

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

**FERTILIZANTES ORGÂNICOS: ÍNDICE DE
EFICIÊNCIA E PRODUÇÃO DE ALFACE, CENOURA
E MUDAS DE EUCALIPTO**

TESE DE DOUTORADO

Daniel Pazzini Eckhardt

**Santa Maria, RS, Brasil
2015**

FERTILIZANTES ORGÂNICOS: ÍNDICE DE EFICIÊNCIA E PRODUÇÃO DE ALFACE, CENOURA E MUDAS DE EUCALIPTO

Daniel Pazzini Eckhardt

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em
Ciência do Solo, Área de Concentração Biodinâmica e Manejo do Solo, da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para
obtenção do grau de **Doutor em Ciência do Solo**.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Zaida Inês Antonioli

Santa Maria, RS, Brasil

2015

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

Eckhardt, Daniel Pazzini
Fertilizantes orgânicos: índice de eficiência e produção de alface, cenoura e mudas de eucalipto. / Daniel Pazzini Eckhardt.-2015.
98 f.; 30cm

Orientadora: Zaida Inês Antonioli
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2015

1. Composto 2. Vermicomposto 3. Esterco bovino I. Antonioli, Zaida Inês II. Título.

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Daniel Pazzini Eckhardt. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
E-mail: daniel.pazzini@hotmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**FERTILIZANTES ORGÂNICOS: ÍNDICE DE EFICIÊNCIA E
PRODUÇÃO DE ALFACE, CENOURA E MUDAS DE EUCALIPTO**

elaborada por
Daniel Pazzini Eckhardt

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Ciência do Solo

Comissão Examinadora:

**Zaida Inês Antonioli, Dr^a. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)**

Rodrigo Josemar Seminoti Jacques, Dr. (UFSM)

Eduardo Lorensi de Souza, Dr. (UERGS)

Guilherme Karsten Schirmer, Dr. (IFSul)

Gerusa Pauli Kist Steffen, Dr^a. (FEPAGRO)

Santa Maria, 28 de Agosto de 2015.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial à minha mãe Nancy Maria Eckhardt e meus avós Reinoldo João Pazzini e Albertina Clarinda Witt Pazzini (*in memoriam*) que sempre me incentivaram a seguir em frente e alcançar meus objetivos. A vocês só tenho a agradecer por tudo que fizeram por mim. Obrigado por tudo. AMO VOCÊS.

À Bárbara...

À professora Zaida Inês Antonioli, que sempre foi mais do que orientadora, foi um exemplo de profissional e acima de tudo amiga, a quem devo muito por esta empreitada. Ao professor Rodrigo Josemar Seminoti Jacques, pela orientação na execução dos trabalhos e pela amizade.

Aos colegas de Pós-Graduação em Ciência do Solo em especial ao Pós-Doutorando, Paulo Ademar Avela Ferreira pela co-orientação e pela amizade.

Aos colegas de Laboratório de Microbiologia do Solo e Ambiente.

Aos Professores e aos Técnicos Administrativos do Departamento de Solos.

À todos que de alguma forma contribuíram para esta etapa.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do curso.

Ao CNPq pela concessão da Bolsa de Estudo.

À minha mãe Nancy e aos meus avós Reinoldo e Albertina (*in memoriam*), pelo amor, carinho, educação, apoio e inspiração durante este período. Dedico este trabalho

“Se minha Teoria da Relatividade estiver correta, a Alemanha dirá que sou alemão e a França me declarará um cidadão do mundo. Mas, se não estiver, a França dirá que sou alemão e os alemães dirão que sou judeu” (**Albert Einstein**).

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

FERTILIZANTES ORGÂNICOS: ÍNDICE DE EFICIÊNCIA E PRODUÇÃO DE ALFACE, CENOURA E MUDAS DE EUCALIPTO

AUTOR: DANIEL PAZZINI ECKHARDT
ORIENTADORA: ZAIDA INÊS ANTONIOLLI
Local e Data da Defesa: Santa Maria, 28 de Agosto de 2015.

Os processos de transformação e estabilização de resíduos orgânicos, como a compostagem tradicional e a vermicompostagem, potencializam a produção de fertilizantes. O objetivo deste trabalho foi quantificar a mineralização do nitrogênio (N) e do fósforo (P), e a disponibilidade do potássio (K) de fertilizantes à base de esterco bovino, e avaliar a utilização destes na produção de alface (*Lactuca sativa* L.), cenoura (*Daucus carota* L.) e mudas de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*). Para a avaliação do índice de eficiência, mineralização de N e P, e a disponibilização de K foram utilizados cinco fertilizantes orgânicos: vermicomposto de esterco bovino (VEB); composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP); esterco oriundo do confinamento de bovinos de corte (EBC); esterco proveniente da bovinocultura leiteira (EBL); e vermicomposto com elevada umidade (VEU). A mineralização e o índice de eficiência do nitrogênio são aumentados pela compostagem do esterco bovino. A mineralização e o índice de eficiência do fósforo são favorecidos pela vermicompostagem. A disponibilidade do potássio é beneficiada pela utilização do esterco oriundo da bovinocultura de corte sem transformação, e o índice de eficiência do potássio pela vermicompostagem com elevada umidade e injeção de ar forçado. Para a produção de alface e cenoura foram utilizados quatro fertilizantes: VEB, CEBP, esterco bovino (EB) e ureia; em seis doses: 0, 33, 66, 100, 133 e 166% do N recomendado para a cultura da alface e cenoura, respectivamente. A utilização de vermicomposto de esterco bovino favorece a produção de massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, número de folhas totais e número de folhas comercializáveis da alface; massa fresca da raiz, comprimento da raiz e diâmetro da raiz da cenoura. Para a produção de mudas de eucalipto foram utilizados quatro substratos: VEB, CEBP, EB e substrato comercial, em cinco dosagens (v/v): 20, 40, 60, 80 e 100%. A utilização do esterco bovino em doses de 20 a 80%, do vermicomposto de esterco bovino e do composto de esterco bovino e palha em doses de 40 a 100%, favorece o desenvolvimento de mudas de *E. urograndis*. Assim, fertilizantes orgânicos produzidos a partir do esterco bovino são eficientes na produção de alface, cenoura e mudas de eucalipto.

Palavras-chave: Composto. Vermicomposto. Esterco bovino.

ABSTRACT

Doctor Science Thesis
Graduate Program in Soil Science
Universidade Federal de Santa Maria

ORGANIC FERTILIZERS: EFFICIENCY INDEX AND PRODUCTION OF LETUCE, CARROT AND EUCALYPTUS SEEDLINGS

AUTHOR: DANIEL PAZZINI ECKHARDT

ADVISER: ZAIDA INÊS ANTONIOLLI

Defense Place and Date: Santa Maria, August 28, 2015.

The process of transformation and stabilization of organic materials, like traditional compost and vermicompost, increase the efficiency of biofertilizers production. This work aimed to quantify the N mineralization and the P and K availability from cattle manure fertilizers such as evaluate the responses of lettuce (*Lactuca sativa* L.), carrot (*Daucus carota* L.) and eucalyptus seedling (*Eucalyptus urograndis*) to them. The efficiency index and the mineralization of N and the availability of P and K was measured in five organic fertilizers: vermicompost of cattle manure mixed with straw of pasture (VEB); compost of cattle manure and straw (CEBP); cattle manure from confinement (EBC); manure of dairy cattle "in nature" (EBL); high humidity vermicompost (VEU). Mineralization and efficiency index of P were improve by vermicomposting. Availability of K was improve by cattle manure in nature and the efficiency index was improve by vermicomposting with high moisture and artificial airflow. In lettuce and carrot production four fertilizers was use: VEB, CEBP, cattle manure (EB) and urea, in six doses: 0, 33, 66, 100, 133 and 166% of N recommendation to lettuce and carrot production. By carrot production, only mineral fertilization was reapply. On lettuce, cattle manure vermicompost increases the production of green matter, dry matter, total number of leaves and commercial leaves, such as fresh root weight, root length and root diameter increases on carrot. Four fertilizers was use on eucalyptus seedlings: VEB, CEBP, EB and a commercial product, in five doses (v/v): 20, 40, 60, 80 and 100%. Doses from 20 to 80% of cattle manure and doses of 40 to 100% of cattle manure vermicompost and compost of cattle manure with straw improves eucalyptus seedlings development. Therefore, organic fertilizers obtained from cattle manure are efficient on lettuce, carrot and eucalyptus seedling production.

Key-words: Compost. Vermicompost. Cattle manure.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	11
1.1 Reaproveitamento de resíduos	12
1.2 Disponibilização de nutrientes	13
1.3 Adubação orgânica na produção agroecológica.....	15
1.4 Referências Bibliográficas	19
2 ARTIGO I – IMPACTO DA COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM NA LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO E ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE ESTERCO BOVINO NO SOLO..	25
2.1 Resumo	25
2.2 Abstract	26
2.3 Introdução	26
2.4 Material e métodos	28
2.5 Resultados e discussão	31
2.6 Conclusões	41
2.7 Referências Bibliográficas	41
3 ARTIGO II – UTILIZAÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS NA PRODUÇÃO DE PLANTAS DE <i>Lactuca sativa</i> L. E <i>Daucus carota</i> L. EM CONDIÇÕES DE CAMPO.....	47
3.1 Resumo	47
3.2 Abstract	48
3.3 Introdução	48
3.4 Material e métodos	50
3.5 Resultados e discussão	53
3.6 Conclusões	64
3.7 Referências Bibliográficas	65
4 ARTIGO III – COMPOSTOS À BASE DE ESTERCO BOVINO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Eucalyptus urograndis</i>.....	70
4.1 Resumo	70
4.2 Abstract	70
4.3 Introdução	71
4.4 Material e métodos	72
4.5 Resultados e discussão	74
4.6 Conclusões	85
4.7 Referências Bibliográficas	85
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS.....	88

1 INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento populacional, o aumento do poder aquisitivo do consumidor e a melhoria na qualidade de vida do homem, são fatores que elevam o consumo de produtos, bens e serviços, resultando em aumento considerável de resíduos sólidos. O termo resíduo é definido como material dispensável, substâncias ou objetos, dos quais seu detentor pretenda ou tenha a obrigação legal de se desfazer (Houssais; Villar, 2009; Krieger et al., 1998). O último levantamento sobre resíduos sólidos no Brasil, realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2010), constatou que a geração destes aumentou cerca de 7% entre 2009 e 2010, passando de 57.011.136 para 60.868.080 t ano⁻¹. Este levantamento indicou que quase 23 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos não foram coletados, resultando em destinação inadequada. Segundo dados do IBGE (2010), o Brasil coleta diariamente aproximadamente 260.000 toneladas de lixo urbano.

Uma considerável parte dos resíduos produzidos é de origem orgânica. Segundo Luna et al. (2009), 50% dos resíduos sólidos urbanos domiciliares produzidos no Brasil são orgânicos, além disto há uma grande quantidade de resíduos orgânicos agrícolas. Da atividade agropecuária, se destaca a bovinocultura de corte. O Brasil é o maior exportador e o segundo maior produtor de carne bovina do mundo, com mais de 200 milhões de cabeças de gado (IBGE, 2010). Um bovino adulto produz diariamente cerca de 10 kg de esterco (Campos, 2003; Gaspar, 2003). Considerando apenas os oito milhões de bovinos criados de forma intensiva, ou seja, em confinamento, a produção diária de esterco alcança 80 mil toneladas, tornando-se assim um resíduo orgânico de alta disponibilidade.

Os resíduos orgânicos são biodegradáveis, portanto quando dispostos no ambiente em grande quantidade, sua decomposição ocorre pela ação de microrganismos e animais invertebrados, originando material líquido percolado, denominado de chorume, com elevadas demanda química de oxigênio (DQO), concentração de ácidos graxos voláteis e em alguns casos, concentração de metais pesados (Inácio; Miller, 2009; Luna et al., 2009). A deposição destes na superfície do solo pode causar sua contaminação e poluição. Sendo assim, é necessário que

estes resíduos sejam transformados em materiais estáveis a fim de diminuir os desfavoráveis impactos ambientais.

1.1 Reaproveitamento de resíduos

Inicialmente o descarte de resíduos era visto como adequado, incondicionalmente, uma vez que adicionava matéria orgânica e nutrientes ao solo, resolvendo momentaneamente o problema do acúmulo e da deposição em locais inapropriados. Posteriormente, a adição de resíduos ao solo passou a ser questionada pelo seu potencial contaminador, principalmente de mananciais hídricos. No Brasil, apenas no início dos anos 1990, é que se começa a debater criticamente o descarte destes resíduos no solo, como fonte poluidora (Tedesco et al., 2008). Os resíduos orgânicos, quando adicionados no solo em elevadas quantidades, necessitam de alguns cuidados e manejo diferenciado. No entanto, esta adição geralmente é inadequada, pois desconsidera as características do solo e as exigências nutricionais das culturas, o que pode resultar em problemas ambientais, como o escoamento superficial de nitratos e fosfatos, lixiviação de nitratos e a salinização dos solos (Castillo et al., 2010). Contudo, a reciclagem dos resíduos orgânicos não é inviabilizada. A adição destes ao solo, como fertilizantes, é uma prática possível, desde que estes sejam tratados ou transformados, adicionados em quantidades que estejam de acordo com critérios agrônômicos e as legislações vigentes.

Dentre os processos de transformação e estabilização de resíduos orgânicos, destacam-se a compostagem tradicional e a vermicompostagem (Domínguez; Edwards, 2011), ambas diminuem o potencial contaminante dos resíduos ao convertê-los em fertilizantes, possibilitando a reciclagem dos nutrientes no solo (Domínguez et al., 2010). Após o processo de estabilização, o resíduo é denominado de fertilizante orgânico. O fertilizante orgânico é definido como produto de origem animal ou vegetal que propicia melhorias nas qualidades físicas, químicas e biológicas no solo (Kiehl, 1985; Domínguez et al., 2010).

A compostagem é um processo controlado, caracterizado pela decomposição aeróbica da matéria orgânica, realizada por microrganismos (Kiehl, 1985). Os

microrganismos degradam a matéria orgânica, utilizando-a como fonte de energia e carbono para o seu crescimento (Tíquia, 2005) utilizam O_2 e liberam CO_2 e água, além de gerar calor (Epstein, 1997).

A vermicompostagem é um processo de degradação e estabilização do material orgânico, através da ação de minhocas e de microrganismos (Domínguez, 2004). No processo de vermicompostagem, as minhocas ingerem os resíduos orgânicos, fracionam e digerem parte deste material, estimulando assim a atividade dos microrganismos e conseqüentemente a mineralização dos nutrientes, acelerando a transformação do resíduo em material humificado (Landgraf et al., 1999; Domínguez; Perez-Lousada, 2010).

A utilização de fertilizantes orgânicos alcança maiores proporções em cultivos orgânicos e na produção de mudas de hortaliças e espécies florestais, embasada fundamentalmente na redução do uso de fertilizantes minerais (Antoniolli et al., 2009). Entre os benefícios da utilização de fertilizantes orgânicos, estão inclusos o baixo custo de produção, o acúmulo de carbono (C), nitrogênio (N) e fósforo orgânico (Po) no solo, e sua disponibilização gradual de nutrientes para as plantas (Boeira; Maximiliano, 2009; Camargo et al., 1997).

1. 2 Disponibilização de nutrientes

Existe uma grande diversidade de resíduos que podem ser utilizados na composição de fertilizantes orgânicos, como esterco, lodos, restos vegetais, entre outros (Edwards, 2004). No entanto, um dos maiores empecilhos para a aceitação e disseminação da utilização destes fertilizantes está relacionado ao reduzido número de informações sobre a caracterização química e a resposta agrônômica em diferentes culturas (Antoniolli et al., 2009). A aplicação de fertilizantes orgânicos ao solo deve ser realizada segundo critérios técnicos (Melo et al., 2008), onde as necessidades nutricionais das culturas precisam ser consideradas, principalmente em relação ao nitrogênio, evitando escoamento e percolação de nitrato, poluente potencial de mananciais hídricos (Mantovani et al., 2006).

O nitrogênio é o nutriente mais limitante ao desenvolvimento das plantas, assim é importante a quantificação do seu teor mineral e da fração mineralizável do

nitrogênio (FMN) dos compostos nitrogenados orgânicos presentes nos fertilizantes orgânicos (Moore et al., 2010). A FMN dos fertilizantes orgânicos, somada ao nitrogênio mineral contido no solo, indicará o nitrogênio total disponível à cultura durante o ciclo (Boeira; Maximiliano, 2009).

O fósforo é um dos nutrientes mais limitantes ao rendimento das culturas. A disponibilidade do fósforo está associada à atividade dos microrganismos e às propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo. O fósforo do solo é dividido em dois grupos, fósforo inorgânico (Pi) e fósforo orgânico (Po), dependendo do composto ao qual está ligado (Rheinheimer et al., 2008). Na adição do fósforo via fertilizantes, ocorre a transferência de fósforo da solução do solo para a fase sólida, onde parte deste fica adsorvido especificamente a óxidos de ferro e de alumínio, indisponível às culturas (Ranno et al., 2007). O fósforo orgânico é originário dos resíduos vegetais, do tecido microbiano e dos produtos de sua decomposição (Rheinheimer et al., 2000) e pode constituir até 80% do fósforo total do solo. A estabilidade dos compostos fosfatados depende de sua natureza e da interação com a fração mineral, pois são utilizados como fonte de energia e elétrons pelos microrganismos, resultando na sua mineralização e disponibilização (Rheinheimer et al., 2008).

Os teores de potássio (K) no solo dependem da presença de minerais primários e secundários, da aplicação recente de fertilizantes, da capacidade de troca de cátions e da ciclagem de nutrientes das culturas (Rosolem et al., 2012). A disponibilidade de potássio para as culturas deve considerar, além do potássio trocável, a fração de potássio liberada pela decomposição das culturas anteriores e o potássio não trocável, que podem migrar para a solução do solo (Kaminski et al., 2007). A concentração de potássio na solução do solo, ou seja, disponível às plantas, normalmente é baixa, mesmo em solos fertilizados, assim tende a esgotar-se em poucos dias (Ernani et al., 2007). Uma adubação potássica deve prever um nível crítico e a suplementação deve seguir a necessidade da cultura a ser implantada, evitando possíveis perdas por translocação no perfil do solo (Kaminski et al., 2010).

Diferentemente dos fertilizantes minerais, que são solúveis e disponibilizam os nutrientes assim que adicionados ao solo, nos fertilizantes orgânicos os nutrientes estão presentes predominantemente na forma orgânica e necessitam passar pelo processo de mineralização para então ficarem disponíveis na solução do

solo. Os potenciais de mineralização do nitrogênio e do fósforo representam a fração destes nutrientes na forma orgânica, suscetíveis à mineralização, tornando-se então disponíveis às plantas (Camargo et al., 1997), passando da forma orgânica para forma inorgânica (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , respectivamente) (Moore et al., 2010; Moreira; Siqueira, 2006). O potássio não forma complexos orgânicos, e tem sua importância avaliada principalmente pela disponibilidade no solo (Kt Mehlich1).

A determinação da fração mineralizável do nitrogênio e do fósforo, e da disponibilidade do potássio ao longo do tempo, permite obter informações importantes sobre a dinâmica dos materiais orgânicos no solo (Mantovani et al., 2006). Para estimar a mineralização do nitrogênio e do fósforo orgânico e a disponibilização de potássio, são utilizados métodos de incubação de amostras de solo sob condições controladas de temperatura, umidade e luminosidade (Yagi et al., 2009), nas quais a disponibilidade dos nutrientes são determinadas em extratos obtidos por percolação ou agitação de amostras com soluções salinas diluídas (Wang et al., 2003). A partir dos resultados relativos à mineralização de nitrogênio e fósforo e a disponibilização de potássio dos fertilizantes, é possível determinar as dosagens necessárias destes para recomendações na produção agrícola.

