quando este é combinado com as borrachas para formar pneus. No ramo das especialidades, o negro de fumo é aplicado em tintas de alto desempenho como as utilizadas em impressoras a jato de tinta (BNDES, 1998)

O negro de fumo é um pó preto, insolúvel em água, estável a uma taxa de até 300°C. Pode liberar durante a sua decomposição monóxido de carbono, dióxido de carbono e óxidos de enxofre. Apresenta $\text{pH} > 7$ (50 g l^{-1} a 20°). É considerado um produto que apresenta risco à saúde humana, como contaminante do ar, classificado como cancerígeno grau dois por inalação prolongada do produto. Não se espera bioacumulação deste produto devido às suas características físico-químicas, não sendo, portanto, classificado como lixo ambiental perigoso para o meio ambiente (BASILE QUÍMICA, 2017).

Em um cartucho de tinta 27% é constituído pelos corantes e os outros 73% são constituídos por substâncias que aceleram a secagem, aumentam a proteção e realizam outras funções que garantem uma boa impressão. Outros constituintes dos cartuchos são: 17% aditivos antiobstrução por resíduos, 15% são amortecedores, 13% são aditivos antiespiral, 11% são conservantes, 6% são surfactantes, 6% são cosolventes, 2% umectantes, 2% polímeros ligantes e 1% agentes quelantes. Estes dados referem-se a um cartucho de tinta novo da marca HP (CARDOSO, 2014).

Os toners usados em máquinas copiadoras também apresentam como pigmento principal o negro de fumo. São ainda usados na fabricação do mesmo, cerâmica ou sílica como transportador de carga, resinas de poliéster que hoje substituem as resinas de acrílico por serem menos poluentes e produzirem gases menos tóxicos e ceras como agentes de brilho. Esse toner é classificado como Ferroso, sendo o mais usado em copiadoras (RODRIGUES, 2009).

3.2 Processo de Compostagem

3.2.1 Características do processo

A compostagem é um processo que tem como princípio fundamental a decomposição da matéria orgânica. Decomposição é a quebra do material orgânico que geralmente apresenta-se na forma de polímeros gerando materiais que podem ser absorvidos por células bacterianas. É um processo complexo facilitado pelos organismos constituintes da macrofauna e finalizado por microrganismos. O processo é dependente do grau de degradabilidade do resíduo, podendo ser rápida (dias ou meses) ou lenta (anos) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Em um processo de decomposição são necessários dois tipos de materiais: aqueles ricos em nitrogênio (folhas verdes, estrumes de animais, urinas, solo, restos de vegetais hortícolas, ervas, etc.) e outros ricos em carbonos (cascas de árvores, aparas de madeira, podas dos jardins, folhas e galhos de árvores, palhas, feno e papel) (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008). Depende ainda da presença de oxigênio e do tamanho das partículas. Partículas muito pequenas podem gerar compactação do material e partículas muito extensas apresentam menor superfície de contato dificultando o acesso do microrganismo decompositor. A relação C/N ideal para as compostagens deve ser igual a 30/1, sendo que 2/3 do carbono se perderá na forma de CO₂ e 1/3 do carbono se unirá ao nitrogênio para compor as estruturas celulares dos microrganismos (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

3.2.2 Compostos orgânicos

Desde a antiguidade, vários materiais de origem orgânica vêm sendo utilizados como fonte de nutrientes para as plantas. Das diversas matérias-primas utilizadas para compostagem, o esterco bovino é o mais usado, apresentando muitas vezes, resultados diferentes, uma vez que sua composição depende do tipo de alimentação que o animal recebe, o local de coleta e o sistema de criação (GOMES *et al.*, 2008). Os compostos formados com esse material devem apresentar características referentes ao pH, relação C/N e umidade que o definam como um composto maturado. Os testes biológicos com cultivo de alface podem ser usados para verificação do grau de maturidade dos compostos. A fitotoxicidade apresentada no cultivo de uma espécie pode indicar que o fertilizante não está pronto para uso ou que apresenta substâncias tóxicas (KHIEL, 2010).

3.2.3 Legislação sobre compostos no Brasil

A compostagem é considerada uma destinação final ambientalmente adequada de resíduos, quando é permitida pelos órgãos do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA). Quanto à origem, o esterco bovino é considerado um resíduo agrossilvopastoril e os resíduos de papel em branco e impresso são classificados como lixo domiciliar (BRASIL, 2010).

Os resíduos de papel e papelão são classificados como resíduos não perigosos. Não há uma classificação específica sobre papel impresso, mas as tintas de impressão podem apresentar

características de periculosidade por suas propriedades (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004).

Os compostos novos que ainda não foram aprovados devem seguir as regulamentações definidas pelo Artigo 15 – Decreto nº 4.954 de 2004, alterado pelo decreto nº 8.384 de 29 de dezembro de 2014 e Instrução Normativa (IN) do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) nº 53/2013. Estas duas legislações regulamentam a produção, comercialização, garantias mínimas e contaminantes no composto (BRASIL, 2016).

3.2.4 Efeito residual de compostos orgânicos

Fatores como aqueles ligados ao solo e ao clima, a relação C/N, a quantidade de carbonos presentes e capacidade de degradação de um material podem influenciar na mineralização dos compostos orgânicos (SYLVESTRE, 2013). Neste contexto tem-se que os compostos orgânicos provenientes do esterco bovino podem ser mineralizados de uma forma mais lenta devido à sua relação C/N, permanecendo neles nutrientes suficientes para um novo cultivo no solo. O efeito residual do esterco bovino apresenta melhor resultado em produtividade que sua aplicação em um primeiro cultivo (BONELA *et al.*, 2017).

Peixoto Filho *et al.* (2013), ao cultivarem alface usando esterco de frango, bovino e ovino, verificaram um maior incremento nos teores de matéria fresca, seca, número de folhas e produtividade da alface com o uso de esterco bovino em um segundo cultivo da cultura, reforçando que a mineralização deste material ocorre de forma mais lenta. Este resultado é explicado pela disponibilidade gradual de nutrientes ao longo de cultivos sucessivos provavelmente determinados pela relação C/N. O esterco de frango proporcionou melhores resultados no primeiro cultivo, apresentando uma relação C/N inferior aos demais esterco utilizados.

O nitrogênio disponibilizado pelos esterco orgânicos representa 50% do total, uma vez que boa parte deste nitrogênio é perdida por volatilização e lixiviação. O nitrogênio que será absorvido em formas orgânicas fica acumulado no solo devido a sua lenta mineralização (SYLVESTRE, 2013).

3.3 Cultivo de Plantas do gênero *Lactuca*

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta herbácea, de caule pequeno que pode ter folhas lisas ou crespas e várias colorações, cujas raízes podem atingir 25 cm de profundidade no solo quando transplantadas e até 60 cm em semeadura direta. Esse gênero de plantas compreende variedades cujo desenvolvimento vegetativo ocorre melhor em clima mais ameno, iniciando o período reprodutivo com o pendoamento. Esta espécie está melhor adaptada a solos que retêm água, com pH de 6 a 6,8, e com saturação de bases de aproximadamente 70% (FILGUEIRA, 2007). No Brasil, o cultivo desta hortaliça, conta com uma enorme variedade de cultivares que podem se diferenciar pelo formato (formação de cabeça ou não), textura (lisas ou crespas) e também pela cor (esverdeada ou arroxeadas) (HENZ; SUINAGA, 2009). A cultivar Cinderela apresenta folhas crespas, não forma cabeça e sua cor é esverdeada. Das cultivares utilizadas no Brasil, ela é uma das menos resistentes às altas temperaturas apresentando um comprimento de pendão floral de 8,64 cm após 40 dias do plantio (SUINAGA *et al.*, 2013).

A aplicação de adubos como esterco animal é benéfica a este tipo de cultura (FILGUEIRA, 2007). Estudos realizados por Silva *et al.* (2011) compararam cultivos de alface com a aplicação de compostos orgânicos com cultivos em sistema de hidroponia e convencional. Os resultados mostraram que em sistema orgânico, as alfaces apresentaram maior qualidade e menor teor de nitratos.

Os compostos orgânicos fornecem nutrientes suficientes para suprir a cultura de alface em um primeiro cultivo substituindo os fertilizantes minerais (SILVA; VILLAS BÔAS; SILVA, 2010). Zandonadi *et al.* (2014) afirmam que as hortaliças de maneira geral não conseguem utilizar de forma eficiente os nutrientes disponibilizados. Esse fato geralmente provoca consequências negativas para o ambiente quando são aplicados fertilizantes de forma excessiva no solo. Por esse motivo, as adubações orgânicas vêm sendo recomendadas como uma forma de incrementar a produtividade com menor uso de fertilizantes.

A etapa final do ciclo da alface é o período em que ela necessita de um maior suprimento de nutrientes, uma vez que se verifica um grande desenvolvimento da parte aérea. Kano; Cardoso; Villas Bôas (2011), analisando plantas cultivadas no início e final do ciclo, verificaram que aos 34 dias após o transplante houve um incremento de 5 vezes no teor de matéria seca, quando comparado ao teor de massa seca inicial.

3.4 Metais potencialmente tóxicos em compostos orgânicos e seus efeitos

Durante o processo de compostagem pode haver contaminação dos materiais produzidos por metais potencialmente tóxicos oriundos das matérias-primas utilizadas. Essa contaminação pode inviabilizar o uso dos compostos na agricultura (KHIEL, 2010).

Os limites máximos de contaminantes permitidos para fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo são em mgkg^{-1} : As, 20; Cd, 3; Pb, 150; Cr hexavalente, 2; Hg, 1; Ni, 70 e Se 80 (BRASIL, 2016).

Alguns dos metais considerados potencialmente tóxicos são encontrados no solo permanecendo por longo tempo no ambiente. São considerados mais perigosos Cd, Pb e Hg. Em altas doses podem causar doenças cardíacas crônicas, efeito teratogênico ou cancerígeno. As hortaliças folhosas são capazes de absorver estes metais transferindo-os do solo para a parte aérea (PEIXOTO FILHO, 2013).

A circulação dos metais no solo e sua disponibilidade estão intimamente ligadas às condições químicas e físicas. Entre esses fatores estão o pH, a CTC o tipo e quantidade das argilas. A elevação de pH, associada a uma alta CTC favorecem a retenção dos metais no solo, reduzindo a lixiviação e a mobilidade destes íons na solução do solo. A matéria orgânica estabelece ligações com estes metais tornando-os muitas vezes indisponíveis pela formação de complexos (CAMPOS, 2010).

A presença de matéria orgânica no solo combinada ao índice adequado de pH e uma elevada CTC podem reduzir a toxidez dos metais e a sua disponibilidade na solução do solo. Isso ocorre devido às ligações de troca iônica entre os íons H^+ de grupamentos funcionais da matéria orgânica com os íons metálicos no fenômeno da complexação (CAMPOS, 2010).

3.5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 71p. Disponível em: <<https://bit.ly/2ij7ow9>>. Acesso em: 10 Mar. 2018.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. Negro de fumo. **Informe Setorial**, p. 1-5, 1998. Disponível em: <<https://bit.ly/2inrx2o>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

BASILE QUÍMICA. **FISPQ**: ficha de informações de segurança de produto químico: negro de fumo. São Paulo: Basile Química, 2017. (Ficha de segurança técnica – documento). Disponível em: <<https://bit.ly/2GM5wiY>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

BONELA, G. D.; SANTOS, W. P.; ALVES SOBRINHO, E.; GOMES, E. J. C. Produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob diferentes fontes residuais de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 7, n. 2, p. 66-74, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2xgnU42>>. Acesso em: 13 mar. 2018.

BRACELPA. Processo Produtivo do Papel. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://bracelpa.org.br/bra2/?q=node/169>> Acesso em: 11 abr. 2015.