1.3 Adubação orgânica

A atividade agropecuária gera uma diversidade de resíduos, os quais na sua grande maioria de origem orgânica, todos passíveis de reutilização na fertilização agrícola, desde que corretamente manejados. Neste sentido, a adubação orgânica possibilita a reciclagem de resíduos de atividades agropecuárias (restos vegetais, esterco, alimentos em decomposição, entre outros), após transformá-los em fertilizantes, na produção de plantas. Esta atividade tem dois pontos favoráveis principais: a transformação de resíduos com pouca ou nenhuma destinação em fertilizantes orgânicos e a utilização destes fertilizantes orgânicos na produção agrícola, reduzindo os custos de produção.

Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), em 2012, o consumo de fertilizantes ultrapassou 29 milhões de toneladas, destes mais de 60% foram importados. Neste sentido, a adubação orgânica é uma alternativa aos

fertilizantes minerais que são oriundos de fontes escassas e de elevado custo para aquisição (Schumacher et al., 2001).

Entre uma série de fertilizantes orgânicos, o composto e o vermicomposto, podem ser utilizados como alternativas à produção de mudas florestais e hortaliças (Apêndice A). Segundo Maia et al. (2006), a produção das mudas é um importante fator na implantação de hortas e pomares. Os nutrientes presentes no substrato, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio têm grande influência na qualidade das mudas produzidas.

Ao avaliar a germinação do *Pinus pinaster* Ait. Lazcano et al. (2008), concluíram que a utilização de vermicomposto, produzido com esterco de coelhos, favoreceu a germinação de sementes de pinheiro. Os mesmos autores indicam a presença de substâncias biologicamente ativas do vermicomposto que podem estar envolvidas na promoção da germinação e que precisam ser investigadas. Na produção de plantas de eucalipto utilizando substrato comercial, a adição de vermicomposto de esterco bovino em doses de até 20% favoreceu a germinação e o desenvolvimento inicial das plantas (Poor; Rafiei, 2013).

Na produção de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, Schumacher et al. (2001), concluíram que o uso de vermicomposto resulta em mudas de boa qualidade, porém a dosagem máxima de vermicomposto não deve ultrapassar 30%, pois dosagens superiores inibem o desenvolvimento das mudas. A produção de mudas de *Hovenia dulcis* Thunberg foi satisfatória quando produzida com vermicomposto, na dosagem de 40%. No entanto, maiores dosagens necessitam ser estudadas, pois esta dosagem alcançou maiores valores em todos os parâmetros avaliados, impossibilitando definir sua máxima eficiência (Vogel et al., 2001). Na implantação da erva-mate, a utilização de vermicomposto de esterco bovino (1kg cova⁻¹), induziu maior crescimento inicial das plantas, relacionado principalmente com a contribuição química e física do fertilizante orgânico (Saidelles et al., 2003).

O cultivo de hortaliças demonstra a aptidão do uso de compostos orgânicos. Avaliando a germinação de sementes e a produção de mudas de alface em diferentes substratos, Silva et al. (2008), concluíram que a associação de esterco e húmus, na proporção de duas partes para uma, proporciona maior acúmulo de massa seca em plântulas de alface, resultando em maior vigor, apesar de não favorecer o índice de velocidade de emergência, e a taxa de germinação, demonstrando ser uma alternativa para a produção orgânica de plantas de alface.

Ao avaliar a produção de alface utilizando diferentes dosagens de composto de resíduos orgânicos e vermicomposto de esterco bovino, Ali et al. (2007), concluíram que a mistura de 20% vermicomposto e 80% composto resultou na maior produção de biomassa, sendo que a utilização do vermicomposto puro inibiu o crescimento das plantas. Avaliando os efeitos da aplicação combinada de vermicomposto e adubação mineral no crescimento da cebola e na fertilidade do solo, Srivastava et al. (2012) concluíram que a combinação de fertilizantes minerais e vermicomposto favoreceu o desenvolvimento vegetativo, reduzindo em 50% o custo da adubação.

Os fertilizantes orgânicos como o esterco bovino ou o vermicomposto associados à casca de arroz carbonizada podem ser utilizados na composição de substratos alternativos para a produção de mudas de pimentão (Neto et al., 2009). A associação de vermicomposto e casca de arroz, em diferentes concentrações, resultaram em mudas de alface com padrão comercial (Steffen et al., 2010). A utilização de adubo orgânico eleva os teores de fósforo e da capacidade de troca de cátions do solo, proporcionando efeito residual sobre a produção de alface, cultivada até 110 dias (Santos et al., 2001).

A utilização de composto orgânico misto na produção de mudas de alface, apesar dos teores de matéria orgânica do substrato comercial serem superiores aos teores dos demais substratos, proporcionou maior número de folhas e maior comprimento das raízes. Isto indica que o composto orgânico pode substituir com sucesso os substratos comerciais na produção de mudas de alface, com custos menores (Medeiros et al., 2008). No entanto, é importante compreender que o uso de substratos orgânicos auxilia o crescimento das mudas de alface somente se a contribuição química for superior à condição química do solo, em vista de atender às necessidades nutricionais das plantas (Souza et al., 2008).

Em vista do que foi exposto, este trabalho busca caracterizar os fertilizantes orgânicos à base de esterco bovino em relação ao seu potencial fertilizante nitrogenado, fosfatado e potássico e determinar sua aplicação na produção de alface, cenoura e mudas de eucalipto. Assim, desenvolveu-se o trabalho, conforme a figura 1.

FERTILIZANTES ORGÂNICOS: ÍNDICE DE EFICIÊNCIA E PRODUÇÃO DE ALFACE, CENOURA E MUDAS DE EUCALIPTO.

→ **Capítulo I - Impacto da compostagem e vermicompostagem na liberação de nitrogênio, fósforo e potássio e índice de eficiência de esterco bovino no solo.**

<p>Esterco bovino</p> <p>Vermicomposto</p> <p>Composto</p>	<p style="font-size: 2em;">}</p>	<p>Mineralização de N, disponibilização de P e K; índice de eficiência do N, P e K</p>
------------------------------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------

→ **Capítulo II – Utilização de fertilizantes orgânicos na produção de plantas *Lactuca sativa* L. e *Daucus carota* L. em condições de campo.**

<p>Esterco bovino</p> <p>Vermicomposto</p> <p>Composto</p> <p>Mineral</p>	<p style="font-size: 2em;">}</p>	<p>Produção de alface e cenoura com doses de 0, 33, 66, 100, 133 e 166% de N</p>
---------------------------------------------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------

→ **Capítulo III – Compostos à base de esterco bovino para produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*.**

<p>Esterco bovino</p> <p>Vermicomposto</p> <p>Composto</p> <p>Substrato comercial</p>	<p style="font-size: 2em;">}</p>	<p>Produção de mudas de eucalipto com doses (v/v) de 20, 40, 60, 80 e 100% de fertilizante na composição do substrato</p>
---------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Figura 1 - Esquema do trabalho realizado para avaliar a mineralização de nitrogênio (N), e fósforo (P), a disponibilização de potássio (K); e a produção de alface, cenoura e mudas de eucalipto.

1.4 Referências bibliográficas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil**. p. 30-32, 2010. Disponível em <<http://www.abrelpe.org.br/downloads/Panorama2010.pdf>> Acesso em 30 abr. 2013.

ALI, M. et al. Evaluating the growth characteristics of lettuce in vermicompost and green waste compost. **European Journal of Soil Biology**, v. 43, p. 316-319, 2007.

ANDA - **Associação Nacional para Difusão de Adubos**. 2011. Disponível em <<http://www.anda.org.br/Principais-Indicadores-2010-Det.pdf>> Acesso em 28 de abril de 2013.

ANTONIOLLI, Z. I.; STEFFEN, G. P. K.; STEFFEN, R. B. Utilização de casca de arroz e esterco bovino como substrato Para a multiplicação de *Eisenia fetida* Savigny (1826). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, v. 3, p. 824-830, 2009.

ATIYEH, R. M. et al. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. **Bioresource Technology**, v. 78, p. 11-20, 2001.

BOEIRA, R. C.; MAXIMILIANO, V. C. B. Mineralização de compostos nitrogenados de lodos de esgoto na quinta aplicação em latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 711-722, 2009.

CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n. 21, p. 575-579, 1997.

CAMPOS, A. T. et al. **Tratamento e reciclagem de águas residuárias em sistema intensivo de produção de leite**. Juiz de Fora, Embrapa Gado de Leite, 4p. (Circular Técnica 75), 2003.

CASTILLO, H. et al. Effect of californian red worm (*Eisenia foetida*) on the nutrient dynamics of a mixture of semicomposted materials. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 4171-4178, 2010.

CUNHA, A. M. et al. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 207-214, 2006.

DOMÍNGUEZ, J. State of the art and new perspectives in vermicomposting research. **Earthworm Ecology**. p. 401-425. In: C. A. Edwards (ed). CRC Press. Boca Raton. 2004.

DOMÍNGUEZ, J.; EDWARDS, C. A. Relationships between composting and vermicomposting: relative values of the products. In: Clive A. Edwards, Norman Q. Arancon, Rhonda L. Sherman (Eds.) **Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Waste and Environmental Management**. CRC Press. Boca Raton, Florida. p 11-25, 2011.

DOMÍNGUEZ, J.; LAZCANO, C.; GÓMEZ-BRANDÓN, M. Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. **Acta Zoológica Mexicana**, Cidade do México, Número Especial 2: p. 359-371, 2010.

DOMÍNGUEZ, J.; PEREZ-LOUSADA, M. *Eisenia fetida* (savigny, 1826) y *Eisenia andrei* Bouché, 1972 son dos especies diferentes de Lombrices de tierra. **Acta Zoológica Mexicana**, Cidade do México, Número Especial 2: p. 321-331, 2010.

EDWARDS, C. A. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes. In: EDWARDS, C.A. (Org.). **Earthworm Ecology**. Boca Raton: St. Lucie Press, p. 327-354, 2004.

EPSTEIN, E. The Science of Composting. **Boca Raton, FL: CRC Press**. 1997.

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2007, p. 551-594.

GALBIATTI, J. et al. Formação de mudas de eucalipto com utilização de lixo orgânico e níveis de irrigação calculados por dois métodos. **Engenharia Agrícola**, v. 27 (2), p. 445-455, 2007.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR**. 2003, 106p. Dissertação de Mestrado UFSC.

HOUAISS, A. & VILLAR, M. S. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Objetiva, 1ª edição, Rio de Janeiro, 2009. p. 1651.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/tabelas_pdf/ta_b093.pdf> Acesso em: 28 abr. 2012.

IEVINSH, G. Vermicompost treatment differentially affects seed germination, seedling growth and physiological status of vegetable crop species. **Plant Growth Regulation**, v. 65, p. 169-181, 2011.

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem: Ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, 2009. 156p.

KAMINSKI, J. et al. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1003-1010, 2007.

KAMINSKI, J. et al. Potassium availability in a Hapludalf soil under long term fertilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 783-791, 2010.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KRIEGER, M. G. et al. **Dicionário de direito ambiental: Terminologia das leis do meio ambiente**. Editora Universidade/UFRGS/Procuradoria Geral da República, Porto Alegre/Brasília, p. 313, 1998.

LANDGRAF, M. D. et al. Caracterização de ácidos húmicos de vermicomposto de esterco bovino compostado durante 3 e 6 meses. **Química Nova**, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 483-486, 1999.

LAZCANO, C. GÓMEZ-BRANDÓN, M.; DOMÍNGUEZ, J. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. **Chemosphere** v. 72, 1013 - 1019, 2008

LAZCANO, C. et al. Vermicompost enhances germination of the maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). **New Forests**, v. 39, p. 387-400, 2010.

LUNA, M. L. D. et al. Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n.1, p.113-121, 2009.

MAIA, A. F. C. A.; MEDEIROS, D. C.; FILHO, J. L. Adubação orgânica em diferentes substratos na produção de mudas rúcula. **Revista Verde**, Mossoró, v. 2, n. 2, p. 89-95, 2006.

MANTOVANI, J. R. et al. Mineralização de carbono e de nitrogênio provenientes de composto de lixo urbano em argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 677-684, 2006.

MEDEIROS, D. C. et al. Qualidade de mudas de alface em função de substratos com e sem biofertilizante. **Horticultura Brasileira**, n. 26, p. 186-189, 2008.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 101–110, 2008.

MOORE, A. D. et al. Mineralization of Nitrogen from Biofuel By-products and Animal Manures Amended to a Sandy Soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 41, p. 1315-1326, 2010.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729 p.

NETO, S. E. A. et al. Produção de muda orgânica de pimentão com diferentes substratos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1408-1415, 2009.

OLIVEIRA, R. B. et al. Produção de mudas de essências florestais em diferentes substratos e acompanhamento do desenvolvimento em campo. **Ciência e agrotecnologia**, 32 (1): 122-128, 2008.

POOR, M. R. A.; RAFIEI, M. Germination and early growth of eucalyptus plants in commercial potting substrate amended with different rates of vermicompost. **Global Journal of Medicinal Plant Research**, v. 1(1), p. 22-28, 2013.

RANNO, S. K. et al. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 21-28, 2007.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, 38(2): 576-586, 2008.

RHEINHEIMER, D. S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24: 589-597, 2000.

ROSOLEM, C. A.; VICENTINI, J. P. T. M. M.; STEINER, F. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36:1507-1515, 2012.

SAIDELLES, F. L. F.; REINERT, D. J.; SALET, R. L. Crescimento inicial de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) em três classes de solos, na região central do rio grande do sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 17-25, 2003.

SANTOS, R. H. S. et al. Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 11, p. 1395-1398, 2001.

SCHUMACHER, M. V. et al. Influência do vermicomposto na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 121-130, 2001.

SILVA, E. A. et al. Germinação da semente e produção de mudas de cultivares de alface em diferentes substratos **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 2, p. 245-254, Londrina, 2008.

SINGH, R. et al. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). **Bioresource Technology**, v. 99, p. 8507-8511, 2008.

SOUZA, S. R. et al. Produção de mudas de alface com o uso de substrato preparado com coprólitos de minhoca. **Ciência Agrotécnica**, v. 32, n. 1, p. 115-121, Lavras, 2008.

SURRAGE, V. A et al. Benefits of vermicompost as a constituent of growing substrates used in the production of organic greenhouse tomatoes. **Hortscience**, v. 45(10), p. 1510-1515, 2010.

SRIVASTAVA, P. K. et al. Effects of combined application of vermicompost and mineral fertilizer on the growth of *Allium cepa* L. and soil fertility. **Journal of Plant Nutrition and Soil Sciences**, v. 175, p. 101-107, 2012.

STEFFEN, G. P. K. et al. Utilização de vermicomposto como substrato na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*. **Pesquisa Florestal Brasileira** (Online), v. 31, p. 75-82, 2011.

STEFFEN, G. P. K. et al. Vermicompost de estiércol bovino y de cáscara de arroz carbonizada como sustratos para la producción de plántulas de perrito de corte. **Acta Zoológica Mexicana**, Cidade do México, Número Especial 2: p. 345-357, 2010.

TEDESCO, M. J. et al. Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. **Fundamentos da matéria orgânica no solo – ecossistemas tropicais e subtropicais**. Editora metrópole, p. 113-135, 2008.

TIQUIA, S. M. Microbiological parameters as indicators of compost maturity. **Journal of Applied Microbiology**, 99: p. 816-828, 2005.

VOGEL, H. L. M. et al. Utilização de vermicomposto no crescimento de mudas de *Hovenia dulcis* Thunberg. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 21-27, 2001.

WANG, W. J.; SMITH, C. J. & CHEN, D. Towards a standardized procedure for determining the potentially mineralizable nitrogen of soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 37, p. 362-374, 2003.

YAGI, R. et al. Mineralização potencial e líquida de nitrogênio em solos. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 33, p. 385-394, 2009.

2 IMPACTO DA COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM NA LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO E ÍNDICE DE EFICIÊNCIA DE ESTERCO BOVINO NO SOLO.

2.1 Resumo

A utilização do esterco bovino como fertilizante pode ser viabilizada por processos de compostagem e vermicompostagem. O presente trabalho teve como objetivo avaliar em longo prazo a mineralização/disponibilização e o índice de eficiência (IE) do nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) de cinco fertilizantes orgânicos produzidos a partir de esterco bovino. Foram avaliados os seguintes tratamentos: T1) solo (controle); T2) solo + vermicomposto de esterco bovino (VEB); T3) solo + composto de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP); T4) solo + esterco proveniente da bovinocultura de corte (EBC); T5) solo + esterco proveniente da bovinocultura leiteira (EBL); e T6) solo + vermicomposto produzido em condições de elevada umidade e injeção de ar (VEU); em um experimento de incubação em condições controladas de luz e umidade. As avaliações de mineralização de N e P, e disponibilidade de K no solo foram realizadas após instalação do experimento (tempo 0), e aos 7, 14, 28, 56, 112, 224 e 365 dias. O índice de eficiência dos fertilizantes orgânicos foi calculado a partir dos valores totais de N, P e K adicionados via fertilizantes orgânicos somados à quantidade total de N, P e K presente no solo de cada tratamento. A mineralização do N foi maior na compostagem, a disponibilidade de P foi maior na vermicompostagem, e a disponibilidade do K foi maior com a utilização do esterco oriundo da bovinocultura de corte sem transformação. O IE do N foi favorecido pela compostagem; o IE do P foi favorecido pela vermicompostagem; e o IE do K foi favorecido pela vermicompostagem com elevada umidade e injeção de ar forçado.

Palavras-chaves: Adubação orgânica. Fertilizantes orgânicos.

2.2 Abstract

Cattle manure utilization may be enable by process of composting and vermicomposting that improve nutrient availability. This work aimed to evaluate long-term mineralization/availability and the efficiency index (IE) of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium K from five organic fertilizers produced by cattle manure. Treatments, under controlled light and moisture conditions, were evaluate T1) soil (control); T2) soil + VEB; T3) soil + CEBP; T4) soil + EBC; T5) soil + EBL; T6) soil + VEU. Evaluations of N and P mineralization and K availability from organic fertilizers applied in the soil were done after an incubation experiment (time 0) and at 7, 14, 28, 56, 112 and 365 days. To calculate the IE was add the N, P and K input from organic fertilizers to the total amount previously present in soil. The N mineralization was improve by compost, the availability of P was increase by vermicompost and the K availability was improve by cattle manure “in nature”. The IE of N, P and K was improve by compost, vermicompost and high humidity vermicompost with air injection, respectively.

Key-words: Organic fertilization. Organic fertilizers.

2.3 Introdução

O crescimento populacional e a globalização da economia aumentaram a demanda por alimentos, principalmente aqueles de origem animal (Berre et al., 2014). O Brasil possui o maior rebanho bovino comercial do mundo (IBGE, 2010). Um bovino adulto produz diariamente cerca de 10 kg de esterco (Campos, 2003; Gaspar, 2003), assim, considerando somente os oito milhões de bovinos criados de forma intensiva, a produção diária de esterco alcança 80 mil toneladas. Esta grande quantidade de esterco, normalmente é aplicada diretamente ao solo como fonte de nutrientes às culturas, e principalmente sem consideração de critérios técnicos (Júnior et al., 2014; Ciancio et al., 2014). Nos últimos anos, a gestão de resíduos orgânicos ganhou destaque, principalmente na produção leiteira e carne bovina (Fangueiro et al., 2014). A legislação brasileira, através da lei 12.305/2010, instituiu

a política nacional de resíduos sólidos, dispondo sobre princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relativas à gestão e ao gerenciamento de resíduos orgânicos. De acordo com esta lei, os resíduos gerados nas atividades agropecuárias, entre estes o esterco bovino, devem ser reciclados ou dispostos de forma ambientalmente correta (Brasil, 2010).