BRASIL. Casa Civil. Subchefia para assuntos jurídicos. **Decreto nº 4954, de 14 de janeiro de 2004**: alterado pelo decreto nº 8384 de 29/12/2014, republicado em 20/12/2014. Planalto [site], 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2J0j1NX>>. Acesso em: 13 mar. 2016.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente [Site], 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/1IMzPAZ>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa SDA nº 27, de 05 de junho de 2006**: alterada pela IN SDA nº 7, de 12/04/2016, republicada em 02/05/2016. MAPA [Site], 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2kkQM1U>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução normativa SDA nº 53 de 23 de outubro de 2013**: publicada em 24/10/2013. MAPA [site], 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2kDUzrk>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

CAMPOS, M. C. C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. **Ambiência Guarapuava**, v. 6, n. 3, p. 547-565. 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/2J0GoKG>>. Acesso em: 18 Mar. 2018.

CARDOSO, P. **Entenda por que apenas um quarto do cartucho de tinta possui corante**. Tech tudo [Portal G1], 2014. Disponível em: <<https://glo.bo/NskTBE>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

CUNHA FILHO, F. F. C. **Metais pesados em solo, água e hortaliças em áreas produtoras de olerícolas na Zona da Mata de Pernambuco**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2J1yLUf>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

DONINI, I. A. N.; SALVI, D. T. B.; FUKUMOTO, F. K.; LUSTRI, W. R.; BARUD, H. S.; MARCHETO, R.; MESSADDEQ, Y.; RIBEIRO, S. J. L. Biossíntese e recentes avanços na produção de celulose bacteriana. **Eclética Química**, v. 35, n. 4, p. 165-178, 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/2J4z8xq>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

FELÍCIA, D. G. **Estudo do comportamento do resíduo papel no processo de compostagem**. 2009. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade de Aveiro, [Aveiro], 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/2s95pii>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa: Ed.UFV, 2007. 421 p.

FOELKEL, C. **Casca da árvore do eucalipto**: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando à produção de celulose e papel. Atividade Rural [Site], [2005?]. Disponível em: <<https://bit.ly/2IlgUCt>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

FRITOLI, C. L.; KRÜGER, E.; CARVALHO, S. K. P. História do papel: panorama evolutivo das técnicas de produção e implicações para sua preservação. **Revista Ibero-Americana de Ciência da Informação**, v. 9, n. 2, p. 475-502, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2LuggGC>>. Acesso em: 09 de Maio de 2018.

GOMES, J. J. A.; COSTA, C. V. A.; TEIXEIRA, A. P. R. T.; DIAS, V. S. Comparação química do composto orgânico de esterco bovino e leguminosas: leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit) e sombreiro (*Clitoria fair childiana* Haward). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 3, n. 1, p. 78-84, 2008. Disponível em: <<https://bit.ly/2sak0Ei>>. Acesso: em 20 mar. 2018.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. Tipos de alface cultivados no Brasil. **Comunicado Técnico**, n. 75, p. 1-7, 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/2LuLRb1>>. Acesso em: 13 mar. 2018.

KANO, C.; CARDOSO, A. I. I.; VILLAS BÔAS, R. L. Acúmulo de nutrientes pela alface destinada à produção de sementes. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 70-77, 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/2kooBPA>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

KERBAYUI, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 431 p.

KHIEL, E. J. **Novo fertilizantes orgânicos**. 1. ed. rev. e atual. Piracicaba: Degaspari, 2010. 247 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. atual. e ampl. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 729 p. Disponível em: <<https://bit.ly/2km5NAs>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2008. (Estudo do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas). Disponível em: <<https://bit.ly/2GOI84v>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

OSÓRIO, E. G. **Indústria de papel e celulose**: estudo de caso da implantação da VCP florestal no extremo sul do Rio Grande do Sul. 2007. 57 f. Monografia. – Centro Socio-econômico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/2KNJpvd>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

PEIXOTO FILHO, J. U.; FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J.; MIRANDA, M. F. A.; PESSOA, L. G. M.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de alface com doses de esterco de frango, bovino e ovino em cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 419-424, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2JaoVPU>>. Acesso em: 20 mar. 2018.

PIOTTO, Z. C. **Eco-eficiência na indústria de celulose e papel**. 2003. 379 f. (2 v.). Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <<https://bit.ly/2KU104B>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

QUOIRIN, N. S. R. **Diagnóstico de defeitos em madeira por tomografia de raios X**. 2004. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em: <<https://bit.ly/2GKX9EA>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

RADIOGRAFANDO a coleta seletiva. CEMPRE, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2x9X0Lb>>. Acesso em: 19 dez. 2017.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 728 p.

RODRIGUES, C. **Tudo sobre partículas de toner**. OnPort [Blog], 2009. Disponível em: <<https://bit.ly/2lJj94h>>. Acesso em: 12 abr.2016.

SAMPAIO, E. V. S. B.; OLIVEIRA, N. M. B.; NASCIMENTO, P. R. F. Eficiência da adubação orgânica com esterco bovino e com *Egeria densa*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 995-1002, 2007. Disponível em: <<https://bit.ly/2GO5Q0S>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

SANTI, A; CARVALHO. M. A. C; CAMPOS, O. R.; SILVA, A. F. S; ALMEIDA, J. L.; MONTEIRO, S. Ação de material orgânico sobre a produção e características comerciais de cultivares de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 87-90, 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/2lH7vuW>>. Acesso em: 15 de mar. 2018.

SILVA, C. A. F.; BUENO J. M.; NEVES, M. R. A indústria de papel e celulose no Brasil. **Guia ABTCP [Eucalyptus Online Book e Newsletter]**, p. 20-32, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2j0pqr4>>. Acesso 19 dez. 2017.

SILVA, E. M. N. C. P.; FERREIRA, R. L. F.; ARAÚJO NETO S. E; TAVELLA, L. B.; SOLINO, A. J. S. Qualidade de alface crespa cultivada em sistema orgânico, convencional e hidropônico. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 2, p. 242-245, 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/2knFkT5>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

SILVA, F. A. M.; VILLAS BÔAS, R. L.; SILVA, R. B. Resposta da alface à adubação nitrogenada com diferentes compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 1, p. 131-137, 2010. Disponível em: <<https://bit.ly/2s9grOI>>. Acesso em: 14 abr. 2017.

SUINAGA, F. A.; BOITEUX, L. S ; CABRAL, C. S. ; RODRIGUES, C. S. Métodos de avaliação do florescimento precoce e identificação de fontes de tolerância ao calor em cultivares de alface do grupo varietal 'crespa'. **Comunicado Técnico**, n. 89, p. 1-4, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2s8SA1y>>. Acesso em: 13 mar. 2018.

SYLVESTRE, T. B. **Mineralização de nitrogênio do esterco bovino e produção de alface em função de n-ureia**. 2013. 45 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2Lr5MaR>>. Acesso em: 13 mar. 2018.

TIPOS de papéis e aplicações. Margraf [Site], [2012?]. Disponível em: <<https://bit.ly/2KNHsyT>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

VELSON, J. **Do que é feita a tinta de uma caneta esferográfica?** Gizmodo Brasil [Portal UOL], 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2x7b4oV>>. Acesso em: 12 abr. 2016.

ZANDONADI, D. B.; SANTOS, M. P.; MEDICI, L. O.; SILVA J. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 14-20, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2lJlvQF>>. Acesso em:14 abr. 2016.

4. Artigos

4.1 Artigo 1

Caracterização de compostos orgânicos produzidos com resíduos de papel

Este artigo foi elaborado conforme normas da revista Horticultura Brasileira.

RESUMO: O uso inadequado de recursos naturais ao longo do tempo gerou o esgotamento dos solos e uma busca constante de novas fontes de nutrientes que possam suprir as carências nutricionais que interferem na produção e comercialização de alimentos. Muitos materiais utilizados como matéria-prima na confecção de produtos contêm nutrientes que podem ser úteis na produção agrícola. No entanto, boa parte dos materiais ao serem consumidos gera resíduos que são descartados de forma irregular, impossibilitando o retorno deste nutriente para o ambiente. Neste contexto, novas tecnologias de reciclagem devem ser adotadas favorecendo a utilização, de forma vantajosa, dos nutrientes contidos nos materiais pós-consumo. A produção de papel usa madeiras provenientes de espécies vegetais do gênero *Pinus* e *Eucalyptus* que são ricas em nutrientes que podem retornar ao ambiente melhorando as condições de solo e consequentemente sua fertilidade. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi caracterizar compostos orgânicos produzidos a partir de resíduos de papéis de ambientes escolares e esterco bovino em um experimento conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos e 8 repetições. Os tratamentos foram: composto de esterco bovino, composto de esterco bovino com resíduos de papel sulfite branco (relação 4:1) e composto de esterco bovino com papel sulfite impresso (relação 4:1). O tratamento adicional foi o esterco bovino não compostado. Os compostos foram produzidos em recipientes de 6 dm³ de capacidade em local coberto. A decomposição foi considerada lenta, provavelmente pela presença de lignina residual, o que torna este tipo de composto adequado como um condicionador de solo. Houve aumento de pH nos três compostos quando comparados ao esterco *in natura* e elevação no teor de Ca nos tratamentos que continham resíduos de papel. Mesmo nos compostos em que foram adicionados resíduos de papel impresso os teores de Pb e Cd ficaram abaixo do limite de detecção da metodologia utilizada, indicando que essa tecnologia pode ser indicada para o descarte final de resíduos de papel.

Palavras-chave: Tintas de impressão. Reciclagem de papel. Compostagem.

ABSTRACT: The inadequate use of natural resources over time has led to soil depletion and a constant search for new sources of nutrients that can meet the nutritional deficiencies that interfere with the production and commercialization of food. Many materials used as raw materials in the manufacture of products contain nutrients that may be useful in agricultural production. However, much of the material when consumed generates waste that is discarded irregularly, making it impossible to return this nutrient to the environment. In this context, new recycling technologies should be adopted favoring the advantageous use of the nutrients contained in post-consumer materials. The production of paper uses wood from plant species of the genus *Pinus* and *Eucalyptus* that are rich in nutrients that can return to the environment improving soil conditions and consequently their fertility. Thus, the objective of this study was to characterize organic compounds produced from paper waste from school environments and cattle manure in an experiment conducted in a completely randomized design with 4 treatments and 8 replicates. The treatments were: bovine manure compound, composed of bovine manure with white sulfite paper residues (ratio 4: 1) and bovine manure compound with printed sulfite paper (4: 1 ratio). Additional treatment was bovine manure *in natura*. The compounds were produced in containers of 6 dm³ capacity in a covered location. The decomposition was considered slow, probably due to the presence of residual lignin, which makes this type of compound suitable as a soil conditioner. There was an increase of pH in the three compounds when compared to the manure *in natura* and increase in the Ca content in the treatments that contained paper waste. Even in the organic compost in which paper waste was added, the Pb and Cd contents were below the detection limit of the methodology utilized, indicating that this technology can be used to final disposal of waste paper.

Keywords: Printing inks. Recycling of paper. Composting.

INTRODUÇÃO:

O Brasil é um dos maiores produtores de papel do mundo e o maior da América do Sul. Entre 2010 e 2015 produziu-se 10,35 milhões de toneladas e 24% deste total foi destinado à impressão e escrita (Silva *et al.*, 2016). O papel Cut-size ou sulfite utiliza em seu processo produtivo uma pasta a base de celulose retirada principalmente de espécies vegetais dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (Felícia, 2009). Essas duas espécies são ricas em nutrientes que podem permanecer mesmo que em quantidades menores no produto final. Este tipo de papel é usado em escritórios e principalmente no ambiente escolar. Após o uso é descartado, geralmente no lixo comum e destinado de forma incorreta em lixões ou incinerações caseiras.

O papel branco após consumo é considerado um resíduo não perigoso. O papel impresso não apresenta uma classificação específica, mas o resíduo de tinta gera restrições que o impedem de ser descartado como lixo comum (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004).

No Brasil, as taxas de reciclagem de papel ainda são modestas. De acordo com dados do Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE, 2013), o volume de papel reciclado foi de 58,9% sendo que deste total 78,4% estava relacionado com papel Kraft e ondulado que são usados em embalagens. Existem poucas informações sobre a reciclagem de papel sulfite.

A reciclagem de papel enfrenta desafios relacionados à falta de um serviço eficiente de coleta seletiva, sendo apenas 18% dos municípios brasileiros atendidos, além do baixo preço oferecido aos fornecedores (CEMPRE, 2016).

Como alternativa de reciclagem, a compostagem tem se mostrado como um processo eficiente para o retorno de nutrientes para o solo. Em ambientes com pouco espaço e com grande circulação de pessoas, a compostagem em pilhas e com grande volume de material nitrogenado pode atrair vetores, liberar maus odores tornando assim um meio de contaminação do ambiente e alimentos ali servidos. A compostagem em vasos aparece então como uma alternativa para contornar essas limitações favorecendo um processo mais adequado e seguro.

Os resíduos de papel em branco e impressos por apresentarem origem celulósica, trazem uma composição rica em carbono e outros nutrientes que podem melhorar os atributos químicos e físicos do solo e consequentemente sua fertilidade. No entanto, as tintas presentes no papel impresso podem gerar contaminações no solo causando danos ao ambiente ou disponibilizar para a planta metais tóxicos causando danos à saúde humana. Entender a dinâmica da compostagem dos resíduos de papel e conhecer a composição do produto final é importante para avaliar a viabilidade do seu uso como uma tecnologia segura ao ambiente e eficaz no suprimento de carências do solo.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar quanto aos atributos químicos, compostos produzidos a partir de resíduos de papel em branco e impresso.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na fazenda experimental do Instituto de Ciências Agrárias - ICA/UFMG - campus Montes Claros, região Norte de Minas Gerais (16° 44' 06" S ; 43° 51' 42" W, altitude: 648 m). O clima da região é do tipo AW com concentração de chuvas no período de outubro a março, precipitação anual aproximada de 1.060 mm e temperatura média anual de 24,20° C. O experimento foi realizado em ambiente coberto em recipientes plásticos impermeáveis com capacidade de 6 dm³. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com quatro tratamentos e oito repetições. Os tratamentos foram: esterco bovino puro compostado (EPC), esterco bovino com resíduos de papel branco (bordas de documentos impressos ou partes não utilizadas para impressão em documentos) (RPB), esterco bovino com resíduos de papel impresso com tinta preta de cartucho e material xerografado com tinta preta (tonner) (RPI) e o esterco *in natura* (EIN) como tratamento adicional.

O esterco bovino utilizado foi proveniente de animais alimentados com ração à base de milho, torta de algodão e sorgo. Este foi previamente seco ao ar para reduzir a umidade. As bordas não impressas de papel foram retiradas e recortadas em pedaços de aproximadamente três centímetros. O papel impresso também foi recortado seguindo o mesmo padrão das bordas brancas. O esterco bovino foi misturado ao resíduo de papel recortado numa proporção de 4:1 (quatro partes de esterco para uma parte de resíduos de papel). A massa inicial das matérias-primas foi 1750g, acondicionadas em vasos de 6 dm³, sendo deste total 350 g de papel recortado e 1400 g de esterco. A proporção de papel a ser usada levou em conta que uma taxa de decomposição chega a 60% em 45 dias quando o papel não excede 27% do volume total (Alvarez *et al.*, 2009).

Os vasos receberam água até atingir uma umidade adequada ao se realizar o teste da mão (Nunes, 2009). Durante o processo a massa de compostagem foi revirada semanalmente para oxigenação e a umidade foi controlada pela pesagem semanal dos vasos e reposição da água quando necessária. A temperatura da massa foi avaliada por meio do uso de termômetro de vareta.

Ao término do processo de compostagem (28 semanas) coletou-se amostras de cada vaso para a determinação da relação C/N, pH e teores de nutrientes, chumbo e cádmio.

O pH foi determinado em CaCl₂. Os teores de nutrientes assim como o pH foram realizados de acordo com o manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2015). Os metais chumbo e cádmio foram determinados nas amostras (USEPA, 1996).

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$) com o uso do software R versão 3.3.0.

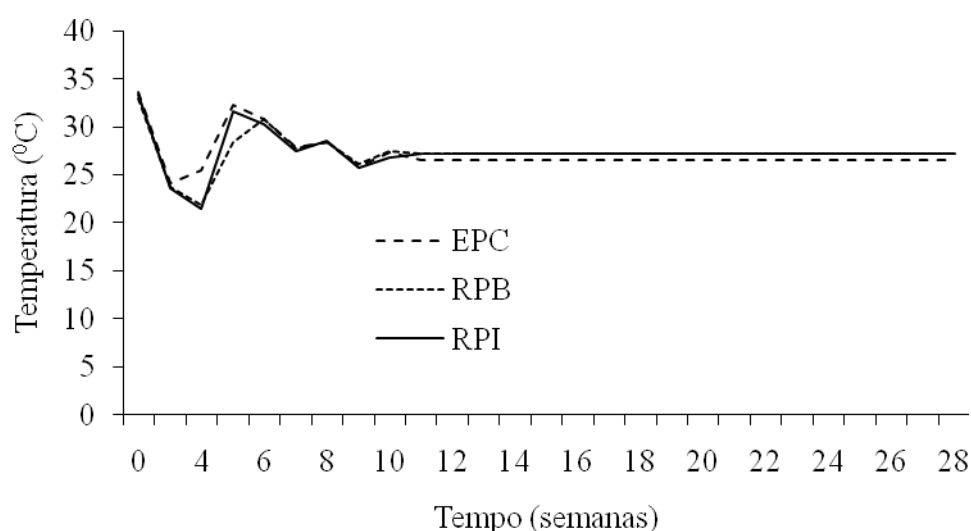
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período experimental, a temperatura ambiente variou de 26 a 37° C, enquanto que, na massa de compostagem variou de 21,8 a 32,6° C (Figura 1). A temperatura da massa de compostagem próxima à temperatura ambiente pode ser explicada pelo pequeno volume de material, que facilita a perda de calor para a atmosfera. Além disso, o revolvimento frequente da massa de compostagem para

homogeneização da umidade contribui para a manutenção da temperatura constante durante o período experimental. Os resultados encontrados são semelhantes aos encontrados por Kawatoko (2010) que ao realizar compostagem em pequenas pilhas utilizando lodo do tratamento do efluente de uma indústria de reciclagem de papel misturado a bagaço de cana e a resíduos de poda e capina verificou que a temperatura não variou conforme dados da literatura atribuindo este fenômeno ao pequeno volume da pilha e à origem celulósica do material que torna a degradação lenta pelo baixo metabolismo dos microrganismos envolvidos.

Dessa forma, no presente estudo não foram verificadas alterações significativas da temperatura e não ocorreu a fase termófila, comumente observada quando se utiliza pilhas de compostagem (Couto *et al.*, 2008).

Figura 1. Variação de temperaturas na massa de compostagem do esterco bovino (EPC) e das misturas de esterco bovino com papel em branco (RPB) e com papel impresso (EPI) (Temperature variation in compost mass from cattle manure (EPC) and compost from cattle manure with blank paper (RPB) and with printed paper (EPI)). Montes Claros, UFMG, 2017.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

Em relação à umidade, em função das características das matérias-primas utilizadas verificaram-se ao longo do processo de compostagem maiores teores de umidade no fundo dos recipientes que na superfície. Neste caso, realizou-se revolvimento periódico semanal para a homogeneização da umidade e aeração da massa de compostagem. O revolvimento frequente contribuiu para a redução da temperatura, como discutido anteriormente. À medida que o composto foi estabilizando, as perdas de umidade foram reduzidas.

No final do processo o composto EPC apresentou teor de umidade superior ao do esterco bovino *in natura* e daqueles que tiveram papel na mistura (Tabela 1). Os compostos RPB e RPI não diferiram entre si e nem do esterco bovino *in natura* quanto ao teor de umidade final. Os teores de umidade dos compostos produzidos variaram entre 20 e 30,4%, sendo o maior valor observado para EPC (Tabela 1). O maior valor para o composto produzido a partir do esterco bovino pode ser atribuído à composição do

mesmo, que retém mais água que o papel, possivelmente em função da humificação mais rápida pela ausência do papel. Para compostos maturados a taxa entre 15 a 25% é considerada ótima e a taxa entre 26 a 40% é considerada boa (Khiehl, 2010).

Os valores de pH dos compostos diferiram significativamente em relação ao esterco *in natura* (Tabela 1). Os compostos RPB, RPI e EPC, não diferiram entre si e apresentaram valor superior ao do EIN (pH = 6,8). Esses resultados evidenciam que houve um aumento do pH durante o processo de compostagem corroborando com os valores obtidos por Kawatoko (2010). Matérias-primas ou massa de compostagem com pH inicial ácido podem produzir compostos orgânicos com pH alcalino em função da utilização dos ácidos formados como substrato para microrganismos no processo de humificação (Khiehl, 2010).

Tabela 1. Média dos valores de pH, relação C/N, umidade e teores de macronutrientes na matéria seca do esterco bovino (EIN) e nos compostos orgânicos produzidos a partir de esterco bovino puro compostado (EPC) e da mistura de esterco bovino com papel em branco (RPB) e com papel impresso (RPI) (Average of pH, C/N ratio, moisture and macronutrient contents in dry matter of cattle manure (EIN) and organic compounds produced from cattle manure (EPC) and cattle manure with blank paper (RPB) and cattle manure with printed paper (RPI)). Montes Claros, UFMG, 2017.

	pH	C/N	Umidade	C	N	P	K	Mg	S	Ca
						----- % -----				
EIN	6,80a	13,19a	20,0a	22,03a	1,67a	<1	4,8a	0,72a	<1	1,45a
EPC	7,76bB	13,63aA	30,4bB	27,41bA	2,01bA	<1	4,1aA	0,66aA	<1	1,02bC
RPB	8,32bB	14,08aA	23,5aA	20,00aB	1,42bB	<1	3,5bB	0,54bB	<1	3,42bA
RPI	8,37bB	13,82aA	21,2aA	26,27bA	1,90bA	<1	3,3bB	0,54bB	<1	3,10bB

Letras minúsculas nas colunas comparam o tratamento EIN com os demais tratamentos pelo teste de Dunnet ($p < 5\%$). Letras maiúsculas nas colunas comparam os tratamentos EPC, RPB e RPI pelo teste Scott Knott ($p < 5\%$). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si. (Lowercase letters in the columns compare the withnes the other treatments by the Dunnet test ($p < 5\%$). Upper case letters in the columns compare the EPC, RPB and RPI treatments by the Scott Knott test ($p < 5\%$). Averages followed by the same letter do not differ).

Com relação ao carbono total os tratamentos EPC e RPI apresentaram teores ligeiramente superiores ao EIN e RPB (Tabela 1), enquanto que, para a relação C/N dos compostos não houve diferenças significativas e os valores ficaram entre 13/1 e 14/1 (Tabela 1). Quando a relação C/N da massa de compostagem atinge valores abaixo de 18/1, indica que houve a bioestabilização (Moreira & Siqueira, 2006). Quando um resíduo ou fertilizante orgânico apresenta relação C/N entre 8/1 e 18/1 ele é considerado adequado para uso desde que tenha passado pelo processo de compostagem (Khiehl, 2010). No presente estudo, o esterco *in natura* apresentou relação C/N de 13,9/1 sem, no entanto passar pelo processo de compostagem. Portanto para definir a qualidade de um composto devem ser analisados a umidade, o índice de pH, a relação C/N e o teor de nitrogênio total (Khiehl, 2010).