A utilização de resíduos orgânicos oriundos da criação de animais é uma alternativa para a fertilização de áreas agrícolas (Komiya et al., 2013), principalmente com o objetivo de reciclar Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) (Silva et al., 2014). Além da correta disposição final do esterco bovino é fundamental buscar alternativas que visam à reciclagem, pois promovem a sustentabilidade produtiva vegetal e animal (Mallarino et al., 2013). Porém, para ser técnica e ambientalmente correta a reciclagem do esterco bovino deve ser precedida por processos de tratamento como a compostagem e a vermicompostagem (Domínguez; Edwards, 2011) que favorecem a mineralização de nutrientes, humificação da matéria orgânica e proporcionam modificações biológicas, físicas e químicas nos estercos, tornando-os produtos estáveis (Manáková et al., 2014). Outra forma de tratamento, porém ainda pouco difundida no Brasil, é a vermicompostagem em ambientes com alta umidade, onde o líquido resultante (*Vermiwash*) é um material biologicamente estabilizado, rico em nutrientes e microrganismos, que pode ser aplicado ao solo, e apresenta grande potencial fertilizante para as plantas (Nath; Singh, 2012).

A eficiência da aplicação de fertilizantes orgânicos depende da capacidade de mineralização do N e do P, e da disponibilidade do K (Pitta et al., 2012). O esterco bovino contém grandes quantidades de N e P nas formas orgânicas, que necessitam ser mineralizados para sua disponibilização às plantas, enquanto que o K encontra-se prontamente disponível (Gonçalves, 2005). Desta forma, o desconhecimento da dinâmica do processo de mineralização implica na super ou subutilização de fertilizante orgânico e pode resultar em desequilíbrio nutricional e prejudicar o desenvolvimento das plantas (Durigon et al., 2014). Além disto, a superdosagem pode provocar a contaminação ambiental pela transferência por escoamento superficial e lixiviação no perfil do solo de N, P e K para águas superficiais e sub-superficiais. (Sharifi et al., 2014).

Conhecer a taxa de mineralização/disponibilização dos nutrientes é fundamental para mensurar as doses e épocas de aplicação dos fertilizantes. Com

isto obtém-se o máximo aproveitamento pelas plantas, uma vez que há sincronismo entre a disponibilidade de nutrientes com a demanda das culturas, além de evitar perdas e causar contaminação ambiental (Sharifi et al., 2014; Paula, 2012).

O índice de eficiência (IE) refere-se à proporção dos nutrientes que será disponibilizado às culturas em relação à quantidade total de nutrientes adicionados pelos fertilizantes orgânicos (CQFS/RS, 2004). A recomendação das doses dos fertilizantes orgânicos como o esterco bovino e seus derivados considera IE com valores fixos. No entanto, estes valores fixos, oriundos principalmente de experimentos de curta duração, podem resultar em equívocos de sub ou superestimação, uma vez que não consideram o potencial de mineralização dos fertilizantes orgânicos. Além disso, a maioria dos trabalhos realizados para avaliar a mineralização de fertilizantes orgânicos no solo é realizada em experimentos de curta duração (por exemplo, Eckhardt et al., 2015; Fioreze et al., 2012; Oliveira et al., 2012), sendo necessário ampliar estudos, com trabalhos de longa duração. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar em longo prazo a mineralização/disponibilização e o índice de eficiência do nitrogênio, do fósforo e do potássio de fertilizantes orgânicos produzidos a partir do esterco bovino.

2.4 Material e métodos

O presente trabalho constou de uma incubação realizada durante 365 dias no Laboratório de Microbiologia do Solo e Ambiente do Departamento de Solos, na Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, RS. O solo utilizado no experimento de incubação foi coletado em uma área de pastagem nativa, na camada 0-10 cm, classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (Embrapa, 2013). O solo foi analisado conforme metodologias descritas por Tedesco (1995) e apresentava as seguintes características: pH em água (1:1) = 5,6; índice SMP = 6,5; saturação por bases = 80,6%; matéria orgânica = 12 g kg⁻¹; N total = 0,13 mg kg⁻¹; N-NH₄⁺ = 1,95 mg kg⁻¹; N-NO₂⁻ + N-NO₃⁻ = 5,83 mg kg⁻¹; argila = 180 g dm⁻³; P (Melich-1) = 18,0 mg dm⁻³; K (Melich-1) = 78,0 mg dm⁻³; H+Al = 2,5 cmol_c dm⁻³; Ca = 6,9 cmol_c dm⁻³ e Mg = 3,3 cmol_c dm⁻³. O solo foi peneirado em malha 4 mm, homogeneizado e armazenado em sacos plásticos a 25^o C, por sete dias, até o início da incubação.

Os fertilizantes orgânicos utilizados na incubação foram produzidos a partir de esterco oriundo do confinamento de bovinos de corte (EBC). Uma parcela do esterco foi misturada à palha de campo nativo e submetida ao processo de compostagem por aeração forçada (injeção de ar na parte inferior da leira, sempre que a temperatura ultrapassava 65°C), durante 75 dias. Outra parcela do esterco foi submetida ao processo de vermicompostagem durante 40 dias pelas minhocas da espécie *Eisenia andrei* Bouché (1972). Estes processos resultaram em dois fertilizantes orgânicos, o composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP) e o vermicomposto de esterco bovino (VEB), respectivamente.

Além destes, foi produzido o vermicomposto com elevada umidade; para isto o esterco bovino foi mantido saturado com água e o processo de vermicompostagem (40 dias) por *E. andrei* foi realizado com injeção contínua de ar forçado (VEU), sendo o chorume coletado. Na incubação, somente foi avaliada a fração sólida deste fertilizante. Avaliou-se também o esterco proveniente da bovinocultura leiteira, sem processo de transformação (EBL). Amostras dos fertilizantes orgânicos foram secas a 65°C e moídas para a realização das análises químicas. Os teores de C e N totais foram determinados em Analisador elementar CHNS (modelo FlashEA 1112, Thermo Finnigan, Milan, Itália). O pH, os teores totais de P, K e os teores de N mineral de N-NH_4^+ e $\text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$ foram determinados conforme Tedesco et al. (1995) (Tabela 1). Os resultados formam expressos em percentagem da matéria seca (MS).

O experimento de incubação em condições controladas (estufas) foi instalado em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Foram avaliados os seguintes tratamentos: T1) solo sem adição de fertilizantes orgânicos (controle); T2) solo + VEB; T3) solo + CEBP; T4) solo + EBC; T5) solo + EBL; e T6) solo + VEU. A umidade do solo e das misturas foi ajustada para 14,5% (umidade gravimétrica). As unidades experimentais foram recipientes de acrílico com 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro, com capacidade de 110 mL. A quantidade de fertilizantes orgânicos adicionado em cada recipiente de acrílico foi de 1,87; 1,97; 1,25; 1,16; e 1,52 g para os tratamentos com VEB, CEBP, EBC, VEU e EBL respectivamente, equivalentes à adição de 100 kg N ha⁻¹. Em cada recipiente de acrílico foi colocado 134 g de solo, com 14,5% de umidade gravimétrica (equivalente a 114,6 g de solo seco a 105°C) em duas etapas. Na primeira, foram adicionadas 67 g de solo úmido e a metade da quantidade dos fertilizantes orgânicos, homogeneizado e compactando-

o até a altura de 2,5 cm do frasco de acrílico. Na segunda, adicionou-se o restante do solo e do fertilizante orgânico, homogeneizado e compactando-o até a altura de 5 cm. Cada recipiente recebeu apenas um dos fertilizantes orgânicos. Desta forma, alcançou-se a densidade de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$. Quatro frascos de acrílico de cada tratamento e sem tampa foram acondicionados em potes de vidro com capacidade de 2.000 mL e tampados. Os potes de vidro foram hermeticamente fechados e acondicionados em câmara incubadora na ausência de luminosidade e condições controladas de temperatura ($25 \pm 1^\circ\text{C}$). Os potes de vidro foram abertos semanalmente por 10 minutos para evitar a deficiência de O_2 , momento em que a umidade do solo foi monitorada por pesagem das unidades experimentais. Quando a perda de peso era maior que 0,5% se procedia adição de água destilada na superfície do solo dos frascos de acrílico.

As avaliações de mineralização do N e P, e disponibilidade de K dos fertilizantes orgânicos das unidades experimentais foram realizadas após a instalação do experimento de incubação (tempo 0), e aos 7, 14, 28, 56, 112, 224 e 365 dias após início da incubação. Em cada tempo de avaliação o solo foi retirado dos frascos de acrílico, homogeneizado para as avaliações químicas. Os teores de amônio (N-NH_4^+) e nitrito (N-NO_2^-) + nitrato (N-NO_3^-), P e K disponíveis (Mehlich-1) foram determinados conforme descrito em Tedesco et al. (1995). Os resultados foram expressos em mg kg^{-1} solo seco.

Com os valores de N-NH_4^+ e $\text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$ foram obtidos os valores de N mineral do solo (N_{min}) (Equação 1):

$$N_{\text{min}} = \text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^- \quad (\text{Equação 1})$$

Os processos de mineralização ou imobilização do N dos fertilizantes orgânicos no solo ao longo do período de incubação foram avaliados através da mineralização líquida de N (N_{liq}) (Equação 2):

$$N_{\text{liq}} = N_{\text{min}} \text{ do solo com fertilizante} - N_{\text{min}} \text{ do solo}_{\text{controle}} \quad (\text{Equação 2})$$

A disponibilização ou imobilização do P e do K dos fertilizantes orgânicos no solo foram avaliadas através da disponibilização líquida de P (P_{liq}) e K (K_{liq}) (Equação 3 e 4, respectivamente):

$$P_{liq} = P_{min} \text{ solo com fertilizante} - P_{min} \text{ do solo}_{controle} \quad (\text{Equação 3})$$

$$K_{liq} = K_{min} \text{ solo com fertilizante} - K_{min} \text{ do solo}_{controle} \quad (\text{Equação 4})$$

A partir dos valores totais de N, P e K (N_{tot} , P_{tot} e K_{tot} , respectivamente) adicionados via fertilizantes orgânicos + quantidade total de N, P e K presentes no solo de cada tratamento foi calculado o IE dos fertilizantes orgânicos (Equações 5, 6 e 7):

$$IE = (N_{min}/N_{tot}) \quad (\text{Equação 5})$$

$$IE = (P_{min}/P_{tot}) \quad (\text{Equação 6})$$

$$IE = (K_{min}/K_{tot}) \quad (\text{Equação 7})$$

Os valores de N e P mineralizados, e K disponibilizado no solo e os IE destes, determinados em cada data de avaliação foram submetidos à análise da variância e quando significativa às médias foram comparadas através do teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade ($P < 0,05$), com o uso do software SISVAR (Ferreira, 2008).

2.5 Resultados e discussão

A caracterização química dos fertilizantes orgânicos utilizados na incubação está descrita na Tabela 1. A concentração dos nutrientes está de acordo com os valores encontrados por Higashikawa et al. (2010); Schulz et al. (2012) na avaliação de fertilizantes orgânicos. Para o teor de nitrogênio total (N_{total}), há similaridade entre fertilizantes orgânicos utilizados no presente estudo. Estes valores provavelmente sejam consequência da utilização do mesmo material de origem, ou seja, esterco proveniente da bovinocultura de corte e de uma única coleta, para produção dos fertilizantes VEB, CEBP, EBC e VEU. No entanto, o fertilizante EBL, para os teores de fósforo e o potássio, apresenta menores valores. Isto pode ser atribuído a sua origem, diferente dos outros fertilizantes. A nutrição de bovinos de corte e bovinos destinados à produção de leite é diferenciada, resultando em esterco também com

composições diferentes. O presente resultado reforça a ideia de que os teores de nutrientes dos fertilizantes orgânicos são dependentes do material de origem (Campitelli; Ceppi, 2008; Gómez-Brándon et al., 2015).

Tabela 1 - Caracterização química inicial dos fertilizantes orgânicos: vermicomposto de esterco bovino (VEB), composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP), esterco proveniente da bovinocultura de corte (EBC), esterco proveniente da bovinocultura leiteira (EBL) e vermicomposto produzido com elevada umidade e injeção de ar forçado (VEU).

Fertilizante	N total ¹	P	K	C total	C/N	pH
	---- % da MS ----					
VEB	1,97	1,45	1,65	22,8	11,5	8,3
CEBP	1,99	2,01	1,97	23,2	11,6	7,0
EBC	2,22	2,49	1,08	30,5	13,7	8,4
EBL	2,25	0,72	0,92	35,1	15,6	7,7
VEU	2,45	2,07	0,97	33,1	13,5	8,2

¹N = Nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; C = Carbono; C/N = Relação C/N; pH = Potencial hidrogeniônico; MS = Matéria seca.

Todos os fertilizantes orgânicos apresentaram pH próximo a neutralidade ou levemente alcalino. Esta característica favorece a utilização destes fertilizantes orgânicos na produção agrícola. A adição de fertilizantes com pH próximo ou acima de 7,0 pode apresentar uma ação corretiva da acidez do solo (Soares et al., 2004), melhorando as condições para o desenvolvimento das plantas, principalmente em solos ácidos, predominantes nas regiões tropicais e subtropicais do Brasil (Nicolodi et al., 2008).

O fertilizante orgânico EBL apresentou os menores teores de P e K, maior teor de C_{total} e conseqüente maior relação C/N (15,6). Os fertilizantes EBC e VEU também apresentaram maior relação C/N. Podemos observar que a relação C/N destes fertilizantes, está condicionada à maior concentração de C_{total}. À medida que

os microrganismos e/ou minhocas consomem o C durante os processos de transformação da matéria orgânica, é liberado o CO₂, e conseqüentemente, diminui a relação C/N do fertilizante orgânico (Aquino et al., 2005). No entanto, durante a bioxidação da matéria orgânica, o C é consumido em maiores quantidades que o N pelos microrganismos envolvidos na decomposição, resultando em materiais com menor relação C/N que o resíduo inicial (Lazcano et al., 2008), tais como os valores apresentados para VEB e CEBP. Este comportamento é evidenciado na concentração de C_{total} e N_{total} dos fertilizantes, apresentados na tabela 1. A maior relação C/N pode indicar uma estabilização parcial do fertilizante EBL. Segundo Dores-Silva et al. (2013), a relação C/N é um dos parâmetros mais utilizados para indicar a estabilização dos fertilizantes orgânicos, considerada ideal quando C/N<20. Os valores das relações C/N de todos os fertilizantes orgânicos estudados estiveram abaixo desse valor, indicando que os mesmos passaram pelo processo de decomposição da matéria orgânica (Kiehl, 2004).

Avaliando o efeito das minhocas sobre a dinâmica de nutrientes do esterco bovino no processo da vermicompostagem por 112 dias e Domínguez e Gómez-Brandón (2013) observaram que a relação C/N diminuiu de 17 no início para 13 ao final da vermicompostagem. Os mesmos autores observaram aumento no teor de N, P e K aos 112 dias, o que indica uma concentração dos nutrientes ao final do processo de vermicompostagem, diferentemente dos resultados encontrados no presente estudo, exceto pelo fertilizante VEU. Este comportamento pode ser explicado pelo curto período de transformação dos nossos fertilizantes. Segundo Lazcano et al. (2008), os processos de vermicompostagem e compostagem, quando desenvolvidos em períodos mais curtos, podem resultar em fertilizantes com pouca ou nenhuma concentração dos nutrientes, em relação ao resíduo antes da transformação.

O fertilizante orgânico CEBP em todo o período de avaliações apresentou mineralização líquida superior de N (valor médio de 51 mg N kg⁻¹ de solo) entre os fertilizantes avaliados (Figura 1a). Os fertilizantes VEB e EBC apresentaram valores intermediários e semelhantes dinâmicas de mineralização líquida de N em todas as datas avaliadas (valor médio de 32 mg N kg⁻¹ de solo). Este resultado indica que para a mineralização de nitrogênio, o tratamento do esterco bovino pela vermicompostagem pode ser repensado, pois a vermicompostagem não apresentou aumento significativo da disponibilidade de N no solo.

No entanto, é necessário considerar a presença de organismos patogênicos no esterco não tratado, que pode causar a contaminação do solo, das águas subsuperficiais e das culturas, especialmente de espécies que tem seu consumo “in natura”. Neste sentido, os processos de vermicompostagem e compostagem, melhoram a sanidade dos materiais, pois reduzem a incidência de microrganismos patogênicos. Ao avaliar a fertilização orgânica de alface com esterco de galinha, esterco bovino, vermicomposto e composto, Abreu et al. (2010) relataram não encontrar contaminação microbiológica (colônias de *Salmonella* sp.) em nenhum dos fertilizantes estudados.

O fertilizante orgânico VEU apresentou reduzida mineralização líquida de N no solo em todas as datas avaliadas (Figura 1a). Segundo Lazcano et al. (2008), os vermicompostos tendem a dificultar a mineralização do nitrogênio. Este comportamento pode ser atribuído à presença de compostos de estrutura mais complexa, resultante após os processos de decomposição.

O fertilizante orgânico EBL apresentou, no período de 14 a 56 dias, forte imobilização de N do solo, especialmente aos 56 dias (-29 mg N kg^{-1} de solo), período que a falta de N no solo pode limitar o desenvolvimento das culturas, principalmente espécies da família de Poaceae. Este resultado deve estar relacionado à decomposição parcial deste fertilizante, evidenciados pela alta relação C/N e pelo alto teor de C_{total} . Ao serem adicionados ao solo, materiais com alta relação C/N tendem a imobilizar uma determinada quantidade de nitrogênio do solo, resultado da utilização do N pelos microrganismos envolvidos na decomposição do material orgânico, resultando em uma baixa mineralização ou ainda na imobilização de nitrogênio do solo (Moreira; Siqueira, 2006).

No período de 56 a 112 dias o EBL apresentou baixa disponibilidade de N no solo demonstrando que o seu uso como fertilizante pode ser inviabilizado para culturas sensíveis à restrição de N. Possivelmente, tal resultado deve-se principalmente maior relação C/N do fertilizante orgânico (Tabela 1) o que favoreceu a imobilização de N pelos microrganismos do solo. Resultados obtidos por Balota et al. (2012), comprovaram que dejetos líquidos de suínos com elevada relação C/N imobilizaram maiores quantidade de N do solo. Resultado obtidos por Redin et al. (2014), porém com resíduos culturais, também demonstraram relação direta de imobilização de N do solo com aumento da relação C/N dos resíduos culturais.

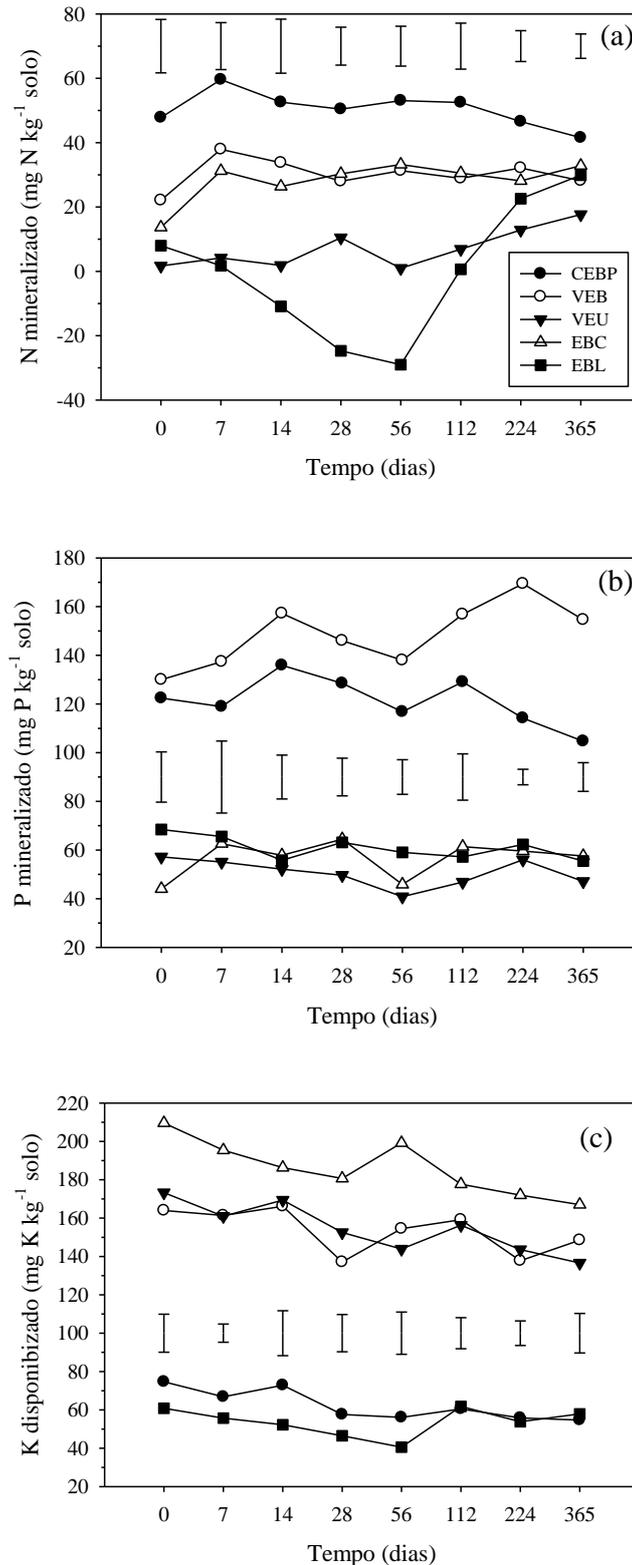


Figura 1 – Mineralização líquida do nitrogênio (a) e disponibilidade de fósforo (b) e potássio (c) dos fertilizantes orgânicos no solo. Valores são a média de quatro repetições. As barras verticais representam a diferença mínima significativa (Scott-Knott, $P < 0,05$).

De maneira geral, o fertilizante orgânico CEBP apresentou os maiores IE do N com valor médio de 0,16 (16%) no período de 365 dias de incubação (Tabela 2). Estes resultados estão de acordo com Oliveira et al. (2012), que estudaram, porém a curto prazo (28 dias), a mineralização do N de 15 compostos orgânicos, entre eles, o esterco bovino e encontraram IE inferiores a 0,15. Desconsiderando o fertilizante orgânico VEU que apresentou IE menor que 0,1 em todas as avaliações, e o EBL que apresentou imobilização de N (14 a 56 dias), a maioria das avaliações dos fertilizantes apresentou IE entre 0,10 e 0,20 no período total de avaliações.

Tabela 2 – Índice de eficiência do nitrogênio dos fertilizantes orgânicos: vermicomposto de esterco bovino (VEB), composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP), esterco proveniente da bovinocultura de corte (EBC), esterco proveniente da bovinocultura leiteira (EBL) e vermicomposto produzido com elevada umidade e injeção de ar forçado (VEU).

Fertilizantes	Índice de eficiência do nitrogênio ¹							
	Dias: 0	7	14	28	56	112	224	365
CEBP	0,16 a*	0,19 a	0,17 a	0,16 a	0,17 a	0,17 a	0,15 a	0,13 a
VEB	0,08 b	0,14 b	0,12 a	0,10 b	0,15 a	0,11 a	0,12 a	0,10 b
VEU	0,01 c	0,02 c	0,01 b	0,05 b	0,01 b	0,03 b	0,06 b	0,08 b
EBC	0,06 b	0,15 b	0,13 a	0,19 a	0,16 a	0,15 a	0,14 a	0,15 a
EBL	0,03 c	0,01 c	-0,04 b	-0,01 c	-0,11 c	0,00 b	0,15 a	0,12 a

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

¹ Valores negativos indicam imobilização de nitrogênio no solo.

Estes resultados são inferiores aos valores de IE disponibilizados pelo Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (CQFS, 2004), que apontam IE de 0,3 para o esterco bovino no solo. Devemos considerar ainda, que a mineralização/disponibilização dos nutrientes, no caso da incubação, é estimada em condições ideais, de temperatura, umidade e luminosidade, ou seja, a

disponibilização dos nutrientes tende a ser menor em condições de campo. Avaliando o índice de eficiência de fertilizantes orgânicos até os 112 dias, Fioreze et al. (2012), também encontraram valores de IE abaixo do que preconiza a CQFS/RS-SC (2004).

A extrapolação deste índice para culturas, principalmente de ciclo curto, ou ainda, para fertilizantes como o EBL, resulta em uma adubação abaixo das necessidades da cultura, disponibilizando menor quantidade do N necessário à nutrição da planta, implicando em menores produtividades e conseqüentemente no desinteresse pela fertilização orgânica e na transformação destes resíduos.

As maiores quantidades de P mineralizado foram observadas com os fertilizantes orgânicos VEB e CEBP (Figura 1b). O fertilizante VEB em todas as datas avaliadas apresentou as maiores disponibilidades de P (valor médio de 149 mg P kg⁻¹ de solo), embora este fertilizante não apresente o maior teor inicial de P entre os fertilizantes orgânicos avaliados (Tabela 1). Os tratamentos EBL e EBC, que não foram submetidos aos processos de compostagem ou vermicompostagem, apresentaram as menores disponibilidades de P no solo. Estes resultados são similares aos encontrados por Dores-Silva et al. (2013) que compararam a eficiência dos processos de compostagem e da vermicompostagem na estabilização de fertilizantes orgânicos, onde estes processos, principalmente a vermicompostagem, elevaram os teores de P, devido à decomposição da matéria orgânica dos fertilizantes. No entanto, o mesmo não foi observado para o fertilizante VEU, produzido em um processo diferenciado de vermicompostagem. Esta dinâmica de liberação de P também foi observada por Lazcano et al. (2008) que encontrou nos vermicompostos uma disponibilização de fósforo gradual, resultado de uma correlação negativa entre o teor de fósforo disponível e a atividade de fosfatases.

A estabilidade dos compostos fosfatados depende de sua natureza e da interação com a fração mineral, pois são utilizados como fonte de energia e elétrons pelos microrganismos, resultando na sua mineralização e disponibilização (Rheinheimer et al., 2008). A maior mineralização de fósforo ocorreu no período inicial de incubação. Para os fertilizantes CEBP, VEU e EBL a maior mineralização ocorreu no tempo 0; para o fertilizante VEB a maior mineralização ocorreu aos 14 dias; enquanto que para o fertilizante EBC a maior mineralização ocorreu aos 28 dias (Figura 1b). Esta dinâmica pode ser resultado da associação do fósforo com partículas minerais do solo, diminuindo a disponibilidade do fósforo ao passar do

tempo. Segundo Ranno et al. (2007), após a adição do fósforo ao solo, ocorre a transferência de fósforo da solução do solo para a fase sólida, onde parte deste elemento fica adsorvido especificamente a óxidos de ferro e de alumínio, ficando indisponível às culturas.

O fertilizante orgânico VEB apresentou os maiores IE de P com valor médio de 0,57 (57%) durante os 365 dias de avaliações (Tabela 3). O teor inicial intermediário de P (Tabela 1) e a maior disponibilidade de P no solo durante a incubação (Figura 1b) promoveu o incremento do IE para esse nutriente no solo. O fertilizante CEBP, embora com alta quantidade de P disponibilizado no solo apresentou os menores valores de IE (0,29 a 0,39). Os fertilizantes VEU, EBL e EBC apresentaram IE médio de 0,52, 0,49 e 0,48, respectivamente. Segundo o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (CQFS, 2004), o esterco bovino deveria apresentar IE do P de 0,8 (80%), não encontrado por nenhum dos fertilizantes estudados, mesmo em condições ótimas ao desenvolvimento microbiano do presente estudo. Estes baixos índices de eficiência observados, podem resultar em estresse nutricional, principalmente em culturas mais suscetíveis ou exigentes em P disponível no solo.

A disponibilidade de K pelos fertilizantes orgânicos apresentou dois grupos distintos (Figura 1c). O primeiro, com as maiores disponibilidades de K (valores superiores a 137 mg K kg^{-1} de solo) foi observado com os tratamentos EBC, VEU e VEB, e entre estes o tratamento EBC apresentou valores superiores a 167 mg K kg^{-1} de solo. A disponibilização de K pelos vermicompostos (VEB e VEU), embora seja maior no início do período avaliado, se mantém com valores próximos destes, até o final da avaliação. Esta dinâmica também foi observada por Sinha et al. (2010), que verificou que a liberação de potássio em vermicompostos tem ação prolongada.

Por outro lado, os tratamentos CEBP e EBL apresentaram em todo o período avaliado as menores quantidades de K disponível no solo, diferindo estatisticamente do primeiro grupo de fertilizantes com maiores disponibilidades de K. Para o EBL este resultado está relacionado ao menor conteúdo inicial de K (Tabela 1). Os resultados deste estudo indicam que para obter uma maior disponibilidade de K no solo, o esterco proveniente da bovinocultura de corte deve ser utilizado sem processos de transformação, uma vez que o CEBP apresenta maior teor de K e menor índice de eficiência entre os fertilizantes avaliados neste estudo (Tabela 4).

Esta relação pode ser confirmada ao avaliarmos o EBC que tem uma concentração intermediária de K (Tabela 1) e a maior disponibilização de potássio (Figura 1c).

Tabela 3 – Índice de eficiência do fósforo dos fertilizantes orgânicos: vermicomposto de esterco bovino (VEB), composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP), esterco proveniente da bovinocultura de corte (EBC), esterco proveniente da bovinocultura leiteira (EBL) e vermicomposto produzido com elevada umidade e injeção de ar forçado (VEU).

Fertilizantes	Índice de eficiência do fósforo							
	Dias: 0	7	14	28	56	112	224	365
CEBP	0,39 c*	0,33 b	0,38 d	0,35 c	0,34 c	0,36 c	0,32 c	0,29 b
VEB	0,49 b	0,55 a	0,62 a	0,61 a	0,53 a	0,56 a	0,62 a	0,54 a
VEU	0,58 a	0,55 a	0,53 b	0,50 b	0,44 b	0,48 b	0,57 a	0,48 a
EBC	0,42 c	0,52 a	0,49 c	0,54 b	0,40 b	0,52 a	0,50 b	0,48 a
EBL	0,55 a	0,52 a	0,47 c	0,50 b	0,49 a	0,46 b	0,50 b	0,45 a

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

No solo os teores de potássio (K) são dependentes da presença de minerais primários e secundários, da capacidade de troca de cátions, da ciclagem de nutrientes das culturas e da aplicação recente de fertilizantes (Rosolem et al., 2012). Neste sentido, a maior disponibilização de potássio ocorreu no período inicial de incubação. Para os fertilizantes CEBP, VEU, EBC e EBL a maior disponibilização ocorreu no tempo 0; enquanto que para o fertilizante VEB a maior disponibilização ocorreu aos 14 dias, com valores muito próximos aos encontrados no tempo 0 e aos 7 dias (Figura 1c). Estes resultados estão associados à concentração de potássio na solução do solo, que normalmente é baixa, mesmo em solos fertilizados, e tende a esgotar-se em poucos dias (Ernani et al., 2007). Para suprir a necessidade de potássio, a utilização destes fertilizantes orgânicos, deve priorizar sua adição

próxima ao período de cultivo, assim como deve ser realizada para fertilizantes de origem inorgânica, (Kaminski et al., 2007).

Tabela 4 – Índice de eficiência do potássio dos fertilizantes orgânicos: vermicomposto de esterco bovino (VEB), composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP), esterco proveniente da bovinocultura de corte (EBC), esterco proveniente da bovinocultura leiteira (EBL) e vermicomposto produzido com elevada umidade e injeção de ar forçado (VEU).

Fertilizantes orgânicos	Índice de eficiência do potássio							
	Dias: 0	7	14	28	56	112	224	365
CEBP	0,20 c*	0,18 d	0,17 c	0,16 d	0,16 c	0,18 c	0,15 c	0,16 b
VEB	0,68 b	0,68 b	0,70 b	0,63 b	0,69 a	0,67 b	0,58 b	0,64 a
VEU	0,82 a	0,82 a	0,81 a	0,72 a	0,73 a	0,79 a	0,68 a	0,65 a
EBC	0,78 a	0,70 b	0,72 b	0,65 b	0,76 a	0,65 b	0,62 a	0,64 a
EBL	0,62 b	0,57 c	0,50 d	0,47 c	0,45 b	0,64 b	0,55 b	0,60 a

* Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$).

Em relação ao IE do potássio, os melhores resultados foram encontrados no fertilizante orgânico VEU com valores de 0,65 (65%) a 0,82 (82%) (Tabela 4). Por outro lado, o fertilizante CEBP apresentou em todas as datas avaliadas os menores IE com valores de 0,15 (15%) a 0,20 (20%). O fertilizante VEU apresenta o segundo menor teor inicial de K entre os fertilizantes estudados (Tabela 1). No presente estudo era esperado um índice de eficiência próximo de 100%, para todos os fertilizantes estudados, uma vez que o potássio representa um sal de alta solubilidade e não associa em complexos orgânicos (Gonçalves, 2005). Por outro lado, comparando a mineralização do nitrogênio e do fósforo e a disponibilização do potássio, o potássio apresentou os índices mais representativos, entre 0,45 e 0,82 para o VEB, VEU, EBC e EBL (Tabela 4). O Manual de Adubação e Calagem para os Estados do RS e SC (CQFS, 2004) indica que o esterco bovino e seus

fertilizantes derivados, deveriam disponibilizar todo o K (1,0). Os baixos índices de eficiência, principalmente para o fertilizante CEBP, podem resultar em deficiência de potássio, principalmente em culturas mais exigentes de disponibilidade de K no solo, conforme também discutido para o fósforo.

2.6 Conclusões

A mineralização do nitrogênio no solo, e o índice de eficiência do nitrogênio são aumentados pela compostagem do esterco bovino.

A mineralização do fósforo no solo e o índice de eficiência do fósforo são favorecidos pela vermicompostagem.

A disponibilidade do potássio no solo é beneficiada pela utilização do esterco oriundo da bovinocultura de corte sem transformação; enquanto que o índice de eficiência do potássio é favorecido pela vermicompostagem com elevada umidade e injeção de ar.

2.7 Referências bibliográficas

ABREU, I. M. O. et al. Qualidade microbiológica e produtividade de alface sob adubação química e orgânica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 30 (1), p. 108-118, 2010.

AQUINO, A. M. et al. Biomassa microbiana, colóides orgânicos e nitrogênio inorgânico durante a vermicompostagem de diferentes substratos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p.1087-1093, 2005.

BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; MATOS, M. A. Soil microbial biomass under different tillage and levels of applied pig slurry. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 487–495, 2012.

BERRE, D. et al. Finding the right compromise between productivity and environmental efficiency on high input tropical dairy farms: A case study. **Journal of Environmental Management**, v. 146, p. 235-244, 2014.

BOUCHÉ, M. B. Lombriciens de France. *Écologie et Systématique*. I. N. R. A. **Publ. Ann. Zool. Ecol. Anim.** (no hors-serie) v. 72(2), 671p. 1972.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de Agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União 2010; 3 ago. [acessado 2011 dez 15].

CAMPOS, A. T. et al. **Tratamento e reciclagem de águas residuárias em sistema intensivo de produção de leite**. Juiz de Fora, Embrapa Gado de Leite, 4p. (Circular Técnica 75), 2003.

CIANCIO, N. R. et al. Crop response to organic fertilization with supplementary mineral nitrogen. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 912-922, 2014.

Comissão de química e fertilidade do solo - CQFSRS/SC. **Manual de recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 394 p.

CAMPITELLI, P.; CEPPI, S. Chemical, physical and biological compost and vermicompost characterization: A chemometric study. **Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, v. 90, p. 64-71, 2008.

DOMÍNGUEZ, J.; GÓMEZ-BRANDÓN, M. The influence of earthworms on nutrient dynamics during the process of vermicomposting. **Waste Management & Research**, v. 31, p. 859-868, 2013.

DOMÍNGUEZ, J.; EDWARDS, C. A. Relationships between composting and vermicomposting: relative values of the products. In: Clive A. Edwards, Norman Q. Arancon, Rhonda L. Sherman (Eds.) **Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Waste and Environmental Management**. CRC Press. Boca Raton, Florida. p 11-25, 2011.

DORES-SILVA, P. R. et al. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química Nova**, v. 36, n. 5, 2013.

DURIGON, M. R. et al. Adubações orgânicas e mineral e controle biológico sobre a incidência de podridões de colmo e produtividade de milho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1249-1256, 2014.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353 p.

ECKHARDT et al., Mineralização e índice de eficiência do nitrogênio de fertilizantes de esterco bovino no solo. **Revista Ciência Rural**, 2015 (in press).

ERNANI, P.R.; ALMEIDA, J.A.; SANTOS, F.C. Potássio. In: NOVAIS, R.F. et al. (Eds.) **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2007, p. 551-594.

FANGUEIRO, D. et al. Impact of slurry management strategies on potential leaching of nutrients and pathogens in a sandy soil amended with cattle slurry. **Journal of Environmental Management**, v. 146, p. 198-205, 2014.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.

FIOREZE, C. et al. Liberação do N em solos de diferentes texturas com ou sem adubos orgânicos. **Ciência Rural**, v. 42, p. 1187-1192, 2012.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR**. 2003, 106p. Dissertação de Mestrado UFSC.

GONÇALVES, M. S. **Gestão de resíduos orgânicos**. Porto, Portugal: Editora Principia, 2005, 104 p.

GÓMEZ-BRANDÓN, M. et al. Effects of Compost and Vermicompost Teas as Organic Fertilizers. In: S. Sinha & K. Pant (Eds.) "**Fertilizer Technology**", v. 1: Synthesis". Studium Press LLC, Houston, Texas, p. 301-318, 2015.

HIGASHIKAWA, F. S. et al. Chemical and physical properties of organic residues. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.1743-1752, 2010.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/tabela_s_pdf/ta_b093.pdf> Acesso em: 15 de julho de 2015.

JÚNIOR, C. L. et al. Potencial de aproveitamento energético de fontes de biomassa no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 2, p. 207-221, 2014.

KAMINSKI, J. et al. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1003-1010, 2007.

KIEHL, E. J. Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. 4ª ed. E. J. Kiehl. Piracicaba, 2004, 173 p.

KOMIYAMA, T.; KOBAYASHI, A.; YAHAG, M. The chemical characteristics of ashes from cattle, swine and poultry manure. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 15, p. 106-110, 2013.

LAZCANO, C.; GÓMEZ-BRANDÓN, M.; DOMÍNGUEZ, J. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. **Chemosphere**, v. 72, p. 1013–1019, 2008.

MALLARINO, A. P. HAQ, M. U. I. Crop Availability of Phosphorus in Beef Cattle Manure for Corn and Soybean (2013). **Iowa State Research Farm Progress Reports**. Paper 2060.

MANÁKOVA, B. et al. Effects of combined composting and vermicomposting of wastewaters on arsenic fate and bioavailability. **Journal of Hazardous Materials**, v. 280, p. 544-551, 2014.

NATH, G.; SINGH, K. Effect of vermiwash of different vermicomposts on the kharif crops. **Journal of Central European Agriculture**, v. 1, p. 379-402, 2012.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729 p.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Indicadores da acidez do solo para recomendação de calagem no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 237-247, 2008.