Na decomposição do papel espera-se uma elevada relação C/N pelo excesso de carbono no material e pela presença de lignina que dificulta o acesso dos microrganismos à celulose e a hemicelulose (Kerbauyi, 2008). Portanto, espera-se que o composto produzido nesta condição funcione mais como um condicionador de solo do que como fonte de nutrientes para as plantas (Khiehl, 2010). Por

outro lado, no presente estudo, embora não tenham ocorrido diferenças significativas quanto à relação C/N dos compostos produzidos a partir de papel e esterco, ressalta-se que a duração do processo de compostagem foi bastante longa (28 semanas). O papel branqueado mesmo passando pelo processo de deslignificação durante sua produção ainda apresenta uma quantidade de lignina residual na ordem de 5%, uma vez que a eficiência de remoção é de 90 a 95% (Foelkel, 2013). Essa lignina residual pode ter relação com o retardamento do processo de decomposição.

Em relação aos teores de macronutrientes, independentemente do tratamento o nutriente em maior concentração foi o potássio, seguido pelo cálcio, nitrogênio e magnésio, nessa ordem (Tabela 1). Todos os tratamentos apresentaram muito baixas concentrações de fósforo, ficando abaixo do limite de detecção do método utilizado. O fósforo, por ser, junto com o enxofre, o macronutriente menos exigido pelas plantas, geralmente apresenta baixas concentrações nos resíduos de origem vegetal. Quando se utiliza desses resíduos ou de adubos orgânicos produzidos com os mesmos geralmente há a necessidade de complementação das adubações com fontes minerais de fósforo.

Para o cálcio, os melhores tratamentos foram RPB e RPI, que apresentaram concentrações três vezes maiores que as encontradas nos tratamentos EIN e EPC (Tabela 1). Este fato pode ser explicado pelo alto teor deste nutriente no resíduo de papel que tem como matéria-prima o Eucalipto. As cascas de madeira de Eucalipto podem apresentar até 315 gKg^{-1} de cálcio (Foelkel, 2005). Quanto aos macronutrientes, não houve um tratamento que tenha se destacado quanto aos teores de N, K e Mg. O menor teor de N foi verificado no tratamento com maior relação C/N e pH acima de 7, o que sugere uma maior perda deste nutriente por volatilização.

Quanto aos micronutrientes, B, Cu, Mn e Zn, em todos os tratamentos os teores ficaram abaixo do limite de detecção do método utilizado (Tabela 2). Por serem exigidos em pequenas quantidades pelas plantas é normal que o teor desses elementos em resíduos de origem vegetal seja baixo.

Tabela 2. Média dos teores de micronutrientes e metais na matéria seca de esterco bovino (EIN) e em compostos orgânicos produzidos a partir do esterco bovino puro compostado (EPC), do esterco bovino com papel em branco (RPB) e esterco bovino com papel impresso (RPI). (Average of micronutrients and trace elements contents in dry matter of cattle manure (EIN) and organic compounds produced from cattle manure (EPC) and cattle manure with blank paper (RPB) and cattle manure with printed paper (RPI). Montes Claros, UFMG, 2018.

	B	Cu	Mn	Fe	Zn	Cd	Pb
				----- % -----			
EIN	<0,1	<0,05	<0,05	1,36a	<0,05	<0,2	<0,2
EPC	<0,1	<0,05	<0,05	1,22aA	<0,05	<0,2	<0,2
RPB	<0,1	<0,05	<0,05	1,25bA	<0,05	<0,2	<0,2
RPI	<0,1	<0,05	<0,05	1,04bB	<0,05	<0,2	<0,2

Letras minúsculas nas colunas comparam o tratamento EIN com os demais tratamentos pelo teste de Dunnet ($p < 5\%$). Letras maiúsculas nas colunas comparam os tratamentos EPC, RPB e RPI pelo teste Scott Knott ($p < 5\%$). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si. (Lowercase letters in the columns compare the withnes the other treatments by the Dunnet test ($p < 5\%$). Upper case letters in the columns compare the EPC, RPB and RPI treatments by the Scott Knott test ($p < 5\%$). Averages followed by the same letter do not differ).

Para o ferro, o esterco *in natura* apresentou teores mais elevados que os compostos, sendo o composto RPI o que apresentou o menor teor desse elemento (Tabela 2).

Em relação aos metais potencialmente tóxicos, Cd e Pb, em todos os tratamentos os teores ficaram abaixo do limite de quantificação do aparelho utilizado, que é de $0,2 \text{ mgkg}^{-1}$. Mesmo quando foi adicionado papel impresso à massa de compostagem, os teores de metais ecotóxicos foram baixos, indicando que a compostagem pode ser uma alternativa para a disposição final de resíduos de papel.

Dessa forma, tanto a utilização de sobras de papéis em branco quanto impresso para a produção de compostos orgânicos em misturas com esterco bovino pode ser uma alternativa para a disposição final desses resíduos no ambiente, desde que estudos complementares sejam realizados a fim de adequação do produto à IN nº 53/2013 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2013). Vale ressaltar também que ao ser usado um material bastante lignificado sem adição de fontes complementares de nitrogênio, o composto produzido é recomendado como um fornecedor de húmus, condicionador de solo e não como um fertilizante para ação direta sobre nutrição de plantas.

4.1.1 REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, JVL; LARRUCEA, MA; BERMUDÉZ, PA; CHICOTE, BL. 2009. Biodegradation of paper waste under controlled composting conditions. *Waste Management* 29(1): 1514-1519. Available at: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X08004157>>. Acessado em março 13, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2004. *NBR 10004: resíduos sólidos*. Rio de Janeiro, BR: ABNT. 71p. Available at: <http://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/normas/ABNT_NBR_n_10004_2004.pdf> Acessado em março 14, 2016.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. 2015. *Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos*. Available at: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/laboratorios/arquivos-publicacoes-laboratorio/manual_in-5_analiticos-oficiais-para-fertilizantes-e-corretivos_com_capa_final_03.pdf> .> Acessado em março 12, 2016.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. 2013. *Instrução normativa nº 53*. Available at: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=261039>> . Acessado em março, 12, 2016.
- CEMPRE. 2013. *A reciclagem de papel no Brasil*. Available at: <file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/o_195a6bo8q14sdk6l1n6o1su1q0la.pdf> . Acessado em dezembro 12, 2017.
- CEMPRE. 2016. *Radiografando a coleta seletiva*. Available at: <<http://cempre.org.br/ciclossoft/id/8>>. Acessado em dezembro 19, 2017.
- COUTO, JR; REZENDE, FV; SOUZA, RB; SAMINEZ, TCO. 2008. Instruções práticas para produção de composto orgânico em pequenas propriedades. *Comunicado Técnico* 53: 1-8. Available at: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPH-009/34479/1/cot_53.pdf> . Acessado em março 13, 2018.
- FELÍCIA, DG. 2009. *Estudo do comportamento do resíduo papel no processo de compostagem*. Aveiro, PT: Universidade de Aveiro, 132 p (Dissertação mestrado). Available at: <<https://ria.ua.pt/bitstream/10773/664/1/2010000400.pdf>>. Acessado em abril 15, 2016.
- FOELKEL, C. 2013. Aspectos práticos e conceituais sobre a fabricação de celulose de mercado do tipo Kraft branqueada a partir de madeira de eucalipto. *Eucalyptus Online Book e Newsletter*. Available at: <http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT31_ProcessoKraftEucalipto.pdf>. Acessado em março 13, 2016.
- FOELKEL, C. 2005. Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel. *Atividade Rural*. Available at: <<http://atividaderural.com.br/artigos/5387703c84360.pdf>>. Acessado em março 13, 2016.
- KAWATOKO, I; RIZK, MC. 2010. Tratamento do lodo gerado na indústria de reciclagem de papel por compostagem. *Estudos Tecnológicos* 6(2): 68- 81. Available at: <[file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/4617-15171-1-SM%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/4617-15171-1-SM%20(3).pdf)>. Acessado em março 13, 2016.
- KERBAYUI, GB. 2008. *Fisiologia vegetal*. Rio de Janeiro, BR: Guanabara Koogan. 431p.
- KHIEL, EJ. 2010. *Novos fertilizantes orgânicos*. Piracicaba, BR: Degaspari. 247p.
- MOREIRA, FMS; SIQUEIRA, JO. *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, BR: Ed. UFLA. 729p.

- NUNES, MUC. 2009. Compostagem de resíduos para produção de adubo orgânico na pequena propriedade. *Circular Técnica* 59:1-7. Available at:
<http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2010/ct_59.pdf>. Acessado em junho 22, 2016.
- SILVA, CAF; BUENO JM; NEVES, MR. 2016. A indústria de papel e celulose no Brasil. In: ABTCP. Guia ABTCP de fornecedores e fabricantes: celulose e papel 2015/2016. *Eucalyptus Online Book e Newsletter*. p. 20-32. Available at:
<http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_abtcp_panorama_setorial.pdf>. Acessado em dezembro 19, 2017.
- UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1996. EPA Method 3050B: acid digestion of sediments, sludges and soils. *EPA: United States Environmental Protection Agency*. Available at:
<<https://www.epa.gov/homeland-security-research/epa-method-3050b-acid-digestion-sediments-%20sludges-and-soils>>. Acessado em dezembro 19, 2017.

4.2 Artigo 2

Cultivos sucessivos de alface em solo adubado com composto orgânico produzido a partir de resíduos de papel

RESUMO:

Nos últimos anos, com o aumento do consumo de papel há a necessidade de desenvolvimento de tecnologias para a reciclagem e adequada disposição dos resíduos no ambiente. Nesse contexto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a produtividade de alface após dois cultivos consecutivos e os atributos do solo adubado com compostos orgânicos produzidos a partir de esterco bovino e resíduos de papel. Realizaram-se dois experimentos consecutivos em delineamento inteiramente casualizado no esquema 4x3+1 com quatro repetições. Os tratamentos foram: quatro doses de adubo orgânico, três compostos produzidos a partir da mistura de esterco bovino com resíduos de papel em branco e papel impresso, esterco bovino compostado e um tratamento adicional sem adição de adubo orgânico. No primeiro experimento, após 15 dias de incubação do solo com os tratamentos, cultivaram-se por 30 dias duas plantas de alface em vasos de 3 dm³ de capacidade. O segundo cultivo, com o objetivo de verificar o efeito residual dos tratamentos, foi realizado nas mesmas unidades experimentais, 90 dias após a colheita do primeiro cultivo, durante um período de 30 dias. Após dois cultivos consecutivos, a aplicação de compostos orgânicos aumentou o pH, a CTC, O COS, os teores de P, K, Ca e Mg do solo. Foi verificado um efeito residual dos três compostos utilizados. Os adubos produzidos a partir de esterco bovino e resíduos de papel, em branco ou impresso, melhoraram as propriedades do solo e aumentaram a produção da alface, sendo as maiores produtividades obtidas no segundo cultivo. A utilização de resíduos de papel, em branco ou impresso, na mistura com esterco bovino não aumentou os teores de Pb e Cd no solo e nas plantas. No segundo cultivo não houve absorção dos metais Ni, Pb, Cr e Cd pela planta, provavelmente pelo aumento da CTC e pela possível complexação de metais pela matéria orgânica.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L. Fertilizantes alternativos. Adubação orgânica.