OLIVEIRA, L. B. et al. Parâmetros indicadores do potencial de mineralização do nitrogênio de compostos orgânicos. **Idesia**, v. 30, p. 65-73, 2012.

PAULA, J. R. **Mineralização de resíduos orgânicos no solo em condição de campo**. 2012, 90f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

PITTA, C.S.R. et al. Year-round poultry litter decomposition and N, P, K and Ca release. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1043-1053, 2012.

RANNO, S. K. et al. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de várzea do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31: 21-28, 2007.

REDIN, M. et al. How the chemical composition and heterogeneity of crop residue mixtures decomposing at the soil surface affects C and N mineralization. **Soil Biology Biochemistry**, v. 78, p. 65-75, 2014.

RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, 38(2): 576-586, 2008.

ROSOLEM, C. A.; VICENTINI, J. P. T. M. M.; STEINER, F. Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36:1507-1515, 2012.

SCHULZ, D. G. et al. Initial growth of physicnut as a function of sources and doses of organic fertilizers. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, p. 615-623, 2012.

SHARIFI, M. et al. Soil nitrogen mineralization in a soil with long-term history of fresh and composted manure containing straw or wood-chip bedding, v. 99, p. 63-78, 2014.

SINHA, R. K. et al. The wonders of earthworms & its vermicompost in farm production: Charles Darwin's 'friends of farmers', with potential to replace destructive chemical fertilizers from agriculture. **Agricultural Sciences**, v. 1, p. 76-94, 2010.

SILVA, V. B. et al. Decomposição e liberação de N, P e K de esterco bovino e de cama de frango isolados ou misturados. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 38, p. 1537-1546, 2014.

SOARES, J. P.; SOUZA, J. A.; CAVALHEIRO, E. T. G. Caracterização de amostras comerciais de vermicomposto de esterco bovino e avaliação da influência do pH e

do tempo na adsorção de Co(II), Zn(II) and Cu(II). **Quimica Nova**, v. 27, p. 5-9, 2004.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

3 UTILIZAÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS NA PRODUÇÃO DE PLANTAS DE *Lactuca sativa* L. E *Daucus carota* L. EM CONDIÇÕES DE CAMPO.

3.1 Resumo

A alface (*Lactuca sativa* L.) e a cenoura (*Daucus carota* L.) são duas das hortaliças mais consumidas no mundo. A produção destas hortaliças pode ser favorecida com a adição de fertilizantes minerais e/ou orgânicos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de fertilizantes orgânicos produzidos a partir do esterco bovino na produção de alface e cenoura. O experimento foi realizado em condições de campo, em duas etapas. Na primeira etapa, a produção de alface, os tratamentos constituíram-se de quatro fertilizantes: vermicomposto de esterco bovino (VEB), composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP), esterco bovino (EB), e fertilização mineral (ureia); utilizou-se as doses de 0, 33, 66, 100, 133 e 166% do nitrogênio (N) recomendado para a cultura da alface. Avaliou-se a produção de massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), número de folhas totais (NFT), número de folhas comercializáveis (NFC) e índice Soil Plant Analysis Development (SPAD), 35 dias após transplante das mudas. A segunda etapa, a produção de cenoura, foi realizada com os mesmos canteiros, após a colheita da alface. Nesta etapa avaliou-se o efeito residual dos fertilizantes orgânicos, adicionados na primeira etapa do experimento. Avaliou-se a produção da massa fresca da raiz (MFR), comprimento da raiz (CR) e diâmetro da raiz (DR), aos 120 dias após a semeadura. A utilização de vermicomposto de esterco bovino favorece o acúmulo de MFPA, MSPA, NFT, NFC e índice SPAD da alface; e o acúmulo de MFR, CR e DR da cenoura. Assim, recomenda-se que o esterco bovino seja transformado pelo processo de vermicompostagem para utilização no cultivo da alface e cenoura.

Palavras-chave: Composto. Vermicomposto. Esterco bovino.

3.2 Abstract

Lettuce and carrot are two of the most consumed vegetables of the world. The production of these vegetables may be improved by the addition of mineral and/or organic fertilizers. The aim of the work was to evaluate the effect of organic fertilizers produced with cattle manure on these plants. The experiment was conducted in two stages. At the first, the lettuce production, treatments are VEB, CEBP, EB and urea wherein was applied 0, 33, 66, 100, 133 and 166% of N recommended to this growth. Evaluations of green matter (MFPA), dry matter (MSPA), total number of leaves (NFT), number of marketable leaves (NFC) and Soil Plant Analysis Development index (SPAD) were measured 35 days after seedling transplanting. The second stage consisted of growing carrot in the same substrate after lettuce harvest. At this stage was measured the residual effect of organic fertilizers added at the first stage. At 120 days after seeding was evaluated the weight of fresh root (MFR), root length (CR) and root diameter (DR). Vermicompost of cattle manure promotes increases on MFPA, MSPA, NFT, NFC e SPAD index of lettuce. Vermicompost of cattle manure also improves increment of MFR, length and diameter of carrot roots. Therefore, it is strongly recommended to transform cattle manure into vermicompost to fertilize growths of lettuce and carrot.

Key-words: Compost. Vermicompost. Cattle manure.

3.3 Introdução

A alface e a cenoura são duas das hortaliças mais consumidas no mundo (Ma et al., 2013; Franco et al., 2015). Para a produção destas hortaliças, diversos fatores devem ser observados, entre estes a produção de mudas de qualidade, o manejo de pragas e doenças, o controle de plantas espontâneas, a rotação de olerícolas e a fertilização do solo (Sediyama et al., 2014). Para a fertilização do solo, é recomendável a busca por alternativas aos fertilizantes minerais convencionais, de alto custo e de fontes escassas. A utilização de fertilizantes orgânicos resulta em benefícios econômicos aos produtores, que podem reutilizar/reciclar um resíduo, substituindo o

uso de minerais (Lima et al., 2014), contribuindo ainda para a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo (Lemos et al., 2014).

Os materiais mais utilizados para a produção de substratos orgânicos são os esterco, os compostos orgânicos e os vermicompostos (Finatto et al., 2013). A compostagem é uma forma tradicional de tratamento de resíduos orgânicos e uma alternativa eficaz para potencialização da reciclagem do esterco antes de sua aplicação no solo, onde a decomposição da matéria orgânica é realizada por microrganismos termófilos (Liu et al., 2015). A vermicompostagem envolve a passagem do resíduo orgânico pelo trato digestivo das minhocas detritívoras, modificando as características microbiológicas, físicas e químicas do resíduo (Chatterjee et al., 2014).

A utilização do composto orgânico pode aumentar a biomassa da cenoura e da alface em relação à fertilização mineral, devido à melhoria nas características do solo (Cao et al., 2004). A adição do vermicomposto de esterco bovino favoreceu a produção de matéria seca das folhas em plantas comerciais de alface em um experimento realizado por (Castoldi et al., 2014). Para o cultivo da cenoura, Chatterjee et al. (2014), obtiveram maior desenvolvimento das plantas após aplicação de vermicomposto de esterco bovino, resultando na redução do período entre o transplante e a maturidade. Já Peixoto-Filho et al. (2013), verificaram que a adição de esterco de frango, esterco bovino e esterco ovino sem tratamento prévio foi suficiente para obter maior produtividade em alface no primeiro e segundo cultivos.

A adição de fertilizantes orgânicos no solo contribui para o melhor desenvolvimento de plantas, no entanto é difícil estabelecer doses que resultem maior produtividade para cada espécie vegetal e tipo de solo. No cultivo de alface, de acordo com a recomendação de nitrogênio para determinadas densidades de plantas, Oliveira et al. (2014), encontraram maior produção de biomassa de planta com a dose de 111 kg de N ha⁻¹, independente do tipo de fertilizante orgânico. Por outro lado, avaliando a produção de alface em casa de vegetação, Vêras et al. (2014) verificaram que a proporção de 50% solo + 50% vermicomposto proporcionaram melhores resultados em relação a produção de área foliar. Porém, Costa et al. (2006), observaram que as doses de vermicomposto e esterco bovino aplicadas na fertilização de rabanete pouco alteraram o desenvolvimento das

plantas ocasionando falta de resposta sobre a produtividade total e comercial, independente da dosagem utilizada.

A adição de fertilizantes orgânicos eleva os teores de cálcio, magnésio, sódio, potássio, fósforo, o pH, a capacidade de troca de cátions, a condutividade elétrica e a matéria orgânica no solo (Oliveira et al., 2015). No entanto, a baixa concentração de alguns nutrientes, torna necessária a adição de grandes quantidades de fertilizante orgânico para suprir as exigências das culturas, podendo resultar em super dosagem de alguns nutrientes, disponíveis em maior quantidade, resultando na contaminação do ambiente (Pimentel et al., 2009). A adição de altas doses de fertilizantes em solos com baixa capacidade de troca de cátions provoca lixiviação de nutrientes, e consequente contaminação do solo e da água. O tipo de fertilizante (composto, vermicomposto, entre outros) também influencia o estabelecimento das doses, pois tem diferentes concentrações de nutrientes e podem provocar a perda de nutrientes por lixiviação (Nest et al., 2014). No entanto, é importante relacionar diferentes fertilizantes orgânicos produzidos a partir de um determinado resíduo e doses para o melhor desenvolvimento de hortaliças. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de três fertilizantes orgânicos produzidos a partir do esterco bovino na produção de plantas de alface (*Lactuca sativa* L.) e cenoura (*Daucus carota* L.).

3.4 Material e métodos

O experimento foi realizado em condições de campo, em duas etapas. A primeira etapa, a produção de plantas de alface cultivar Ceres, em um delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 6, com 12 repetições. Os tratamentos constituíram-se de quatro fertilizantes: vermicomposto de esterco bovino (VEB), composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP), esterco bovino (EB), e fertilização mineral (MIN); todos estes nas doses de 33, 66, 100, 133 e 166% do nitrogênio recomendado para a cultura da alface, para as condições do solo utilizado neste estudo. A dose de nitrogênio recomendada, ou seja, 100% da dose de N (150 quilogramas N ha⁻¹) foi calculada conforme o Manual de Adubação e Calagem (CQFS, 2004). O tratamento sem adição de fertilizantes

orgânicos e minerais (0%) foi considerado como tratamento controle. A segunda etapa, a produção de cenoura cultivar Nantes, foi realizada em um delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 6, com 25 repetições. A semeadura da cenoura foi realizada nos mesmos canteiros, após a colheita da alface. Nesta etapa foi avaliado o efeito residual dos fertilizantes orgânicos, adicionados na primeira etapa do experimento. Apenas os tratamentos com fertilização mineral receberam a adição de nitrogênio (33, 66, 100, 133 e 166%) conforme recomendação (100 kg ha⁻¹), estabelecida pela CQFS (2004) parcelados em duas vezes (aos 14 e 56 dias).

O experimento foi implantado na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria, RS. Para a produção de alface, cada unidade experimental foi constituída por uma única planta. Os canteiros para instalação da alface foram estabelecidos com 1,2m x 7,2 m e as plantas dispostas com espaçamento de 0,3 x 0,25 m (entre plantas e entre linhas, respectivamente), resultando em uma população de 12 plantas m⁻². Na segunda etapa, a produção de cenoura, os canteiros anteriormente estabelecidos foram mantidos e as plantas foram dispostas com espaçamento de 0,10 x 0,25 m (entre plantas e entre linhas, respectivamente), resultando em uma população de 30 plantas por m⁻². Após raleio restaram 25 plantas m⁻². O solo onde o experimento foi instalado é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico (Unidade de Mapeamento São Pedro) (EMBRAPA 2013), onde foram adicionados os fertilizantes nas doses acima descritas e homogeneizados com a camada superficial do solo (0-5 cm). Este solo apresenta as seguintes características: pH em água (1:1) 5,2; Índice SMP 6,3; Saturação por bases 63,1%; matéria orgânica 18 g kg⁻¹; Argila 140 g dm⁻³; P (Melich-1) 17,1 mg dm⁻³; K (Melich-1) 92 mg dm⁻³; H+Al 3,1 cmol_c dm⁻³; Ca trocável 3,6 cmol_c dm⁻³; Mg trocável 1,5 cmol_c dm⁻³. Calcário, fertilizantes fosfatados, potássicos ou outros não foram utilizados (à exceção do N nos tratamentos com fertilização mineral), uma vez que o solo apresentava adequado pH e os nutrientes disponíveis no solo eram suficientes para suprir a demanda da cultura, conforme o Manual de Adubação e Calagem (CQFS, 2004).

O esterco bovino utilizado para produção dos fertilizantes orgânicos foi coletado em um confinamento de bovinos de corte, onde havia a mistura de fezes e urina dos animais. Este material foi denominado esterco bovino (EB). O composto foi produzido através da mistura do esterco bovino e de pastagem nativa, sendo submetida à compostagem por aeração forçada por 75 dias e denominado de

composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP). O vermicomposto foi produzido através do processo de vermicompostagem de esterco bovino, pelas minhocas *Eisenia andrei* (Bouché, 1972) por 40 dias e denominado de vermicomposto de esterco bovino (VEB). Posteriormente, estes fertilizantes foram secos a 65°C e moídos. Nos fertilizantes orgânicos foram determinados os teores de carbono (C), nitrogênio total (N_{total}), fósforo (P), potássio (K) e matéria orgânica (M.O) segundo EMBRAPA (1997). Os valores de pH foram determinados em solução (1:1) de água e solo (Tabela 1). Os resultados foram expressos em percentagem da matéria seca (MS).

Cada unidade experimental recebeu uma muda de alface com idade de 28 dias após a emergência, produzidas a partir do substrato formado por CEBP 100% (conforme Eckhardt, 2011). No período entre o transplante e a coleta, a irrigação da cultura foi realizada de forma manual, sendo calculada em função dos dados de evapotranspiração de referência, a precipitação e o coeficiente de cultivo da alface.

Para a alface, foram realizadas avaliações quanto à produção da massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), número de folhas totais (NFT), número de folhas comercializáveis (NFC), conforme Santi et al. (2013); e índice Soil Plant Analysis Development (SPAD), seccionando-se as mudas e as plantas à altura do solo. O índice SPAD avalia a intensidade da cor verde da folha. Esta intensidade é altamente correlacionada com o teor de clorofila da folha, identificando deficiência, toxidez ou a concentração de N da folha (Pôrto et al., 2014; Gil et al., 2002). Coletou-se 12 mudas por tratamento, 35 dias após a emergência (DAE).

As determinações de NFT, NFC e de índice SPAD foram realizadas durante a colheita. Após a colheita foi realizada a avaliação da MFPA, onde as plantas foram seccionadas à altura do solo. A parte aérea das plantas foi acondicionada, separadamente, em embalagens de papel, identificada e levada para estufa com ventilação forçada e temperatura de 65°C, até peso constante, para posterior avaliação da MSPA.

Para a segunda etapa do experimento, a semeadura da cenoura foi realizada de forma manual. No período entre a semeadura e a colheita, a irrigação foi realizada de forma manual, sendo calculada em função dos dados de evapotranspiração de referência, a precipitação e o coeficiente de cultivo da cenoura. Foram realizadas avaliações quanto à produção da massa fresca da raiz

(MFR), comprimento da raiz (CR) e diâmetro da raiz (DR) aos 120 dias após a semeadura. Os dados obtidos nas avaliações, das duas etapas, foram submetidos à análise de variância, sendo as médias do fator fertilizante comparadas pelo teste de Scott-Knott e, as do fator dose de fertilizante por análise de regressão, com o uso do software SISVAR (Ferreira, 2008).

3.5 Resultados e discussão

A concentração de nutrientes dos fertilizantes orgânicos (VEB, CEBP e EB) utilizados na composição dos substratos, para produção de alface e cenoura variaram de 17,8 a 21,9 g kg⁻¹ de nitrogênio (N); 8,4 a 9,7g kg⁻¹ de fósforo (P); e 5,8 a 13,8g kg⁻¹ de potássio (K) (Tabela 1). Avaliando a calagem de solos para o cultivo sucessivo de alface e cenoura, Trani et al. (2006) encontraram as maiores produtividades com pH do solo entre 5,6 e 5,7, e saturação por bases (V%) entre 73 a 80%. Nas nossas condições de solo, foram alcançadas produtividades semelhantes, mesmo com menores valores de pH e saturação por bases (V%), de 52 e 63%, respectivamente.

Tabela 1 - Caracterização química do vermicomposto de esterco bovino (VEB), composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP) e esterco bovino (EB), utilizados para a fertilização do solo nos cultivos de alface e cenoura.

Fertilizante orgânico	N _{total}	P	K	C	C/N	pH
	----- (% da MS) -----					
VEB	2,00	0,84	0,72	25,6	12,8	8,3
CEBP	2,19	0,97	1,38	23,2	10,6	7,0
EB	1,78	0,86	0,58	31,3	17,6	8,4

¹N = Nitrogênio; P = Fósforo; K = Potássio; C = Carbono; C/N = Relação C/N; pH = Potencial hidrogeniônico; MS = Matéria seca.

3.5.1 Alface

Durante todo o ciclo da cultura da alface, não foi observado sintoma de deficiência nutricional (fósforo, potássio, entre outros), em nenhum dos tratamentos, conforme descrição de Tischer e Siqueira Neto (2012). Avaliando a omissão de macronutrientes no crescimento desta hortaliça, Almeida et al. (2011), concluíram que o nitrogênio é o macronutriente que causa maior limitação na produção da alface, resultando em plantas com decréscimo na altura, na área foliar, no número de folhas, na medida indireta de clorofila (SPAD) e na matéria seca.

Para a produção de massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), número de folhas totais (NFT), número de folhas comercializáveis (NFC) e índice SPAD, observou-se que a interação entre fontes e doses de nitrogênio foi significativa ($P > 0,05$). No estudo de regressão das doses dentro de cada fonte de nitrogênio (Figura 1), estabeleceram-se modelos quadráticos.

Para a MFPA o maior acúmulo foi encontrado com a dosagem de N de 166% para o VEB e para o EB (Figura 1a). Este resultado pode estar associado ao maior fornecimento de nutrientes, uma vez que a dose de 166% fornece a maior concentração de nutrientes, para cada um dos fertilizantes. Para o fertilizante CEBP houve incremento de produção com o aumento da dose de N até a dosagem de 125%, onde a partir desta houve queda de produtividade (Figura 1a). Este resultado pode estar relacionado à maior concentração dos nutrientes N, P e K, essenciais para a nutrição de plantas (Fontes, 2014) presentes no fertilizante CEBP (Tabela 1). A produção de MFPA com utilização da fertilização mineral apresentou incremento de produção até a dose de 65%, apresentando queda de produtividade a partir desta dose (Figura 1a). Estes resultados demonstram que a MFPA tem incremento de produção com doses de N inferiores às recomendadas. As equações encontradas para os fertilizantes orgânicos VEB e o EB sugerem que uma maior adição de N, acima de 166%, pode resultar em um maior acúmulo de MFPA.