ABSTRACT:

In recent years, with the increase in paper consumption there is a need for the development of technologies for recycling and adequate disposal of waste in the environment. In this context, the objective of this work was to evaluate lettuce yield after two consecutive crops and the attributes of the soil fertilized with organic composts produced from bovine manure and paper waste. Two consecutive experiments were carried out in a completely randomized design in the 4x3 + 1 scheme with four replicates. The treatments were: four doses of organic fertilizer, three organic composts produced from the mixture of bovine manure with waste paper and white paper, composted bovine manure and an additional treatment without addition of organic fertilizer. In the first experiment, after 15 days of incubation of the soil with the treatments, two lettuce plants were cultivated for 30 days in pots of 3 dm³ of capacity. The second crop, with the objective of verifying the residual effect of the treatments, was carried out in the same experimental units, 90 days after the first crop, during a period of 30 days. After two consecutive crops, the application of organic composts increased pH, CTC, COS, P, K, Ca and Mg contents. A residual effect of the three composts used was found. Fertilizers produced from bovine manure and paper waste, either blank or printed, improved soil properties and increased lettuce production, with the highest yields obtained in the second crop. The use of paper or paper residues in the mixture with cattle manure did not increase Pb and Cd levels in soil and plants. In the second crop, there was no absorption of the Ni, Pb, Cr and Cd metals by the plant, probably due to the increase of CTC and by the possible complexation of metals by organic matter.

Keywords: *Lactuca sativa* L. Alternative fertilizers. Organic fertilization.

INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma das hortaliças mais consumidas no Brasil e é considerada uma boa indicadora para validar a qualidade de adubos orgânicos (Khiehl, 2010). A adubação orgânica tem sido recomendada por vários autores para o cultivo de alface por disponibilizar nutrientes que atendem a necessidade da cultura, substituindo total ou parcialmente a adubação mineral (Silva *et al.*, 2010). No entanto, se o composto orgânico não estiver adequado para o uso, ele pode gerar toxidez e conter poluentes que prejudicam o desenvolvimento das plantas (Khiehl, 2010).

A resposta desta espécie à adubação orgânica depende da cultivar, do tipo de substrato utilizado e das doses aplicadas. Além disso, o composto orgânico recém produzido pode não disponibilizar para as plantas as quantidades necessárias de nutrientes em um primeiro cultivo, logo após a sua aplicação. O uso de esterco bovino pode causar imobilização de nutrientes quando incorporado ao solo, tendo sua liberação aumentada ao longo de três meses após a incorporação (Sampaio *et al.*, 2007).

Os estercos bovinos e outros materiais de origem celulósica como a serragem apresentam uma maior relação C/N disponibilizando de forma mais lenta os nutrientes para as plantas (Santi *et al.*, 2010). Ao serem aplicados ao solo, os compostos orgânicos devem passar pelo processo de mineralização para disponibilizarem os nutrientes (Eckhardt, 2015).

Os resíduos de papel, em branco e impressos, que são na maioria das vezes descartados de forma incorreta no lixo comum, podem se tornar uma alternativa de uso sustentável de resíduos na agricultura, quando combinados com outros materiais. No entanto estes resíduos podem apresentar resíduos de lignina que apresentam uma degradação mais lenta e conter substâncias provenientes do processo produtivo ou das substâncias empregadas nas tintas causando contaminação ambiental, inviabilizando seu uso.

O resíduo de papel em branco é caracterizado como doméstico, não perigoso, enquanto que, o resíduo de papel impresso não apresenta classificação específica, mas as tintas utilizadas na impressão podem conter metais e compostos voláteis, tóxicos ao ambiente. O esterco bovino é classificado como agrícola orgânico e não perigoso (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004).

Considerando que são poucos os estudos específicos sobre a decomposição de resíduos de papel em branco e impresso, e seu efeito sobre as propriedades do solo e produção vegetal e, que a alface é considerada um bioindicador para validar a qualidade de compostos orgânicos, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de compostos orgânicos produzidos a partir de esterco bovino e resíduos de papel, em branco e impresso, na fertilidade do solo e na produção e nutrição da alface em dois cultivos consecutivos.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em vasos em casa de vegetação da fazenda experimental do Instituto de Ciências Agrárias- ICA/UFMG - campus Montes Claros, região Norte de Minas Gerais (16° 44' 06" s ; 43° 51' 42" w, altitude: 648 m). Os vasos foram preenchidos com 3 dm³ de um Latossolo Vermelho Amarelo de textura arenosa, coletado na camada superficial de uma área de cerrado nativo,

com os seguintes atributos, determinados de acordo com Embrapa (Embrapa 1997): pH em água = 6,3; P_{melhich} = 1,70 mgdm⁻³; Presina = 49,10 mg l⁻¹; K = 96 mgdm⁻³; Ca = 2,10 cmolcdm⁻³; Mg = 1,10 cmolcdm⁻³; Al = 0,0 cmolcdm⁻³; H+Al = 0,76 cmolcdm⁻³; SB = 3,45 cmolcdm⁻³; T = 4,21 cmolcdm⁻³; V(%) = 82; MOS = 2,0 dagkg⁻¹; CO = 1,16 dagkg⁻¹.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com tratamento adicional 3x4+1 com quatro repetições, sendo: três adubos orgânicos (esterco bovino compostado, composto orgânico de esterco bovino e papel branco e composto orgânico de esterco bovino e papel impresso), quatro doses de adubo orgânico, equivalentes a 20, 40, 80 e 160 Mgha⁻¹ e um tratamento adicional sem adição de adubo orgânico (Testemunha). Todos os tratamentos receberam uma adubação básica de plantio equivalente a 0,44 Mgha⁻¹ de fósforo na forma de superfosfato simples. A espécie vegetal utilizada foi a alface (*Lactuca sativa* L.) cultivar Cinderela.

Os compostos orgânicos foram produzidos a partir de esterco bovino puro compostado (EPC) e da mistura de esterco bovino com papel em branco (resíduos de documentos) (RPB) e com papel impresso (resíduos de documentos impressos com tinta preta de cartucho e material xerografado com tinta preta - tonner) (RPI), numa proporção de 4:1 (quatro partes de esterco para uma parte de resíduos de papel). O esterco bovino e os compostos orgânicos foram analisados e caracterizados quanto ao pH, C, N e relação C/N (Tabela1).

Tabela1. Caracterização química do esterco bovino curtido (EPC) e dos compostos orgânicos produzidos a partir de esterco bovino e papel em branco (RPB) e esterco bovino e papel impresso (RPI) (Chemical characterization of cattle manure (EPC) and organic compounds produced from cattle manure and blank paper (RPB) and cattle manure and printed paper (RPI)). Montes Claros, UFMG, 2018.

Atributos	EPC	RPB	RPI
PH	7,76	8,31	8,37
C total (gkg ⁻¹)	274,1	200,0	262,7
N total (gkg ⁻¹)	20,1	14,2	19,0
Relação C/N	13,6	14,1	13,8

Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

Para o primeiro cultivo, o solo de cada vaso foi incubado com os respectivos tratamentos e o adubo fosfatado por um período de quinze dias, mantendo-se a umidade próxima à capacidade de campo, sendo as irrigações, quando necessárias, realizadas com água purificada. As mudas de alface foram produzidas em bandejas de isopor com o uso de substrato comercial e, após 30 dias da semeadura, realizou-se o transplântio de duas mudas por vaso.

Após 30 dias de cultivo em vasos, as plantas foram colhidas, separadas em parte aérea e raízes e avaliou-se a produção de massa fresca. Em seguida, as plantas foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 65° C por 72 horas para a determinação dos teores de nutrientes e metais pesados na parte aérea (Malavolta *et al.*, 1997).

Para avaliar o efeito residual dos adubos orgânicos, foi realizado um segundo cultivo aos 90 dias após a coleta das plantas do primeiro cultivo. Durante esse período a umidade do solo foi mantida próxima a capacidade de campo. Da mesma forma para o segundo cultivo, as mudas de alface cultivar

cinderela foram produzidas em bandejas de isopor em substrato comercial e, 30 dias após a semeadura realizou-se o transplântio de duas mudas por vaso. Após 30 dias de cultivo nos vasos as plantas foram colhidas e analisadas, conforme descrito para o primeiro cultivo. Nessa ocasião coletou-se amostras de solo de cada vaso para análise química (Embrapa, 1997).

Durante o período experimental, a umidade do solo foi mantida próxima a capacidade de campo, sendo as irrigações realizadas com água purificada. Semelhantemente ao realizado no primeiro cultivo, aos 30 dias de cultivo nos vasos, as plantas foram colhidas e determinou-se a matéria fresca da parte aérea e os teores de nutrientes e metais pesados.

Os dados foram submetidos à análise de variância. Quando significativo, as médias do tratamento adicional foram comparadas com as médias dos adubos orgânicos pelo teste de Dunnet ($p < 5\%$) e, as médias dos adubos orgânicos foram comparadas entre si pelo teste de Scott Knott ($p < 5\%$). Para as doses dos adubos orgânicos foram ajustadas equações de regressão. O software estatístico utilizado foi o R versão 3.3.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados da análise química do solo, realizada após o segundo cultivo, verificou-se que os teores de nutrientes com exceção de N total, Zn e Fe foram maiores nos tratamentos com adubação orgânica quando comparados à testemunha, assim como os valores de CTC (Tabela 2).

TABELA 2. Atributos e teor de nutrientes em um solo inicial e após dois cultivos de alface. (Attributes and nutrient content in an initial soil and after two lettuce crops). Montes Claros, UFMG, 2018.

	pH	P Meh	P rem	K	Ca	Mg	T	COS	N
		Mgdm ⁻³	Mgdm ⁻³	Mgdm ⁻³	Cmolcdm ⁻³	Cmolcdm ⁻³	Cmolcdm ⁻³	dagkg ⁻³	dagkg ⁻¹
SI	6,3	1,70	49,10	96,0	2,10	1,10	4,21	1,16	
T	6,88a	5,37a	40,23a	49,75a	2,67a	1,01a	4,52a	0,98a	0,10a
RPB	7,68bA	6,65bB	39,58aA	462,56bA	3,50bA	1,93bA	7,17bA	1,64bA	0,10aA
RPI	7,94bA	6,96bA	37,75aA	427,63bA	3,36bA	1,74bB	6,75bB	1,68bA	0,10aA
EPC	7,56bA	7,01bA	37,12aA	388,19bB	3,15bA	1,54bC	6,33bC	1,56bA	0,10aA
	Zn	Fe	Mn	Ni	Cu	Cr	Pb	Cd	
	Mgkg ⁻¹								
T	6,54a	70,76a	49,61	0,33a	1,06a	NQ	7,45a	ND	
RPB	7,60aA	51,97bB	53,12	0,36aA	0,98aA	4,85A	9,68bA	ND	
RPI	6,89aA	53,18bB	55,82	0,36aA	1,07aA	2,04B	10,18bA	ND	
EPC	6,45aA	63,96aA	50,24	0,31aA	0,99aA	NQ	10,80bA	ND	

T=Testemunha; EPC= esterco puro compostado; RPB= esterco com resíduo de papel branco; RPI= esterco com resíduo de papel impresso. NQ= não quantificado, SI= Solo inicial e ND= não detectado. Letras minúsculas nas colunas comparam a testemunha com os demais tratamentos pelo teste de Dunnet ($p < 5\%$). Letras maiúsculas nas colunas comparam os tratamentos EPC, RPB e RPI pelo teste Scott Knott ($p < 5\%$). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (T= test; EPC= pure composted manure; RPB= manure with white paper residue; RPI= manure with waste paper. NQ= not quantified, SI = initial soil and ND = not detected. Lowercase letters in the columns compare the witness the other treatments by the Dunnet test ($p < 5\%$). Upper case letters in the columns compare the EPC, RPB and RPI treatments by the Scott Knott test ($p < 5\%$). Averages followed by the same letter do not differ).

Após dois cultivos consecutivos, a aplicação de compostos orgânicos aumentou o pH, a CTC, O COS, os teores de P, K, Ca e Mg. São então confirmados que os compostos orgânicos suprem as necessidades da cultura de alface (Silva *et al.*, 2010).

Com relação às doses dos compostos orgânicos, verificou-se para os três adubos utilizados, que os valores de pH, CTC, COS, Ca, Mg, P e Zn aumentaram linearmente, enquanto que não houve efeito significativo nos valores de Prem, N, Ni, Cu, Cr, Pb e Cd. Por outro lado, os valores de Fe e K diminuíram com o aumento das doses dos compostos orgânicos (Tabela 3). Para os micronutrientes catiônicos e metais pesados, pode ter ocorrido a complexação desses elementos pelas substâncias húmicas produzidas durante a mineralização dos compostos orgânicos.

Tabela 3. Equações de regressão ajustadas para os atributos químicos do solo após o segundo cultivo da alface em função das doses dos diferentes compostos orgânicos (Regression equations adjusted for the soil chemical attributes after the second crop of the lettuce as a function of the different organic compounds doses). Montes Claros, UFMG, 2018.

Atributos	y	R ²	Atributos	y	R ²
pH	RPB $y = 7,145 + 0,0042^{**}x$	R ² = 0,81	N (dagkg ⁻¹)	RPB $y = 0,1ns$	-
	RPI $y = 7,293 + 0,0049^{*}x$	R ² = 0,78		RPI $y = 0,1ns$	-
	EPC $y = 7,095 + 0,0037^{**}x$	R ² = 0,89		EPC $y = 0,1ns$	-
P (mgdm ⁻³)	RPB $y = 5,082 + 0,0146^{**}x$	R ² = 0,85	Zn (mgkg ⁻¹)	RPB $y = 6,391 + 0,0111^{*}x$	R ² = 0,74
	RPI $y = 5,882 + 0,0085^{**}x$	R ² = 0,88		RPI $y = 6,318 + 0,0077^{*}x$	R ² = 0,73
	EPC $y = 5,281 + 0,0156^{**}x$	R ² = 0,99		EPC $y = 4,373 + 0,0272^{**}x$	R ² = 0,85
P Rem	RPB $y = 49,64ns$	-	Fe (mgkg ⁻¹)	RPB $y = 65,487 - 0,1085^{**}x$	R ² = 0,88
	RPI $y = 37,75ns$	-		RPI $y = 65,658 - 0,0996^{**}x$	R ² = 0,96
	EPC $y = 32,12ns$	-		EPC $y = 70,451 - 0,057x$	R ² = 0,91
K (mgdm ⁻³)	RPB $y = 17,894 - 4,421^{**}x$	R ² = 0,98	Ni (mgkg ⁻¹)	RPB $Y = 0,35ns$	-
	RPI $y = 76,219 - 4,7585^{**}x$	R ² = 0,95		RPI $Y = 0,35ns$	-
	EPC $y = 29,356 - 3,8873^{**}x$	R ² = 0,98		EPC $Y = 0,31ns$	-
Ca (cmolcdm ⁻³)	RPB $y = 2,867 + 0,0039^{**}x$	R ² = 0,87	Cu (mgkg ⁻¹)	RPB $y = 0,99ns$	-
	RPI $y = 2,744 + 0,0034^{**}x$	R ² = 0,88		RPI $Y = 1,01ns$	-
	EPC $y = 2,744 + 0,0034^{**}x$	R ² = 0,98		EPC $Y = 1,01ns$	-
Mg (cmolcdm ⁻³)	RPB $y = 1,126 + 0,0069^{**}x$	R ² = 0,96	Cr (mgkg ⁻¹)	RPB $Y = 3,88ns$	-
	RPI $y = 1,034 + 0,0062^{**}x$	R ² = 0,98		RPI $Y = 1,63ns$	-
	EPC $y = 0,898 + 0,006^{**}x$	R ² = 0,98		EPC ND	-
T (cmolcdm ⁻³)	RPB $y = 4,606 + 0,0226^{**}x$	R ² = 0,99	Pb (mgkg ⁻¹)	RPB $Y = 9,23ns$	-
	RPI $y = 4,356 + 0,0217^{**}x$	R ² = 0,99		RPI $Y = 9,63ns$	-
	EPC $y = 4,266 + 0,0189^{**}x$	R ² = 0,99		EPC $Y = 10,94ns$	-
COS (dagkg ⁻¹)	RPB $y = 0,873 + 0,0071^{**}x$	R ² = 0,99	Cd (mgkg ⁻¹)	RPB ND	-
	RPI $y = 0,876 + 0,0074^{**}x$	R ² = 0,99		RPI ND	-
	EPC $y = 0,856 + 0,0065^{**}x$	R ² = 0,99		EPC ND	-

EPC= esterco puro compostado; RPB=esterco com resíduo de papel branco; RPI= esterco com resíduo de papel impresso. (EPC = pure composted manure; RPB= manure with white paper residue; RPI= manure with printed waste paper). ND= Não detectado e ns = Não significativo (ND = Not detected and ns = Not significant).

O pH, COS, a CTC e os teores de P, Ca, Mg e Zn responderam de forma linear à aplicação de diferentes doses de composto orgânico nos três tratamentos após 2 cultivos consecutivos. Estes resultados estão de acordo com Abreu *et al.* (2010) que verificaram melhorias na fertilidade do solo em cultivos de alface com aplicação de esterco bovino e outros compostos orgânicos.

Para a produção de massa fresca da parte aérea e de raízes houve efeito dos tratamentos, tanto no primeiro quanto no segundo cultivo. Para a produção de massa fresca da parte aérea, no primeiro

cultivo não houve diferenças significativas entre a testemunha e o RPB e EPC, enquanto que a produção no tratamento RPI foi maior que a obtida na testemunha (Tabela 4). Em relação aos compostos, o RPI foi o que proporcionou maior produção de massa fresca da parte aérea, enquanto que não houve diferenças significativas entre o RPB e o EPC.

Tabela 4. Produção de massa fresca de parte aérea e raízes de alface em dois cultivos consecutivos (fresh mass production of shoot and roots of lettuce in two consecutive harvests). Montes Claros, UFMG, 2018.

Tratamentos	Massa fresca parte aérea (g/planta)		Massa fresca raízes (g/planta)	
	1º cultivo	2º cultivo	1º cultivo	2º cultivo
T	27,50a	20,00a	15,25a	15,95a
RPB	27,00aB	66,56bA	12,88aA	23,22bB
RPI	40,06bA	62,44bA	17,88aA	26,21bA
EPC	28,75aB	67,13bA	16,50aA	20,53bC

T= testemunha; EPC= esterco puro compostado; RPB= esterco com resíduo de papel branco; RPI= esterco com resíduo de papel impresso. Letras minúsculas nas colunas comparam a testemunha com os demais tratamentos pelo teste de Dunnet ($p < 5\%$). Letras maiúsculas nas colunas comparam os tratamentos EPC, RPB e RPI pelo teste Scott Knott ($p < 5\%$). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (T= test; EPC = pure composted manure; RPB = manure with white paper residue; RPI = manure with printed waste paper. Lowercase letters in the columns compare the withnes the other treatments by the Dunnet test ($p < 5\%$). Upper case letters in the columns compare the EPC, RPB and RPI treatments by the Scott Knott test ($p < 5\%$). Averages followed by the same letter do not differ).

No segundo cultivo a produção de massa fresca da parte aérea na testemunha foi inferior a dos demais tratamentos (Tabela 4), enquanto que não houve diferenças significativas entre os compostos. Esse aumento na produtividade está relacionado com as melhorias na fertilidade do solo ocorridas após incorporação dos adubos orgânicos ao longo do tempo. Os dados reforçam a teoria de que os compostos orgânicos provenientes do esterco bovino e outros resíduos de origem celulósica podem ser mineralizados de uma forma mais lenta devido à sua relação C/N, corroborando com Bonela *et al.* (2017) que sugerem efeito residual do esterco bovino em cultivos sucessivos. Este resultado é explicado pela disponibilização gradual de nutrientes ao longo de cultivos sucessivos provavelmente determinados pela relação C/N.

Para a produção de massa fresca de raízes, no primeiro cultivo não houve diferenças significativas entre a testemunha e os demais tratamentos (Tabela 4), assim como entre os compostos estudados. Já no segundo cultivo, a produção de massa fresca de raízes foi menor no tratamento testemunha quando comparada a aquelas obtidas nos demais tratamentos. Em relação aos compostos, as maiores produções foram obtidas no tratamento RPI, seguido pelo RPB e EPC. Um maior incremento na matéria fresca de raízes, provavelmente, foi determinado pela melhoria nos atributos químicos do solo, possibilitando um ambiente propício para sua formação.

Quando se compara, tanto massa fresca da parte aérea quanto de raízes, obtida nos dois cultivos, verifica-se maiores produções no segundo cultivo nos tratamentos que receberam aplicação de composto orgânico. A produção de massa fresca da parte área no segundo cultivo foi 247, 156 e 234% superior a aquela obtida no primeiro cultivo, nos tratamentos RPB, RPI e EPC, respectivamente. Para as raízes, as produções de massa fresca foram 180, 147 e 125% superior a dos tratamentos RPB, RPI e EPC, respectivamente, do primeiro cultivo.

Os resultados obtidos no primeiro e no segundo cultivo indicam que os compostos orgânicos produzidos a partir de materiais ricos em celulose e lignina, como o papel, disponibilizam gradualmente

os nutrientes, podendo ocorrer a imobilização de nutrientes já disponíveis no solo pela microbiomassa. Comparando esterco bovino, de frango, ovino e fertilizante mineral, Peixoto Filho *et al.* (2013) também verificaram um maior incremento de matéria fresca no 2º e 3º ciclo da alface, em função da maior disponibilidade de nutrientes decorrente do maior contato ao longo do tempo do adubo com os microrganismos do solo.

Em relação às doses dos diferentes adubos orgânicos, verificou-se que no primeiro cultivo, tanto a produção de massa fresca da parte aérea quanto de raízes ajustaram-se a um modelo quadrático, exceto para a produção de raízes no RPB (tabela 5).

Tabela 5. Equações de regressão ajustadas para produção de massa fresca da parte e raízes de plantas de alface em dois cultivos consecutivos em função das doses de diferentes compostos orgânicos (regression equations adjusted for fresh mass production of shoot and roots of lettuce in two consecutive crops as a function of the different organic compounds doses). Montes Claros, UFMG, 2018.

Trat.	Equação	R ²	P. Máx. (g/planta)	Dose Máx. (Mgha ⁻¹)
PRIMEIRO CULTIVO				
MASSA FRESCA DA PARTE AÉREA				
RPB	$Y = 34,6233 + 0,0273 \cdot X - 0,0013 \cdot X^2$	0,79	34,80	10,5
RPI	$Y = 26,9454 + 0,4075 \cdot X - 0,0021 \cdot X^2$	0,95	46,1	97,02
EPC	$Y = 38,5832 + 0,0081 \cdot X - 0,0015 \cdot X^2$	0,78	38,59	2,7
MASSA FRESCA DE RAÍZES				
RPB	$Y = 17,588 - 0,0706 \cdot X$	0,79	17,59	0
RPI	$Y = 14,142 + 0,1513 \cdot X - 0,0008 \cdot X^2$	0,85	21,29	95,5
EPC	$Y = 19,969 + 0,0584 \cdot X - 0,0011 \cdot X^2$	0,81	20,74	26,5
SEGUNDO CULTIVO				
MASSA FRESCA DA PARTE AÉREA				
RPB	$Y = 28,5062 + 0,4793 \cdot X$	0,79	105,19	160
RPI	$Y = 26,1832 + 0,4628 \cdot X$	0,97	100,23	160
EPC	$Y = 30,8832 + 0,4473 \cdot X$	0,83	102,45	160
MASSA FRESCA DE RAÍZES				
RPB	$Y = 18,895 + 0,2051 \cdot X - 0,0026 \cdot X^2$	0,80	22,94	39,50
RPI	$Y = 14,648 + 0,1275 \cdot X - 0,0007 \cdot X^2$	0,81	20,46	91,00
EPC	$Y = 20,475 + 0,0447 \cdot X - 0,0011 \cdot X^2$	0,82	20,93	20,50

EPC= esterco puro compostado; RPB= esterco com resíduo de papel branco; RPI= esterco com resíduo de papel impresso. (EPC = pure composted manure; RPB = manure with white paper residue; RPI = manure with residue of printed paper).