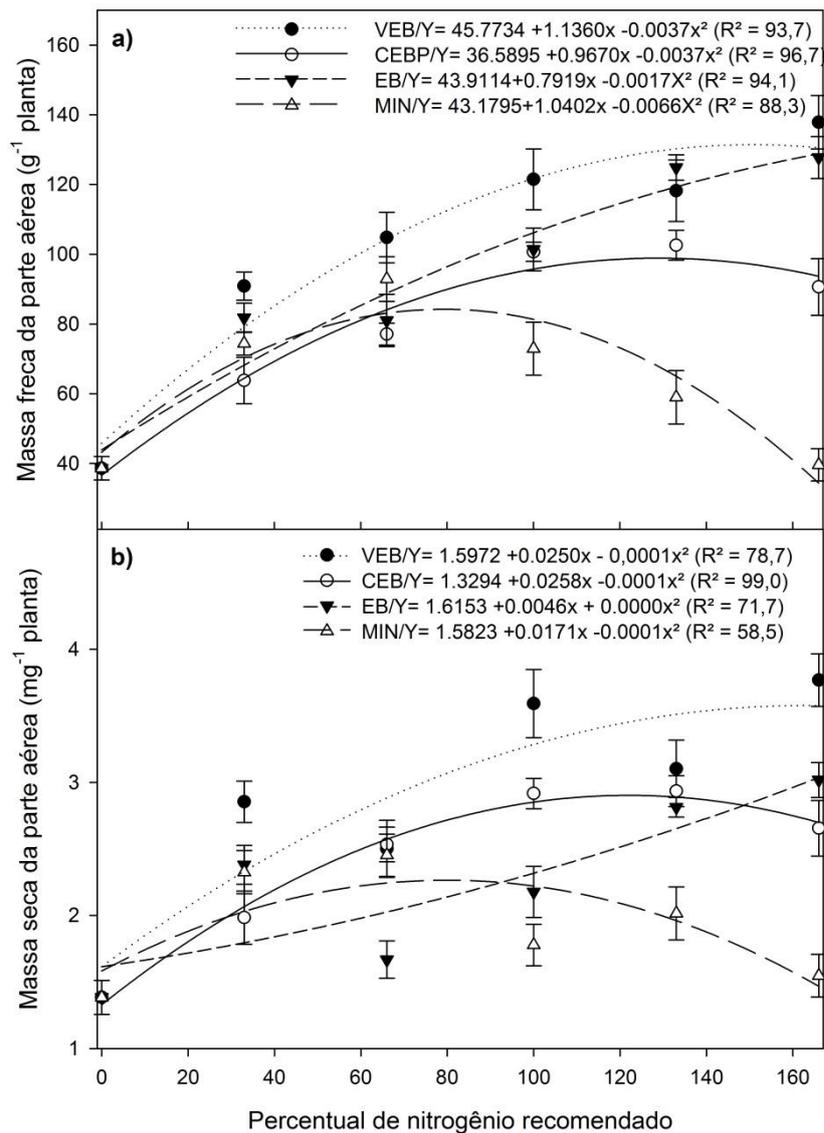


Figura 1 - Massa fresca da parte aérea (a) e massa seca da parte aérea (b) de mudas de alface (*L. sativa*) cultivadas com doses crescentes de nitrogênio adicionados ao solo a partir de fertilizantes orgânicos e mineral (vermicomposto de esterco bovino – VEB; composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo – CEBP; esterco bovino – EB; e fertilizante mineral – MIN).

Na avaliação da MFPA, em todas as dosagens, o VEB apresentou os melhores resultados (Tabela 2). Nas doses de 33, 133 e 166% o EB não apresentou diferença para o VEB. Estes resultados demonstram que, na impossibilidade de realizar os processos de transformação da matéria orgânica (vermicompostagem e compostagem) o esterco bovino pode resultar também em fertilizantes de boa qualidade, com adequada disponibilização de nutrientes no ciclo produtivo da alface.

Resultados semelhantes foram encontrados por Porto et al. (2008), que avaliaram a produção e o acúmulo de nitrato na alface em função do fornecimento de nitrogênio mineral e da fertilização orgânica, observando que a fertilização com esterco bovino resultou em maior produção de alface quando comparado à fertilização mineral, sugerindo que o fornecimento de N mineral pode ser totalmente substituído.

O incremento de produtividade encontrado nas plantas produzidas com VEB, pode ser explicado pela possível presença de hormônios promotores de crescimento. Existem evidências de que o vermicomposto possui uma quantidade considerável de substâncias desta natureza (ácido abscísico, auxinas, citocininas, etileno, giberelinas, poliaminas, entre outros) (Shutar, 2010). Estes indutores de crescimento, mesmo em concentrações baixas, promovem o desenvolvimento e a diferenciação das células e dos tecidos das plantas, determinando a formação de flores, caules e folhas, o desenvolvimento e a maturação dos frutos, a longevidade e a senescência da planta (Shutar, 2010).

A fertilização mineral, em relação aos fertilizantes orgânicos, apresentou menor produção de MFPA em todas as dosagens avaliadas, exceto na dosagem de 66%, onde não diferiu do VEB. Maior produtividade de alface com menores doses de N também foram encontradas por Resende et al. (2012) que avaliaram o rendimento e os teores de macronutrientes em alface americana em função de doses de nitrogênio (0 a 180 kg N ha⁻¹) encontrando maior acúmulo de massa seca da planta com a dose de 66,4 kg N ha⁻¹. Estes resultados indicam que a partir de uma determinada dose, o aumento da disponibilidade de N não resulta em incremento de produção da alface, pelo contrário, incide em um decréscimo de produção. Por outro lado, a omissão de nitrogênio pode resultar em produções de MFPA até 75% menores em relação à produção com adequada disponibilidade de N (Tischer e Siqueira Neto, 2012).

Para a MSPA o maior acúmulo foi encontrado com a dosagem de 166% para o EB (Figura 1b). Para o fertilizante CEBP houve incremento de produção com o aumento da dose de N até a dosagem de 144%, onde a partir desta houve queda de produtividade. Para o fertilizante VEB houve incremento de produção com o aumento da dose de N até a dosagem de 102%. A utilização da fertilização mineral resultou em queda de produção de MFPA a partir da dose de 33%.

Tabela 2 - Massa fresca da parte aérea; massa seca da parte aérea; número de folhas totais; número de folhas comercializáveis e índice Soil Plant Analysis Development de plantas de alface cultivar Ceres, aos 35 dias, em dosagens crescentes de fertilizantes orgânicos (vermicomposto de esterco bovino – VEB; composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo – CEBP; esterco bovino – EB; e fertilizante mineral – MIN).

Fertilização	Doses de Nitrogênio (%)				
	33	66	100	133	166
Massa fresca da parte aérea (g planta⁻¹)					
MIN	74.38 b	92.89 a	72.92 c	58.94 c	39.59 c
VEB	90.86 a	104.80 a	121.48 a	118.22 a	137.86 a
CEBP	63.78 b	77.06 b	100.69 b	102.57 b	90.63 b
EB	81.73 a	81.01 b	101.37 b	124.87 a	127.76 a
Massa seca da parte aérea (mg planta⁻¹)					
MIN	2.32 b	2.45 a	1.78 c	2.01 b	1.55 c
VEB	2.83 a	2.50 a	3.67 a	3.08 a	2.65 b
CEBP	1.98 b	2.53 a	2.92 b	2.93 a	3.02 b
EB	2.38 b	1.67 b	2.18 c	2.81 a	3.75 a
Número de folhas totais					
MIN	15.08 b	15.67 b	14.75 b	14.92 c	15.08 b
VEB	19.67 a	22.08 a	20.83 a	20.00 b	19.67 a
CEBP	16.75 b	14.42 b	16.00 b	15.75 c	14.58 b
EB	16.25 b	15.75 b	17.83 b	23.17 a	19.92 a
Número de folhas comercializáveis					
MIN	11.42 a	12.17 b	11.33 b	11.50 c	11.08 b
VEB	14.42 a	16.92 a	16.00 a	14.58 b	13.92 a
CEBP	13.17 a	11.17 b	11.97 b	11.92 c	11.75 b
EB	13.00 a	12.58 b	13.75 a	18.75 a	14.42 a
Índice Soil Plant Analysis Development					
MIN	18.67 a	18.87 a	15.65 b	19.94 a	17.12 a
VEB	18.08 a	18.03 a	20.28 a	19.03 a	18.11 a
CEBP	17.57 a	19.87 a	18.29 b	19.08 a	17.23 a
EB	19.62 a	19.21 a	23.33 a	18.41 a	18.79 a

*Médias seguidas de mesma letra nas colunas, para as diferentes doses de fertilizantes, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott e análise de regressão a 5% de probabilidade ($P < 0,05$), com o uso do software SISVAR (Ferreira, 2008).

O VEB apresentou maior produção de MSPA nas doses de 33, 66, 100 e 133% de nitrogênio (Tabela 2). Estes resultados estão de acordo com estudos realizados por Castoldi et al. (2014), que encontraram incremento de produção de MSPA em plantas comerciais de alface fertilizadas com vermicomposto. Na dose de 166% de N via fertilizantes orgânicos, o maior acúmulo foi encontrado com o EB (Tabela 2). Para os fertilizantes orgânicos VEB (33, 66 e 100%); CEBP (33, 66, 100, 133 e 166%); e EB (100, 133, e 166%) o aumento do fornecimento de nitrogênio resultou em maiores acúmulos de MSPA. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Santos et al. (2001), que verificaram que a aplicação de doses crescentes de fertilizantes orgânicos resulta em plantas de alface com menor massa seca. A fertilização mineral apresentou a menor produção de MSPA em todas as dosagens avaliadas, exceto para a dose de 66% de N.

Para o NFT os pontos de máxima produção foram encontrados nas doses de 166% de nitrogênio com a utilização dos fertilizantes EB e VEB (Figura 2a). Para o fertilizante CEBP e para fertilização mineral os maiores acúmulos de NFT foram encontrados com a dose de 33% de N (Figura 2a). Para o NFC os pontos de máxima produção foram encontrados nas doses de N 166%, com a utilização do fertilizante EB (Figura 2b). Para o fertilizante VEB os maiores acúmulos de NFC foram encontrados com a dose de 88% de N. Para a fertilização mineral, o maior acúmulo foi encontrado com a dose de 76%. Enquanto que para o fertilizante CEBP os maiores acúmulos de NFC foram encontrados com a dose de 33% (Figura 2b).

Para o NFT e o NFC os melhores resultados foram encontrados quando o fertilizante utilizado para a produção da alface foi o VEB, exceto na dosagem de 133%, onde o melhor resultado foi encontrado com o EB. Este resultado está de acordo com o encontrado por Santi et al. (2010), que avaliaram a ação de material orgânico sobre a produção de alface comercial e concluíram que o uso de esterco bovino produziu melhores resultados para massa fresca, número de folhas totais e comercializáveis. A fertilização mineral apresentou os piores resultados para todas as dosagens avaliadas.

Para o índice SPAD (Figura 2c) a máxima produção foi encontrada quando a dose de N foi de 92%, com a utilização do fertilizante EB. Para o VEB, a dose de N de 104% alcançou maior índice SPAD. Para o fertilizante CEBP o maior índice SPAD foi encontrado com a dose de 94% de N. Por outro lado, a fertilização mineral, na forma de ureia apresentou o melhor resultado quando na dose de 33%.

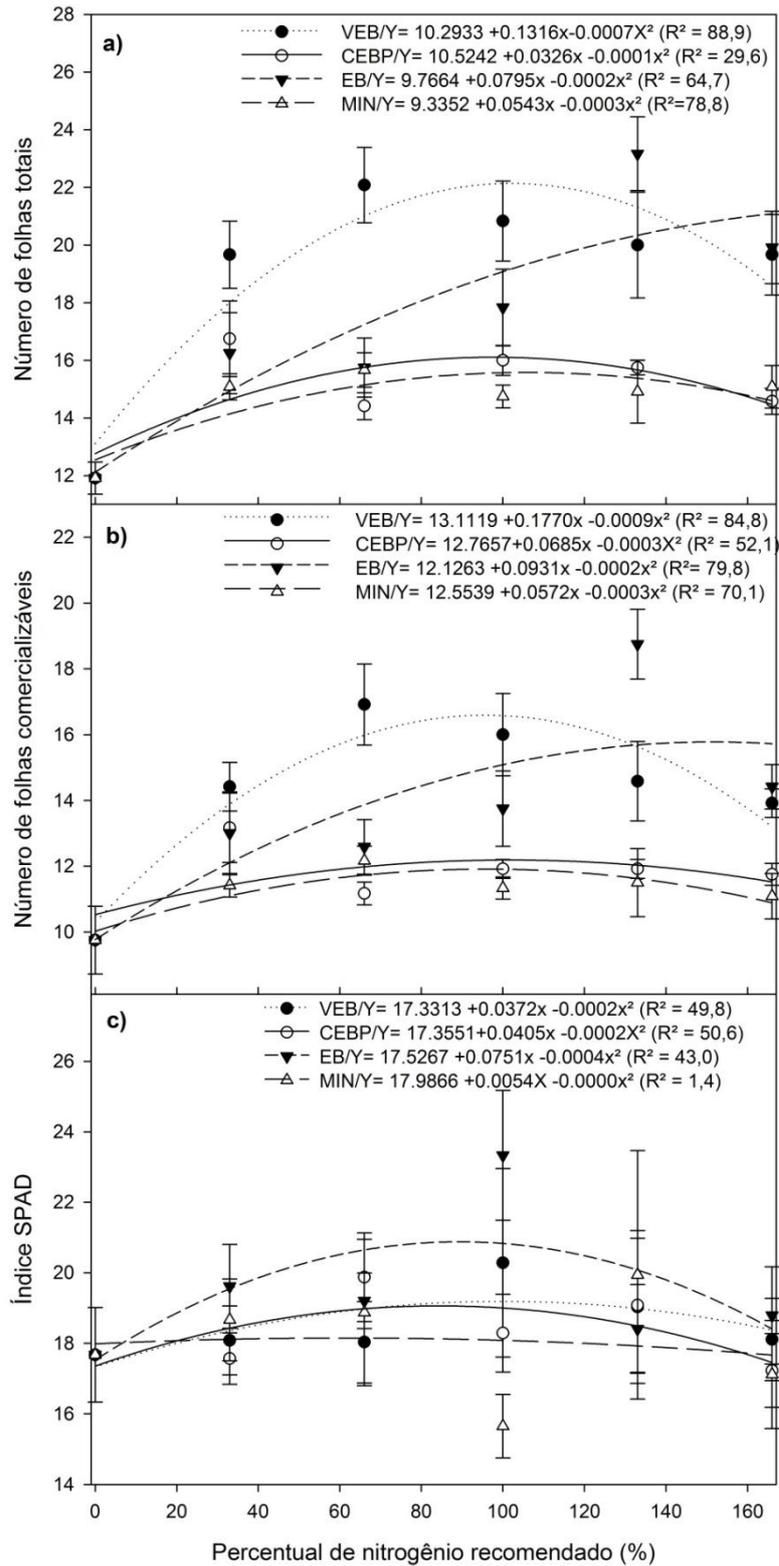


Figura 2 - Número de folhas totais (a), número de folhas comercializáveis (b) e índice SPAD de mudas de alface (*L. sativa*) cultivadas com doses crescentes de nitrogênio adicionados ao solo a partir de fertilizantes orgânicos e mineral (vermicomposto de esterco bovino – VEB; composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo – CEBP; esterco bovino – EB; e fertilizante mineral – MIN).

Para a avaliação do índice SPAD, somente na dosagem de 100% houve diferença significativa entre os tratamentos, onde EB e o VEB apresentaram os melhores resultados. Exceto o tratamento com 100% da fertilização na forma mineral, todos os demais tratamentos resultaram índices SPAD com valores entre 17,5 e 23,3. Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Villas-Boas et al. (2004), que estudaram o efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface, encontrando valores entre 19 e 23,2. Estudando o efeito de diferentes fontes de N sobre o conteúdo de nitrato e os índices SPAD no crescimento de alface, Escalona et al. (2009) encontraram valores entre 13 (sem adição de fertilizante), 16,8 (ureia) e 29 (nitrato de cálcio). Neste sentido, com os valores de SPAD encontrados neste estudo, podemos concluir que todas as dosagens, das diferentes fontes de N, proporcionaram fertilização adequada, e que a maior produtividade nos tratamentos com VEB pode estar relacionada à presença de substâncias promotoras de crescimento, conforme discutido anteriormente, e também melhorias nas propriedades físicas e biológicas do solo (Kiehl, 2004).

Para todos os parâmetros avaliados, nos tratamentos que receberam adubação mineral, a dose de 66% do N recomendado, proporcionou os melhores resultados. Este resultado pode indicar que a fertilização mineral para a alface é recomendada de forma inadequada, extrapolando as necessidades da cultura, resultando em aumento no custo de produção. O tratamento que não recebeu fertilizante (controle) apresentou os menores resultados para todos os parâmetros avaliados, MFPA (38,61), MSPA (1,38), NFT (11,92), NFC (9,75), SPAD (17,67) exceto para o índice SPAD, onde o CEBP na dose de 33% apresentou valor inferior.

3.5.2 Cenoura

Para a produção de massa fresca da raiz da cenoura (MFR), comprimento da raiz (CR) e para o diâmetro da raiz (DR) observou-se que a interação entre fontes e doses de nitrogênio foi significativa ($P > 0,05$). O estudo de regressão das doses dentro de cada fonte de nitrogênio (Figura 3) apresentou modelos quadráticos.

Para a MFR o maior acúmulo foi encontrado com a dosagem de N de 114% para o VEB e de 152% para o fertilizante CEBP (Figura 3a). Por outro lado, a

fertilização mineral apresentou o melhor resultado quando utilizado na dose de 111%. Para o EB a maior produção foi encontrada com a dose aplicada de 163% (Figura 3a).

Em todas as dosagens avaliadas para a MFR, os melhores resultados foram encontrados com o VEB (Tabela 3). A produção de MFR encontrada no presente estudo foi menor que a encontrada por Resendre e Braga (2014), que avaliaram a produtividade de cultivares e populações de cenoura em sistema de cultivo orgânico, quando a cultivar Nantes produziu raízes com 69,2g de massa fresca. No entanto, este estudo foi realizado em condições de temperatura mais elevadas (24,6°C), enquanto a média de temperatura de Santa Maria, neste período, é de 22,6°C (Facco et al., 2012). A cultivar de cenoura Nantes alcança maiores produtividades em temperaturas mais elevadas, em um menor tempo de cultivo (Brunini et al., 1976).

Os maiores acúmulos de MFR encontrados nos tratamentos que receberam adição de VEB também são relatados por outros autores. Ao avaliar o efeito da complexidade molecular e da acidez das frações húmicas do vermicomposto na atividade enzimática e no desenvolvimento da cenoura, Muscolo et al. (1996) observaram que a fração húmica ácida induziu crescimento celular, aumento no teor de proteína e maior atividade da glutamato desidrogenase, imitando a ação hormonal (ácido 2,4-diclorofenoxiacético). A estimulação desta enzima pode ser correlacionada com a ausência de NO_3^- (nitrato) e NH_4^+ (amônia). Nesta condição, a enzima pode fornecer N para as células, proporcionando o crescimento. A fração húmica ácida é mais eficaz que os hormônios no estímulo das atividades enzimáticas (glutamato desidrogenase, glutamina sintetase, fosfoenolpiruvato carboxylase), possui função semelhante à auxina na indução do crescimento e auxilia na síntese de proteínas, influenciando positivamente o crescimento da planta (Muscolo et al., 1996).

O menores acúmulos de MFR, dentro de cada dose, foram encontrados sempre com a fertilização mineral (Tabela 3). Na fertilização mineral, o maior acúmulo para a MFR, foi encontrado na dosagem de 133% (26,18g). No entanto, esta produção foi menor que a encontrada por todos os fertilizantes orgânicos, a partir da menor dose (33%).