De acordo com os resultados obtidos pode-se inferir que no primeiro cultivo houve um efeito negativo das doses mais elevadas dos adubos orgânicos para o crescimento das plantas de alface. Costa (2013), usando um composto produzido a partir de capim, esterco caprino e esterco bovino, obteve maior produtividade da alface em doses correspondentes a 25 e a 50% da máxima dose aplicada. Segundo esse autor a cultura da alface não responde linearmente à aplicação de compostos de origem celulósica no primeiro cultivo.

No segundo cultivo, a produção de massa fresca da parte aérea aumentou linearmente com as doses dos diferentes adubos orgânicos, enquanto que a produção de massa fresca de raiz, seguiu um modelo quadrático (Tabela 5). No primeiro cultivo as doses necessárias para a produtividade máxima da parte aérea foram 10,5; 97,02; e 2,7 Mgha⁻¹ para os compostos RPB, RPI e EPC, respectivamente. Esses resultados podem ser explicados porque o ciclo da alface é relativamente curto e a liberação de

nutrientes dos compostos orgânicos é lenta. Além disso, em função dos resíduos utilizados o composto pode estar mal decomposto e, ou apresentar substâncias nocivas aos microrganismos ou ao crescimento das plantas (Khiehl, 2010).

A incorporação de adubos orgânicos gera melhorias nos atributos do solo que permitem uma redução da toxidez pela absorção equilibrada de nutrientes favorecendo uma resposta linear da cultura ao aumento de doses dos compostos orgânicos. Em relação às raízes, os resultados encontrados estão associados ao fato de não ocorrerem alterações nas características do solo em um período curto de tempo capaz de proporcionar um maior crescimento de raízes quando aplicado o composto RPB. No segundo cultivo, o adubo incorporado por um período maior facilitou o desenvolvimento do sistema radicular até uma parte do ciclo da cultura. No final do ciclo, que de acordo com Kano; Cardoso; Villas-Bôas (2011), há um maior aporte de nutrientes para a parte aérea da planta, justifica-se a redução no desenvolvimento das raízes (Tabela 5).

De acordo com a análise química da parte aérea (Tabela 6), de modo geral, os teores de nutrientes ficaram dentro das faixas esperadas para as culturas (Faquin 2005).

Tabela 6. Teores de nutrientes na parte aérea das plantas de alface em dois cultivos consecutivos (Nutrient concentrations in the lettuce shoot in two consecutive crops). Montes Claros, UFMG, 2018.

1º cultivo							
	C	N	P	K	Ca	Mg	S
-----dagkg ⁻¹ -----							
T	48,89a	3,06a	0,41a	2,68a	0,95a	0,30a	0,27a
RPB	45,43aA	3,98bA	0,47aA	2,54aA	0,76bA	0,28aA	0,29aA
RPI	43,70aA	3,41bA	0,43aA	2,56aA	0,77bA	0,25aA	0,26aA
EPC	45,76aA	3,50bA	0,44aA	2,77aA	0,63bA	0,26aA	0,25aA
2º cultivo							
	C	N	P	K	Ca	Mg	S
-----dagkg ⁻¹ -----							
T	51,21a	1,35a	0,22a	1,90a	0,70a	0,19a	0,16a
RPB	45,69aA	2,60bA	0,32bA	2,73bA	0,79aA	0,24aA	0,26bA
RPI	46,88aA	2,27bA	0,35bA	2,56bA	0,80aA	0,22aA	0,21bA
EPC	47,39aA	2,46bA	0,37bA	2,59bA	0,73aA	0,24aA	0,25bA

T= Testemunha; EPC= esterco puro compostado; RPB= esterco com resíduo de papel branco; RPI= esterco com resíduo de papel impresso. Letras minúsculas nas colunas comparam a testemunha com os demais tratamentos pelo teste de Dunnett (p<5%). Letras maiúsculas nas colunas comparam os tratamentos EPC, RPB e RPI pelo teste Scott Knott (p< 5%). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si. (T= test; EPC= pure composted manure; RPB= manure with white paper residue; RPI= manure with residue of printed paper. Lowercase letters in the columns compare the withnes the other treatments by the Dunnett test (p <5%). Upper case letters in the columns compare the EPC, RPB and RPI treatments by the Scott Knott test (p <5%). Averages followed by the same letter do not differ).

O uso dos três compostos favoreceu uma maior absorção de N pela planta nos dois cultivos.

Os teores de C, P, K, Mg e S absorvidos pela planta no primeiro cultivo não se diferiram dos teores absorvidos pela testemunha.

A absorção de P, K e S foram superiores à testemunha no 2º cultivo. Este resultado mostra o efeito da adubação orgânica ao longo do tempo na absorção destes elementos pela planta. Santos *et al.* (2001) verificaram uma liberação gradual de nutrientes em 2 cultivos de alface adubados com compostos orgânicos. De acordo com Abreu *et al.* (2010), os compostos orgânicos são fontes

alternativas de nutrientes em relação aos fertilizantes minerais, sendo que possuem maior efeito residual para os cultivos sucessivos.

O teor de Ca absorvido foi menor que o apresentado pela testemunha em um primeiro cultivo e não se diferiu do apresentado pela testemunha em um segundo cultivo. Menores teores de Ca observados nos tratamentos que receberam adubos orgânicos em relação à testemunha podem ser atribuídos a uma maior disponibilidade de K, que compete com Ca pelos sítios de absorção das raízes (Vidigal, 1995).

Para os teores de macronutrientes na parte aérea das plantas em função das doses, tanto no primeiro quanto no segundo cultivo, apenas para alguns elementos e adubos houve efeito significativo das doses (Tabela 7).

Tabela 7. Equações de regressão ajustada para os teores de macronutrientes na parte aérea em função das doses de composto orgânico em dois cultivos consecutivos (Adjusted regression equations for macronutrient concentrations in lettuce shoots as a function of doses of organic compounds in two consecutive harvests). Montes Claros, UFMG, 2018.

Macronutriente	1º cultivo			2º cultivo	
	Trat.	Y	R ²	Y	R ²
C (dagkg ⁻¹)	RPB	Y=46,39ns	-	Y=46,80ns	-
	RPI	Y=44,88ns	-	Y=44,74ns	-
	EPC	Y=46,55ns	-	Y=46,55ns	-
N (dagkg ⁻¹)	RPB	Y=3,27 + 0,0082**x	R ² = 0,87	y = 1,301+0,0117**x	R ² = 0,99
	RPI	Y=3,19ns	-	Y=3,34ns	-
	EPC	y=2,82 +0,0109**x	R ² = 0,90	y =2,9315 + 0,0083**x	R ² = 0,96
P (dagkg ⁻¹)	RPB	Y=0,46ns	-	y =0,2453 + 0,0006**x	R ² = 0,91
	RPI	Y=0,42ns	-	Y=0,43ns	-
	EPC	Y=0,46ns	-	Y=0,44ns	-
K (dagkg ⁻¹)	RPB	Y=2,53ns	-	y =1,927+ 0,0033**x	R ² = 0,89
	RPI	Y=2,65ns	-	Y=2,59	-
	EPC	Y=2,74ns	-	Y=2,75ns	-
Ca (dagkg ⁻¹)	RPB	Y=0,89ns	-	Y=0,77ns	-
	RPI	y =0,968 -0,0019**x	R ² = 0,98	y =0,9663 -0,0018**x	R ² = 0,99
	EPC	y =0,932 -0,0027**x	R ² = 0,98	y =0,9325 -0,0027**x	R ² = 0,99
Mg (dagkg ⁻¹)	RPB	Y=0,30ns	-	y = 0,2028+0,0003x	R ² = 0,87
	RPI	Y=0,27ns	-	Y=0,26ns	-
	EPC	Y=0,29ns	-	y = 0,3068-0,0004x	R ² = 0,81
S (dagkg ⁻¹)	RPB	Y=0,29ns	-	y = 0,183 +0,0006**x	R ² = 0,81
	RPI	Y=0,27ns	-	Y=0,26ns	-
	EPC	Y=0,26ns	-	Y=0,25ns	-

EPC= esterco puro compostado; RPB= esterco com resíduo de papel branco; RPI= esterco com resíduo de papel impresso. (EPC= compost from cattle manure; RPB= compost from cattle manure and blank paper waste; RPI= compost from cattle manure and printed paper waste).

Os teores podem ter sido influenciados pela produção de matéria seca, uma vez que pode ter ocorrido efeito de concentração nas menores doses, em função da menor produção de massa da parte aérea e, ou diluição nas maiores doses, em função da maior produção de massa. Dessa forma, nas condições experimentais do presente estudo, para a maioria dos elementos não foi verificada uma relação entre o teor na parte aérea e a dose de composto. Villas Bôas *et al.* (2004), ao usarem

compostos orgânicos com serragem de madeira, também não verificaram efeitos de doses no primeiro cultivo.

Não houve interferência do aumento de doses na absorção do C, P, K, Mg e S no primeiro cultivo. A absorção de N respondeu ao aumento de doses dos adubos RPB e EPC de forma linear no primeiro e segundo cultivo. O P, K e S responderam de forma linear ao aumento de doses do composto RPB apenas no segundo cultivo. O teor de Ca respondeu de forma negativa ao incremento de doses nos dois cultivos adubados com compostos RPI e EPC.

Para os teores de micronutrientes e metais pesados, de modo geral, semelhantemente ao verificado para os macronutrientes, os menores teores foram obtidos no tratamento testemunha, exceto para o Cr e Ni no primeiro cultivo (Tabela 8). Quando se comparou os diferentes adubos, verificaram-se diferenças significativas para o ferro e o manganês no primeiro cultivo. Para esses elementos, os maiores teores foram verificados no tratamento EPC (Tabela 8).

Tabela 8. Teores de micronutrientes e metais presentes na parte aérea das plantas de alface em dois cultivos sucessivos (Micronutrient and trace elements concentrations in lettuce shoot in two successive crops). Montes Claros, UFMG, 2018.

	1º cultivo								
	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Ni	Pb	Cd	Cr
	mgkg ⁻¹								
T	3,60a	186,25a	50,25a	318,90a	17,50a	0,60a	0	0	1,3a
RPB	4,85bA	203,03bC	39,21bA	93,76bB	12,57aA	0,15bA	0	0	0,10bC
RPI	4,58bA	247,02bB	33,32bA	102,98bB	13,60aA	0,14bA	0	0	0,28bB
EPC	4,74bA	425,72bA	34,66bA	153,50bA	11,48aA	0,17bA	0	0	0,48bA
	2º cultivo								
	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Ni	Pb	Cd	Cr
T	1,60a	89,25a	19,15a	53,00a	15,75a	0,00	0,00	0,00	0,00
RPB	2,41bA	124,91bA	19,55aA	41,11aA	16,60aA	0,00	0,00	0,00	0,00
RPI	2,43bA	147,88bA	19,55aA	43,10aA	16,59aA	0,00	0,00	0,00	0,00
EPC	2,79bA	135,14bA	21,53aA	55,07aA	18,56aA	0,00	0,00	0,00	0,00

T= testemunha; EPC= esterco puro compostado; RPB= esterco com resíduo de papel branco; RPI= esterco com resíduo de papel impresso. Letras minúsculas nas colunas comparam a testemunha com os demais tratamentos pelo teste de Dunnet ($p < 5\%$). Letras maiúsculas nas colunas comparam os tratamentos EPC, RPB e RPI pelo teste Scott Knott ($p < 5\%$). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si. (T= test; EPC= manure with white paper residue; RPB= compost from cattle manure; RPI= manure with waste paper printed. Lowercase letters in the columns compare the withnes the other treatments by the Dunnet test ($p < 5\%$). Upper case letters in the columns compare the EPC, RPB and RPI treatments by the Scott Knott test ($p < 5\%$). Averages followed by the same letter do not differ).

De modo geral, verificaram-se nos tratamentos com aplicação de adubos orgânicos, menores teores de micronutrientes catiônicos no segundo cultivo, sendo que, não foi detectada, pela metodologia utilizada, a presença de Ni, Pb, Cd e Cr nas plantas. Esses resultados estão de acordo com os obtido na análise de solo (Tabela 3) e podem ser explicados pela extração e exportação pelas plantas do primeiro cultivo e, ou pela complexação desses elementos por substâncias húmicas provenientes da mineralização dos adubos orgânicos (Belloti, 2011). Outra vantagem dos adubos orgânicos é a lenta liberação de nutrientes, proporcionando um maior equilíbrio entre os mesmos na solução do solo (Santos, 2001).

Os teores de Cu, Fe, Zn, Mn, Ni e Cr absorvidos no primeiro cultivo foram superiores aos absorvidos pela testemunha. Grandes quantidades de Fe e Mn foram absorvidos pela planta. No

segundo cultivo, somente a absorção de Cu e Fe foram superiores à testemunha. Os metais Ni, Cr, Pb e Cd não foram absorvidos pela planta provavelmente pelas melhorias nas propriedades químicas do solo e pela complexação destes cátions pela matéria orgânica incorporada ao solo

Em relação às doses dos compostos orgânicos, tanto no primeiro quanto no segundo cultivo, verificou-se que para alguns elementos não houve efeito de doses e, para outros, os teores diminuíram com o aumento das doses (Tabela 9).

Tabela 9. Equações de regressão ajustadas para as concentrações de micronutrientes e metais pesados em folhas de alface em dois cultivos consecutivos, em função das doses dos compostos orgânicos. (Adjusted regression equations for the micronutrient and trace elements concentrations in lettuce shoot in two consecutive crops, as a function of the organic compound doses). Montes Claros, UFMG, 2018.

Micro	Trat.	1ºcultivo		2º cultivo	
		y	R ²	y	R ²
Cu mgkg ⁻¹	RPB	y = 1,5863 + 0,0074**x	R ² = 0,99	y = 4,45ns	-
	RPI	y = 4,0238 + 0,004*x	R ² = 0,72	y = 4,42ns	-
	EPC	Y = 4,51ns	-	y = 4,47	-
Fe mgkg ⁻¹	RPB	y = 95,959 + 0,2425**x	R ² = 0,91	y = 207,02ns	-
	RPI	Y = 234,87ns	-	y = 317,54 - 0,6238*x	R ² = 0,70
	EPC	Y = 377,82ns	-	y = 380,60ns	-
Zn mgkg ⁻¹	RPB	y = 14,651 - 0,0535*x	R ² = 0,71	y = 49,41 - 0,1626**x	R ² = 0,81
	RPI	y = 40,426 - 0,0413*x	R ² = 0,70	y = 45,71 - 0,1671**x	R ² = 0,82
	EPC	y = 37,78	-	y = 41,714 - 0,0437*x	R ² = 0,73
Mn mgkg ⁻¹	RPB	y = 43,49ns	-	y = 237,98 - 1,5953*x	R ² = 0,74
	RPI	y = 212,36 - 0,7354*x	R ² = 0,70	y = 237,98 - 1,5953*x	R ² = 0,76
	EPC	y = 278,94 - 1,0263x	R ² = 0,92	y = 278,94 - 1,0263**x	R ² = 0,95
B mgkg ⁻¹	RPB	y = 16,095 - 0,0282**x	R ² = 0,89	y = 16,095 - 0,0282**x	R ² = 0,87
	RPI	y = 14,38ns	-	y = 15,928 - 0,0258**x	R ² = 0,81
	EPC	y = 15,39 - 0,03**x	R ² = 0,84	y = 15,39 - 0,03**x	R ² = 0,82
Ni Mgkg ⁻¹	RPB	y = 0,4653 - 0,0025*x	R ² = 0,72	ND	
	RPI	y = 0,4479 - 0,0024*x	R ² = 0,71	ND	
	EPC	y = 0,18ns		ND	
Cr Mgkg ⁻¹	RPB	y = 1,0077 - 0,0054*x	R ² = 0,70	ND	
	RPI	Não detectado		ND	
	EPC	y = 0,49ns		ND	

EPC= esterco puro compostado; RPB= esterco com resíduo de papel branco; RPI= esterco com resíduo de papel impresso. (EPC= compost from cattle manure; RPB= compost from cattle manure and blank paper waste; RPI= compost from cattle manure and printed paper waste).

Mais uma vez, os resultados obtidos indicam que com o aumento das doses e com a mineralização dos adubos orgânicos houve uma complexação dos micronutrientes catiônicos e metais pesados, diminuindo a disponibilidade desses elementos para as plantas. Assim, os compostos orgânicos produzidos a partir de esterco bovino e resíduos de papel, em branco ou impresso, além de melhorarem as propriedades do solo aumentaram a produção da alface, principalmente, no segundo cultivo.

Os resultados obtidos permitem concluir que os adubos orgânicos testados melhoraram a fertilidade do solo, apresentaram efeito residual com a liberação gradual de nutrientes e não apresentaram risco de contaminação para as plantas. No entanto, novos estudos devem ser realizados para adequação do produto às normas estabelecidas pelo Ministério da Agricultura e Pecuária quanto aos aspectos exigidos para utilização na agricultura não abordados no presente trabalho.

4.2.1 REFERÊNCIAS

- ABREU, IMO; JUNQUEIRA, AMR; PEIXOTO, JR; OLIVEIRA, AS. 2010. Qualidade microbiológica e produtividade de alface sob adubação química e orgânica. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 30(1): 108-118.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2004. *NBR 10004*: resíduos sólidos. Rio de Janeiro, BR: ABNT. 71p. Available at: http://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/normas/ABNT_NBR_n_10004_2004.pdf. Acessado em março 14, 2016.
- BELOTTI, FM. 2011. *Capacidade de retenção de metais pesados pelo solo em área de implantação de estruturas de infiltração para águas pluviais urbanas em Belo Horizonte/MG*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 95 p (Tese doutorado).
- BONELA, GD; SANTOS, WP; ALVES SOBRINHO, E; GOMES, EJC. 2017. Produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob diferentes fontes residuais de matéria orgânica. *Revista brasileira de agropecuária sustentável* 7(2): 66-74.
- COSTA, JP. 2013. *Desempenho de mudas de alface (Lactuca sativa) sob diferentes doses de composto orgânico*. Catolé do Rocha, BR: Universidade Estadual da Paraíba. 20 f(TCC graduação). Available at: <http://dspace.bc.uepb.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2121/1/PDF%20-%20Jucerlandio%20Pereira%20Costa.pdf>. Acessado em março 12, 2017.
- ECKHARDT, DP. 2015. Fertilizantes orgânicos: índice de eficiência e produção de alface, cenoura e mudas de eucalipto. (Tese doutorado). Santa Maria, BR: Universidade Federal de Santa Maria. 98 f (Tese doutorado). Available at: <http://w3.ufsm.br/ppgcs/images/Teses/DANIEL-PAZZINI-ECKHARDT-TESE.pdf>. Acessado em março 12, 2017.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. *Manual de Métodos de Análise de Solos*. 2. ed. Rio de Janeiro, BR: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 212p. Available at: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q430ram31wtr.pdf. Acessado em março 15, 2016.
- FAQUIN, V. 2005. *Nutrição mineral de plantas*. Lavras, BR: UFLA. 186p.
- KHIEL, EJ. 2010. *Novos fertilizantes orgânicos*. Piracicaba, BR: Degaspari. 247p.
- MALAVOLTA, E; VITTI, GC; OLIVEIRA, AS. 1997. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba, BR: POTAFOS. 319p.
- PEIXOTO FILHO, JU; FREIRE, MBGS; FREIRE, FJ; MIRANDA, MFA; PESSOA, LGM; KAMIMURA, KM. 2013. Produtividade de alface com doses de esterco de frango, bovino e ovino em cultivos sucessivos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17(4): 419-424. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013000400010. Acesso em março 20, 2017.
- SAMPAIO, EVSB; OLIVEIRA, NMB; NASCIMENTO, PRF. 2007. Eficiência da adubação orgânica com esterco bovino e com *Egeria densa*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 31: 995-1002. Available at: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n5/a16v31n5.pdf> . Acessado em março 15, 2018.
- SANTI, A; CARVALHO, MAC; CAMPOS, OR; SILVA, AF; ALMEIDA, JL; MONTEIRO, S. 2010. Ação de material orgânico sobre a produção e características comerciais de cultivares de alface. *Horticultura Brasileira* 28: 87-90. Available at: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362010000100016. Acessado em março 15, 2016.

- SANTOS, RHS; SILVA, F; CASALI, VWD; CONDE, AR. 2001. Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 369(11): 1395-1398. Available at: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/105868/1/1395.pdf>. Acessado em março 12, 2017.
- SILVA, FMAS; VILLAS BÔAS, RLV; SILVA, RB. 2010. Resposta da alface à adubação nitrogenada com diferentes compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos. *Acta Scientiarum Agronomy* 32(1): 131-137.
- SILVA, KC; COSTA, CG; AGUIAR, VF; AZEVEDO, LCG, CARVALHO, AJE. 2016. Efeito residual da adubação com composto orgânico no crescimento e desenvolvimento do alface. *Revista Univap* 22(40): 2237-1753. Available at: <http://revista.univap.br/index.php/revistaunivap/article/view/775>. Acessado em março 15, 2017.
- VIDIGAL, SM; RIBEIRO, AC; CASALI, VWD; FONTES, LEF. 1995. Resposta da alface (*Lactuca sativa*)L. ao efeito da adubação orgânica. II. Ensaio em casa de vegetação. *Revista Ceres* 239: 89-97. Available at: <http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/2241/275>. Acesso março 12, 2016.
- VILLAS BÔAS, RL; PASSOS, JC; FERNANDES, DM; BULL, LT; CÉZAR, VRS; GOTO, R. 2004. Efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface em dois solos sob ambiente protegido. *Horticultura Brasileira* 22(1): 28-34.

5 CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados gerados através deste trabalho permitiram concluir que os resíduos de papel podem ser uma boa alternativa na formação de compostos condicionadores de solo que podem ser usados em paisagismo ou em recuperação de áreas degradadas.

Os compostos formados apresentam melhores condições produtivas em um segundo ciclo, possivelmente favorecidas pela mineralização lenta e pelo maior equilíbrio na disponibilidade de nutrientes para a planta.

Os compostos orgânicos produzidos com resíduos de papel em branco e impresso aumentam o pH e a CTC do solo quando incorporados por um período de até três meses. Essas características favorecem a indisponibilidade de metais potencialmente tóxicos para as plantas e sua possível complexação no solo. Novos estudos são necessários para adequação do produto às normas estabelecidas pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento quanto a aspectos exigidos e não abordados no presente trabalho.