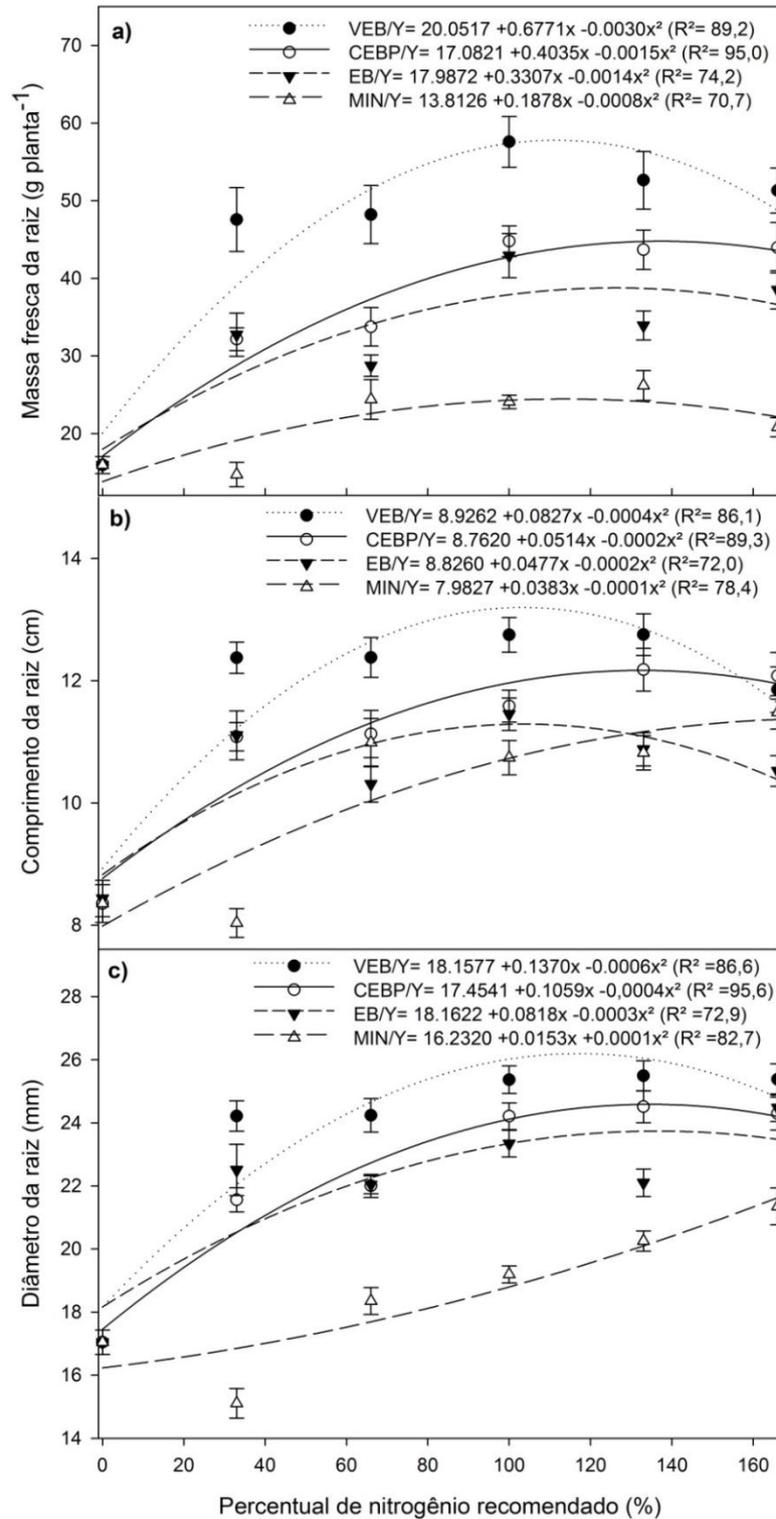


Figura 3 - Massa fresca da raiz (a), comprimento da raiz (b) e diâmetro da raiz (c) de mudas de cenoura (*D. carota*) cultivadas com doses crescentes de nitrogênio adicionados ao solo a partir de fertilizantes orgânicos e mineral (vermicomposto de esterco bovino – VEB; composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo – CEBP; esterco bovino – EB; e fertilizante mineral – MIN).

Tabela 3 - Massa fresca da raiz; comprimento da raiz; diâmetro da raiz de plantas de cenoura cultivar Nantes, 120 dias após semeadura, em dosagens crescentes de fertilizantes orgânicos (vermicomposto de esterco bovino – VEB; composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo – CEBP; esterco bovino – EB; e fertilizante nitrogenado mineral (MIN)).

Fertilizante	Doses de Nitrogênio (%)				
	33	66	100	133	166
Massa fresca da raiz (g planta⁻¹)					
MIN	14.72 c	24.39 c	24.07 c	26.18 d	20.81 c
VEB	47.56 a	48.20 a	57.58 a	52.63 a	51.31 a
CEBP	32.16 b	33.74 b	44.78 b	43.69 b	43.94 b
EB	32.74 b	28.74 c	42.91 b	33.91 c	38.51 b
Comprimento da raiz (cm)					
MIN	8.03 c	10.99 b	10.74 b	10.82 b	11.48 a
VEB	12.38 a	12.38 a	12.75 a	12.75 a	11.85 a
CEBP	11.08 b	11.13 b	11.58 b	12.18 a	12.08 a
EB	11.11 b	10.31 b	11.45 b	10.88 b	10.52 b
Diâmetro da raiz (mm)					
MIN	15.11 c	18.35 c	19.19 c	20.25 c	21.35 b
VEB	24.21 a	24.24 a	25.36 a	25.49 a	25.38 a
CEBP	21.56 b	22.00 b	24.21 b	24.51 a	24.29 a
EB	22.50 b	22.04 b	23.34 b	22.10 b	24.48 a

*Médias seguidas de mesma letra nas colunas, para as diferentes doses de fertilizantes, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott e análise de regressão a 5% de probabilidade ($P < 0,05$), com o uso do software SISVAR (Ferreira, 2008).

Para comprimento da raiz (CR) o maior valor foi encontrado com a dosagem de N de 165% para o VEB e de 157% para o fertilizante CEBP (Figura 3b). Para o EB a maior produção foi encontrada com a maior dose aplicada (166%), assim como para a fertilização mineral (Figura 3b).

Para a avaliação de comprimento da raiz (Tabela 3) os melhores resultados foram encontrados com 100% e 133% da fertilização realizada com o VEB (12,75cm). Estes resultados são menores que os encontrados por Paulus et al. (2012), que avaliaram a produção e a aceitabilidade de cenoura em cultivo orgânico no inverno e produziram raízes de cenoura da cultivar Nantes com 16,3 cm de comprimento. Maiores comprimentos, entre todas doses de fertilizantes testadas,

foram encontrados com o VEB. Nas doses 133 e 166% de N o comprimento de raiz encontrado com o VEB não diferiu do CR encontrado com o CEBP e com CEBP e MIN (Tabela 4), respectivamente. Em relação ao comprimento da raiz, seriam classificadas como classe extra A, conforme Silva et al. (2011), as cenouras produzidas com as seguintes fontes de nitrogênio: MIN (166%); VEB e CEBP (33 a 166%); EB (33 e 100%). A fertilização na forma mineral alcançou o maior comprimento de raiz com a dose de 166% (11,48 cm). Este resultado foi inferior ao encontrado em todas doses de nitrogênio fornecidas pelo VEB.

Para o diâmetro da raiz (DR) o maior valor foi encontrado com a dosagem de N de 92% para o VEB e de 166% para o fertilizante CEBP (Figura 3c). Para o EB o maior diâmetro de raiz foi encontrado com a dose de 83%. Na fertilização mineral, o maior DR foi encontrado com a dose de 133% de N (Figura 3c).

Os melhores resultados em todas doses de fertilizantes testadas foram encontrados com o VEB (Tabela 3). Na dosagem de 133%, este fertilizante não apresentou diferenças estatísticas para o CEBP. Na dosagem de 166%, o VEB não apresentou diferenças estatísticas para o EB e para CEBP. Em relação ao diâmetro da raiz, seriam consideradas como classe “extra A” as cenouras produzidas com as seguintes fontes de N: MIN (133 e 166%); VEB, CEBP e EB (todas as dosagens). Estes resultados estão de acordo com os resultados encontrados por Paulus et al. (2012) que produziram raízes de cenoura da cultivar Nantes com diâmetro de 24,00 mm. O melhor resultado encontrado com a fertilização mineral (MIN) na dosagem de 166% (21,35mm) foi menor que o encontrado em todos os fertilizantes orgânicos, nas menores doses de N (33%). O tratamento que não recebeu fertilizantes, ou seja, o tratamento controle apresentou os menores resultados para todos os parâmetros avaliados, MFR (15,94), CR (8,35) e DR (17,04) exceto para MFR, CR e DR, onde a adubação mineral (MIN) na dose de 33%, apresentou valores inferiores.

3.6 Conclusões

O uso de vermicomposto de esterco bovino favorece o acúmulo de massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, número de folhas totais, número

de folhas comercializáveis e índice SPAD (Soil Plant Analysis Development) para a cultura da alface.

A fertilização mineral na cultura da alface produz resultados semelhantes ao vermicomposto de esterco bovino apenas na dosagem de 66% de N.

A utilização de vermicomposto de esterco bovino favorece o acúmulo de massa fresca da raiz, comprimento da raiz e diâmetro da raiz para a cultura da cenoura.

3.7 Referências Bibliográficas

ALMEIDA, T. B. F. et al. Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. **Biotemas**, 24 (2), 27-36, 2011.

BOUCHÉ, M. B. Lombriciens de France. Écologie et Systématique. I. N. R. A. **Publ. Ann. Zool. Ecol. Anim.** (no hors-serie) v. 72(2), 671p. 1972.

BRUNINI, O.; SANTOS, J. M. Estudo micrometeorológico com cenouras (var. nantes) I- Influência da temperatura do ar. **Bragantia**, v. 35, p. 41-47, 1976.

CAO, X.; MA, L. Q.; CAO, L. Q. X. Effects of compost and phosphate on plant arsenic accumulation from soils near pressure-treated wood. **Environmental Pollution**, v. 132, p. 435–442, 2004.

CASTOLDI, G. et al. Alternative substrates in the production of lettuce seedlings and their productivity in the field. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 2, p. 299-304, 2014.

CHATTERJEE, R.; BANDYOPADHYAY, S.; JANA, J. C. Evaluation of vegetable wastes recycled for vermicomposting and its response on yield and quality of carrot (*Daucus carota* L.). **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 3:60, p. 1-7, 2014.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 394 p.

COSTA, C. C. et al. Crescimento, produtividade e qualidade de raízes de rabanete cultivadas sob diferentes fontes e doses de adubos orgânicos. **Horticultura Brasileira**, v. 24, Brasília, p. 118-122, 2006.

ECKHARDT, D. P. **Potencial fertilizante de adubos orgânicos à base de esterco bovino e sua utilização na produção de mudas de alface**. 2011. Santa Maria, RS, 58 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ESCALONA, A. et al. Efecto de las fuentes nitrogenadas sobre el contenido de nitratos y lecturas "SPAD" en el cultivo de lechuga. **Agronomía Tropical**. V. 59, p. 99-105, 2009.

FACCO, R.; NASCIMENTO, V. B.; WERLANG, M. K. Variabilidade de temperaturas médias mensais em Santa Maria/RS no período de 2004/2011. **Revista Geonorte**, v. 2, p.1103–1110, 2012.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.

FINATTO, J. et al. A importância da utilização da adubação orgânica na agricultura. **Destaques Acadêmicos**, v. 5, p. 85-93, 2013.

FONTES, P. C. R. Nutrição mineral de hortaliças: horizontes e desafios para um agrônomo. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 247-253, 2014

FRANCO, C. H. et al. Mutagenic potential of lettuce grown from irradiated seeds. **Scientia Horticulturae**, v. 182, p. 27–30, 2015.

GIL, P. T. et al. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade de batata. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 611-615, 2002.

KIEHL, E. J. Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. 4ª ed. E. J. Kiehl. Piracicaba, 2004, 173 p.

LEMOS, M. S. et al. Uso da cama de frango como adubo na agricultura. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v. 3, p. 57-68, 2014.

LIMA, J. M. E. et al. Tipos de adubação e épocas de avaliação na sanidade e viabilidade de sementes de soja-hortaliça **Revista Agro@ambiente**, v. 8, n. 2, p. 244-252, 2014.

LIU, B. et al. Effects of composting process on the dissipation of extractable sulfonamides in swine manure. **Bioresource Technology**, v. 175, p. 284–290, 2015.

MA, T. et al. Influence of technical processing units on polyphenols and antioxidant capacity of carrot (*Daucus carota* L.) juice. **Food Chemistry**, v. 141, p. 1637–1644, 2013.

MUSCOLO, A. et al. Effect of molecular complexity and acidity of earthworm faeces humic fractions on glutamate dehydrogenase, glutamine synthetase, and phosphoenolpyruvate carboxylase in *Daucus carota* cells. **Biology and Fertility of Soils**, v. 22, p. 83-88, 1996.

NEST, V. et al. Effect of organic and mineral fertilizers on soil P and C levels, crop yield and P leaching in a long term trial on a silt loam soil T. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 197, p. 309 –317, 2014.

OLIVEIRA, L. B. et al. Características químicas do solo e produção de biomassa de alface adubada com compostos orgânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, Campina Grande, p. 157-164, 2014.

OLIVEIRA, M. S.; CAMPOS, M. A. S.; SILVA, F. S. B. Arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost to maximize the production of foliar biomolecules in *Passiflora alata* Curtis seedlings. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, p. 522–528, 2015.

PAULUS, D. et al. Produção e aceitabilidade de cenoura sob cultivo orgânico no inverno e no verão. **Horticultura Brasileira** v. 30, p. 446-452, 2012.

PEIXOTO FILHO, J. U. et al. Produtividade de alface com doses de esterco de frango, bovino e ovino em cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, p. 419-424, 2013.

PIMENTEL, M. S., DE-POLLI, H.; LANA, A. M. Q. Atributos químicos do solo utilizando composto orgânico em consórcio de alface-cenoura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, p. 225-232, 2009.

PÔRTO, M. L. A. et al. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura do pepino japonês em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 292-296, 2014.

PÔRTO, M. L. et al. Nitrate production and accumulation in lettuce as affected by mineral Nitrogen supply and organic fertilization. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 227-230, 2008.

RESENDE, G. M.; Braga, M. B. Produtividade de cultivares e populações de cenoura em sistema orgânico de cultivo. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 102-106, 2014.

RESENDE, G. M. et al. Rendimento e teores de macronutrientes em alface americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio. **Horticultura Brasileira** 30: 373-378. 2012.

SANTI, A. et al. Ação de material orgânico sobre a produção e características comerciais de cultivares de alface. **Horticultura Brasileira** v. 28, p. 87-90, 2010.

SANTI, A. et al. Desempenho agrônômico de alface americana fertilizada com torta de filtro em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 31, p. 338-343, 2013

SANTOS, R. H. S. et al. Conservação pós-colheita de alface cultivada com composto orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 521-525, 2001.

SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, I. C.; LIMA, P. C. Cultivo de hortaliças no sistema orgânico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 829-837, 2014.

SUTHAR, S. Evidence of plant hormone like substances in vermiwash: An ecologically safe option of synthetic chemicals for sustainable farming. **Ecological Engineering**, v. 36, p. 1089–1092, 2010.

SILVA, V. J. et al. Resposta da cenoura à aplicação de diferentes lâminas de irrigação. **Biosciência Journal**, v. 27, p. 954-963, 2011.

TISCHER, J. C.; SIQUEIRA NETO, M. Avaliação da deficiência de macronutrientes em alface crespa. **Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde**, v. 16, p. 43-57, 2012.

TRANI, P. E. et al. Calagem em cultivos sucessivos de cenoura e alface. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 59-64, 2006.

VÉRAS, M. L. M. et al. Crescimento inicial da alface sob fertilização orgânica e volumes de húmus de minhoca. **Revista Verde**, Pombal–PB, v. 9, p. 333-339, 2014.

VILLAS-BÔAS, R. L. et al. Efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface em dois solos sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 28-34, 2004.

4 COMPOSTOS À BASE DE ESTERCO BOVINO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus urograndis*

4.1 Resumo

A utilização de resíduos agrícolas como fonte de nutrientes para a produção de mudas florestais pode ser uma solução para os problemas ambientais decorrentes do descarte de resíduos orgânicos sem critérios. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o uso de esterco bovino, composto e vermicomposto de esterco bovino como componentes de substratos na produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*. As mudas foram cultivadas em tubetes com capacidade de volume de 50 cm³. Foram testados os fertilizantes: vermicomposto de esterco bovino (VEB), composto de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP) e esterco bovino (EB), em cinco proporções (v: v): 20, 40, 60, 80 e 100%. O crescimento vegetativo foi avaliado e comparado com as mudas cultivadas com substrato comercial. Cento e vinte dias após a semeadura, as mudas foram coletadas e avaliadas através dos seguintes parâmetros morfológicos: massa seca da parte aérea; massa seca da raiz; massa seca total; altura; diâmetro do caule; relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (RPAR); relação altura/diâmetro do caule (RAD) e índice de qualidade de Dickson. O vermicomposto de esterco bovino e o composto de esterco bovino e palha de campo nativo, podem ser utilizados na formulação de substratos para a produção de mudas *Eucalyptus urograndis* em doses de 40 a 100%. O esterco bovino pode ser utilizado na formulação de substratos para produção de mudas *Eucalyptus urograndis* nas doses de 20 a 80%.

Palavras-chave: Esterco bovino. Qualidade do esterco. Mudas florestais.

4.2 Abstract

The use of agriculture wastes as nutrient sources for forest seedlings may represent a solution for environmental problems caused by incorrect management of them.

Therefore, the aim of the work was evaluate the efficiency of cattle manure, vermicompost of cattle manure and compost of cattle manure mixed with pasture straw as substrate compounds for production of *Eucalyptus urograndis* seedlings. The seedlings were growing in tubes of 50 cm³. The following fertilizers were tested: vermicompost of cattle manure (VEB), compost of cattle manure mixed with straw of pasture (CEBP) and cattle manure (EB); according to five proportions (v:v): 20, 40, 60, 80 and 100%. Vegetal development was evaluate and compare to a commercial substrate. Morphological parameters were evaluate 120 after planting date: dry mass, dry mass of roots, total dry mass, size, branch diameter, relation of dry matter/dry matter of roots, relation high/diameter of branch and Dickson quality index. The vermicompost of cattle manure and the compost of cattle manure mixed with pasture straw may be use in proportions of 40 up to 100%, while the cattle manure may be use in proportions of 20 up to 80% to compound substrates to *Eucalyptus urograndis* seedlings production.

Keywords: Cattle manure. Quality manure. Forest seedlings.

4.3 Introdução

A busca por substratos alternativos para a produção de mudas é fundamental, uma vez que a disponibilidade de matérias-primas tradicionais utilizadas na composição destes substratos vem diminuindo (Kratz et al., 2013). Por outro lado, a produção agropecuária gera grande diversidade de resíduos orgânicos, na sua maioria passível de reutilização, desde que bem manejado. A utilização destes resíduos na composição de substratos e na adubação orgânica, representa uma alternativa ao uso de fertilizantes de origem mineral, oriundos de fontes não renováveis e de elevado custo (Schumacher et al., 2001). Somente no ano de 2012, o consumo de fertilizantes no Brasil ultrapassou 29 milhões de toneladas (ANDA, 2013).

Dentre os processos de transformação e estabilização de resíduos orgânicos, destacam-se a compostagem e a vermicompostagem (Domínguez; Edwards, 2011), que diminuem o potencial contaminante dos resíduos ao convertê-los em

fertilizantes, possibilitando a reciclagem dos nutrientes e propiciando melhorias nas qualidades físicas, químicas e biológicas no solo, (Domínguez et al., 2010).

A produtividade de um reflorestamento depende da qualidade das mudas transplantadas (Galbiatti et al., 2007), e, conseqüentemente, das limitações do substrato (Tucci et al., 2009). O substrato deve proporcionar a produção de mudas de qualidade, e apresenta propriedades físicas e químicas que promovam a retenção da umidade e a disponibilização de nutrientes (Cunha et al., 2006). Para escolha do material a ser utilizado na composição do substrato, além das características químicas e físicas, envolvidas diretamente na resposta de produtividade das culturas, também devem ser consideradas a oferta do material, a sazonalidade, a perecibilidade, além dos custos envolvidos desde a aquisição, o transporte e o seu acondicionamento (Maeda et al., 2007).

Avaliando o uso vermicomposto de esterco bovino misturado ao solo, na produção de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, Schumacher et al. (2001), observaram que há produção de mudas de boa qualidade. Ao avaliar o efeito de substratos produzidos a partir de lodo de esgoto e esterco bovino, sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp., Cunha et al. (2006), observaram que o melhor desenvolvimento das mudas ocorreu com a utilização de esterco bovino.

Para a produção de mudas de essências florestais, em diferentes substratos, Oliveira et al. (2008) concluíram que substratos produzidos a partir de vermicomposto, casca de amendoim e turfa são recomendados para a produção de mudas de *Cedrela fissilis* Vell., *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *Acacia holocericæ* A. Cunn. ex G. Don. e *Schinus terebinthifolius* Raddi.

Com base na importância da utilização de resíduos orgânicos para a produção de substratos para o crescimento de mudas, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a utilização de esterco bovino, composto de esterco bovino e palha de campo nativo e vermicomposto na composição de substratos para produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*.

4.4 Material e métodos

O trabalho consistiu da produção de mudas de *Eucalyptus urograndis* (clone do *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake x *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Spreng) em casa

de vegetação. A produção de mudas foi avaliada através de um delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 4 x 5, com 25 repetições. Os tratamentos constituíram-se de quatro substratos em cinco dosagens: vermicomposto de esterco bovino (VEB), composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP), esterco bovino (EB) e o substrato comercial (Tecnomax[®]), em cinco dosagens (v/v): 20, 40, 60, 80 e 100% dos substratos. As unidades experimentais utilizadas foram tubetes de 50 cm³, tendo seu volume complementado, quando necessário, com areia lavada. A areia foi utilizada com o propósito de complementação do volume nas unidades experimentais, não contribuindo no fornecimento de nutrientes às plantas, para tanto, foi lavada com solução de ácido clorídrico (0,5%) e posteriormente, com água destilada.

O fertilizante CEBP foi produzido através da mistura de esterco bovino e de palha de campo nativo submetida à compostagem por aeração forçada por 120 dias. O adubo VEB foi produzido através do processo de vermicompostagem de esterco bovino, com utilização das minhocas da espécie *Eisenia andrei* Bouché (1972) por 45 dias. O esterco bovino foi seco ao ar e triturado manualmente. As sementes de *Eucalyptus urograndis* foram obtidas na Fepagro Florestas. Após a assepsia em hipoclorito de sódio, as sementes foram pré-germinadas em placas de Petri sobre papel de germinação umedecido e mantidas em incubadora a 25°C, na ausência de luminosidade, por um período de cinco dias. Decorrido o período de germinação, as sementes germinadas foram transplantadas para os tubetes plásticos de 50 cm³, contendo as diferentes formulações dos substratos. Após o transplante, os tubetes permaneceram em casa de vegetação sobre um telado, conforme utilizado em viveiros comerciais. A irrigação foi realizada de forma manual e periódica, utilizando-se água destilada, mantendo a umidade do substrato próxima à capacidade máxima de retenção de água. A temperatura no interior da casa de vegetação durante a condução do experimento variou entre 20°C e 29°C.

Nos fertilizantes orgânicos e no substrato comercial, foram determinados os teores de N-NH₄⁺ e N-NO₂⁻ + N-NO₃⁻, conforme Tedesco et al. (1995). Os teores de C, N total, P, K e M.O foram determinados segundo EMBRAPA (1997). Os valores de pH foram determinados em solução água : solo (1:1) (Tabela 1).

As avaliações foram realizadas aos 120 dias após o transplante, quando avaliaram-se os parâmetros: massa seca da parte aérea (mg); massa seca da raiz (mg); massa seca total (mg); altura (cm); diâmetro do caule (mm); relação massa

seca da parte aérea/massa seca da raiz (RPAR); relação altura/diâmetro do caule (RAD). Determinou-se também o índice de qualidade de Dickson (IQD = massa seca total/ (altura/diâmetro do caule) + (massa seca da parte aérea/massa seca das raízes)), conforme Dickson et al. (1960).

Para a determinação da massa seca das mudas, as mesmas foram seccionadas ao nível do substrato, então classificadas como parte aérea e raiz. As raízes foram separadas do substrato e lavadas com água. Posteriormente, parte aérea e raiz, foram acondicionadas separadamente em embalagens de papel e levadas à estufa com circulação forçada de ar, à 65°C, até atingir peso constante. Os dados obtidos nas avaliações foram transformados para raiz quadrada de $x + 0,1$ e submetidos à análise de variância, sendo as médias do fator fertilizante comparadas pelo teste de Scott-Knott e, as do fator dose por análise de regressão, com o uso do software SISVAR (Ferreira, 2008).

4.5 Resultados e discussão

A concentração de nutrientes dos fertilizantes utilizados na composição dos substratos, para produção de mudas de *Eucalyptus urograndis* variaram de 19,7 a 22,2g kg⁻¹ de nitrogênio (N); 10,8 a 19,7g kg⁻¹ de fósforo (P); e 14,5 a 24,9g kg⁻¹ de potássio (K); presentes no vermicomposto de esterco bovino, composto de esterco bovino e palha de campo nativo e no esterco bovino. Já o substrato comercial apresentou valores inferiores de N, P e K, 12,8; 3,8; e 2,3 g kg⁻¹, respectivamente (Tabela 1). A concentração dos nutrientes dos fertilizantes orgânicos utilizados neste estudo são similares aos apresentados por Oliveira et al. (2008), que também avaliaram a composição química de substratos de origem orgânica utilizados na produção de mudas de *Cedrela fissilis* Vell. (cedro rosa), *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden (eucalipto), *Acacia holocericea* A. Cunn. ex, G. Don (acácia) e *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeirinha). Destes, o nitrogênio é um dos nutrientes requeridos em maior quantidade pelas plantas, sendo normalmente o mais limitante ao desenvolvimento das mudas (Pinto et al., 2011).

Tabela 1 - Composição química dos fertilizantes orgânicos e substrato comercial: Vermicomposto de Esterco Bovino (VEB), Composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP), esterco bovino (EB) utilizados na produção de mudas de eucalipto.

Fertilizante	pH	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻ + NO ₃ ⁻	N _{total}	P	K	C	C/N
		----- (g kg ⁻¹) -----						
VEB	8,3	0,10	1,8	19,7	16,50	14,50	228	11,5
CEBP	7,0	0,10	1,7	19,9	19,70	20,10	232	11,6
EB	8,4	0,20	1,7	22,2	10,80	24,90	305	13,7
Comercial	5,0	0,06	0,3	12,8	3,80	2,30	361	28,2

¹pH = Potencial hidrogeniônico; N_{total} = Nitrogênio total; NH₄⁺ = Amônia; NO₂⁻ + NO₃⁻ = Nitrato + Nitrito; P = Fósforo; K = Potássio; C = Carbono; C/N = Relação C/N;

Para a produção de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), altura, diâmetro do colo, relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (RPAR), relação altura/diâmetro do colo (RAD) e índice de qualidade de Dickson (IQD), observou-se que a interação entre fontes e doses de nitrogênio foi significativa ($P > 0,05$). No estudo de regressão das doses dentro de cada fonte de nitrogênio (Figuras 1, 2 e 3), estabeleceram-se modelos quadráticos.

Para a massa seca da parte aérea (MSPA) a máxima produção foi encontrada com a dose de 100% para o substrato comercial e de 81% para o fertilizante VEB (Figura 1a). Para o fertilizante CEBP, maior produção foi encontrada com a dose de 67%, enquanto que para o EB a maior produção foi encontrada com a dose de 47%.

Os parâmetros mais significativos para expressar a qualidade das mudas devem ser a massa seca total (MST), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR) e diâmetro do caule (Gomes et al., 2002). Neste sentido, os substratos produzidos a partir da mistura entre EB e areia lavada proporcionaram as

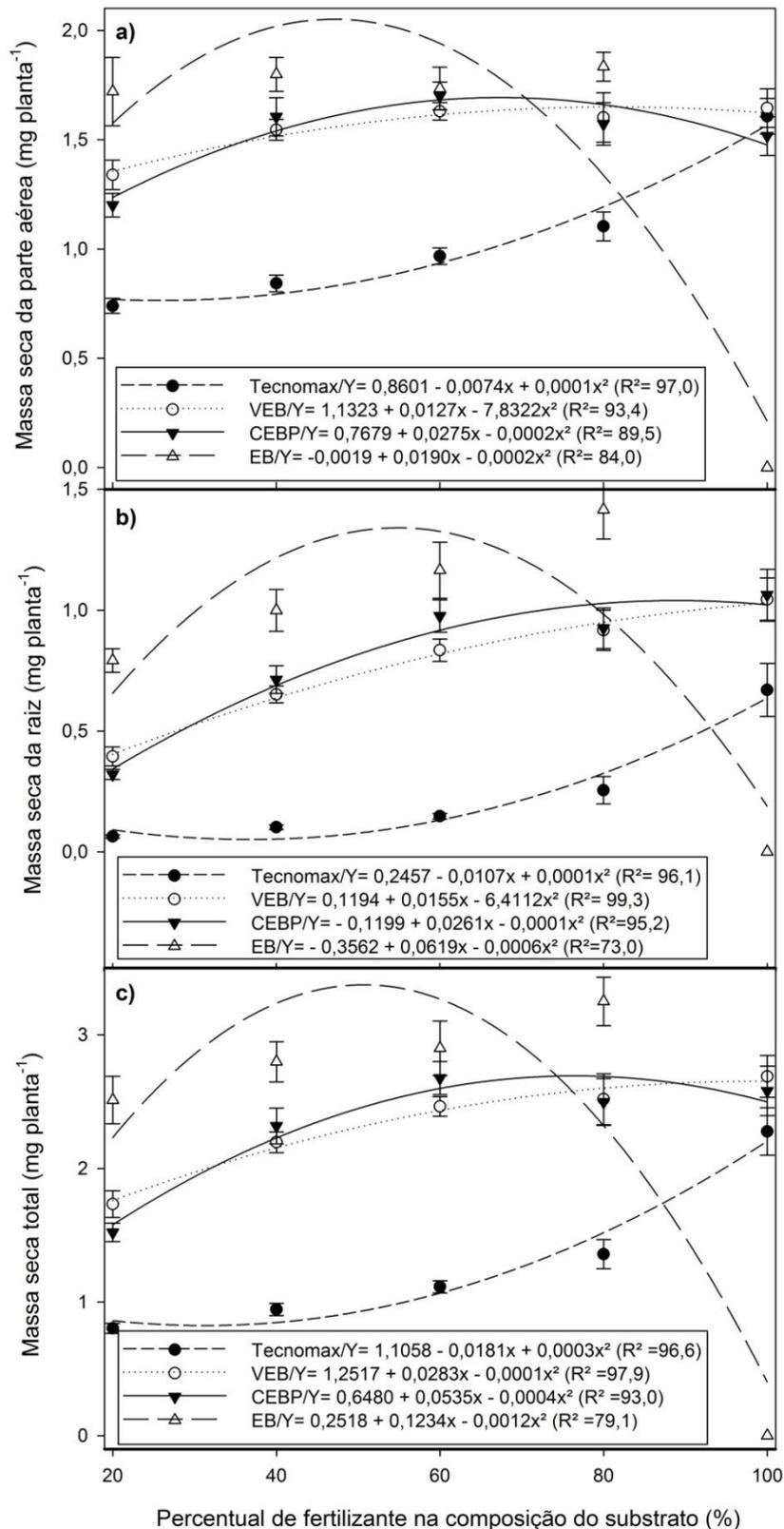


Figura 1 - Massa seca da parte aérea (a), massa seca da raiz (b) e massa seca total (c) de mudas de *E. urograndis* produzidas a partir de substratos orgânicos e comercial (Tecnomax); vermicomposto de esterco bovino (VEB); composto de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP) e esterco bovino (EB).

maiores produções de massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e massa seca total nas dosagens de 20, 40, 60 e 80%, apresentando maiores acúmulos que o tratamento controle (100% substrato comercial) (Tabela 2).

O substrato com utilização de 100% de EB não permitiu a sobrevivência das mudas de eucalipto. Este resultado, provavelmente, ocorre pela presença do amônio em maior concentração, quando comparado aos demais fertilizantes utilizados (Tabela 1). O amônio, presente em adubos parcialmente ou não estabilizados, tem efeito fitotóxico, limitando o desenvolvimento das plantas, inibindo a germinação e o desenvolvimento das raízes (Varnero et al., 2007).

Para a massa seca da raiz (MSR) a maior produção foi encontrada com a dose de 100% para o substrato comercial e para o fertilizante VEB (Figura 1b). Para o fertilizante CEBP maior produção foi encontrada com a dose de 89%, enquanto que para o EB a maior produção foi encontrada com a dose de 55% (Figura 1b).

A utilização do substrato comercial proporcionou menores produções de MSPA, MSR e MST das plantas em todas as dosagens avaliadas, exceto na dose de 100% (Tabela 2) para MSPA e MST, quando não diferiu dos fertilizantes VEB e CEBP. Para a MSR e a MST, o fertilizante CEBP não diferiu do VEB. Os menores valores de MSPA, MSR e MSR encontrados nas mudas produzidas com substrato comercial devem estar relacionados aos baixos teores de N, P e K deste substrato, quando comparados aos demais fertilizantes utilizados no experimento. A disponibilidade de nutrientes, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio, têm grande influência na qualidade das mudas de espécies florestais (Tucci et al., 2009).

A utilização do substrato comercial não proporcionou a formação de mudas de padrão semelhante às produzidas com os outros tratamentos, exceto na dose de 100%, quando não diferiu estatisticamente dos tratamentos VEB e CEBP 100%. Este resultado pode estar associado à baixa concentração de nutrientes presentes no substrato, que tem seu efeito evidenciado quando é utilizado em menores concentrações, já que a areia utilizada, não fornece nutrientes para a produção das mudas.

Para a massa seca total (MST) a maior produção foi encontrada com a dose de 100% para o substrato comercial (Figura 1c) e 87% para o fertilizante VEB. Para o fertilizante CEBP maior produção foi encontrada com a dose de 76%, enquanto que para o EB a maior produção foi encontrada com a dose de 55% (Figura 1c).

Tabela 2 – Produção de massa seca da parte aérea, massa seca da raiz e massa seca total de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidos a partir de substratos orgânicos e comercial; vermicomposto de esterco bovino (VEB); composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP) e esterco bovino (EB), aos 120 dias após o transplante, em casa de vegetação.

Fertilizante	Doses de fertilizante na composição do substrato (%)				
	20	40	60	80	100
Massa seca da parte aérea (mg)					
Comercial	0,74 c*	0,84 c	0,96 b	1,10 c	1,60 a
VEB	1,34 b	1,54 b	1,63 a	1,60 b	1,64 a
CEBP	1,20 b	1,60 b	1,70 a	1,57 b	1,51 a
EB	1,72 a	1,80 a	1,73 a	1,83 a	0,0 b**
Massa seca da raiz (mg)					
Comercial	0,06 c	0,10 c	0,14 c	0,25 c	0,67 b
VEB	0,39 b	0,65 b	0,83 b	0,91 b	1,04 a
CEBP	0,32 b	0,71 b	0,97 b	0,92 b	1,06 a
EB	0,79 a	1,00 a	1,16 a	1,41 a	0,0 c
Massa seca total (mg)					
Comercial	0,80 c	0,94 c	1,11 b	1,35 c	2,27 a
VEB	1,34 b	2,19 b	2,46 a	2,51 b	2,69 a
CEBP	1,20 b	2,31 b	2,67 a	2,49 b	2,58 a
EB	1,72 a	2,80 a	2,90 a	3,25 a	0,0 b

*Médias seguidas de mesma letra nas colunas, para as doses de fertilizantes, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade ($P < 0,05$), com o uso do software SISVAR (Ferreira, 2008).

**Mudas não sobreviveram aos 120 dias de experimento

A produção de massa seca total das plantas seguiu a mesma tendência das avaliações da MSPA e da MSR, ou seja, os melhores resultados também foram encontrados com os tratamentos constituídos por EB, até a dose de 80%. Na dose de 100%, os fertilizantes VEB e CEBP, produziram MST semelhante às produzidas com o substrato comercial. Neste sentido, avaliando a influência do vermicomposto na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, Schumacher et al. (2001), observaram que o aumento da dose de vermicomposto resulta em maior acúmulo de massa seca da raiz e massa seca total das mudas. Isto provavelmente deve-se ao fato de que o EB tem maior disponibilidade de nitrogênio e potássio, favorecendo o desenvolvimento das plantas.

Para a altura das mudas, o maior valor foi encontrado com a dose de 100% para o substrato comercial (Figura 2a) e 79% para o fertilizante VEB. Para o

fertilizante CEBP maior produção foi encontrada com a dose de 74%, enquanto que para o EB a maior produção foi encontrada com a dose de 49% (Figura 2a).

A utilização do EB resultou na produção de mudas de eucalipto estatisticamente superiores no tratamento com 20% dos fertilizantes utilizados neste experimento (Tabela 3). Nas doses de 40, 60 e 80% o EB não diferiu do VEB e do CEBP. Na dosagem de 100% a produção das mudas não diferiu estatisticamente entre os substratos, comercial, VEB e CEBP (Tabela 3).

O uso do substrato comercial resultou em mudas com alturas estatisticamente menores em todas as proporções testadas, exceto na dosagem de 100% (controle), quando não diferiu estatisticamente do VEB e do CEBP (Tabela 3). A menor altura das mudas, encontrada nos tratamentos com associação de areia e substrato comercial está de acordo com os resultados encontrados por Oliveira et al. (2008), que avaliaram a produção de mudas de espécies florestais, com diversos substratos, entre estes um substrato comercial e o esterco bovino. As mudas de eucalipto produzidas com o substrato comercial resultaram em mudas com menor altura, enquanto as maiores alturas foram encontradas nos tratamentos que tiveram em sua composição o esterco bovino, em proporções de 30 a 60%, demonstrando que a utilização de esterco bovino favorece o crescimento das mudas.

Para o diâmetro do caule das mudas de eucalipto, o maior valor foi encontrado com a dose de 100% para o substrato comercial (Figura 2b) e 66% para os fertilizantes VEB e CEBP. Enquanto que para o EB a maior produção foi encontrada com a dose de 49% (Figura 2b).

Exceto na dosagem de 100%, onde não houve diferença estatística entre os tratamentos (comercial, VEB e CEBP), em todas as outras dosagens, a utilização do EB resultou em maiores diâmetros dos caules das mudas, sendo que estes foram significativamente superiores nas dosagens de 20 e 80%. Na dosagem de 100%, o substrato comercial resultou em plantas com diâmetro semelhante aos produzidos com os fertilizantes VEB e CEBP. Em todas as outras dosagens (20, 40, 60 e 80%) a utilização deste substrato resultou em diâmetros do caule inferiores às produzidas com os substratos produzidos com os fertilizantes orgânicos.

Os resultados encontrados para o diâmetro do caule seguiram a mesma tendência dos encontrados na avaliação da altura das mudas, ou seja, o EB proporcionou maior diâmetro de caule nas doses de 20 a 80%. Nas doses de 40 e 60% o EB não diferiu dos substratos produzidos com VEB e CEBP.

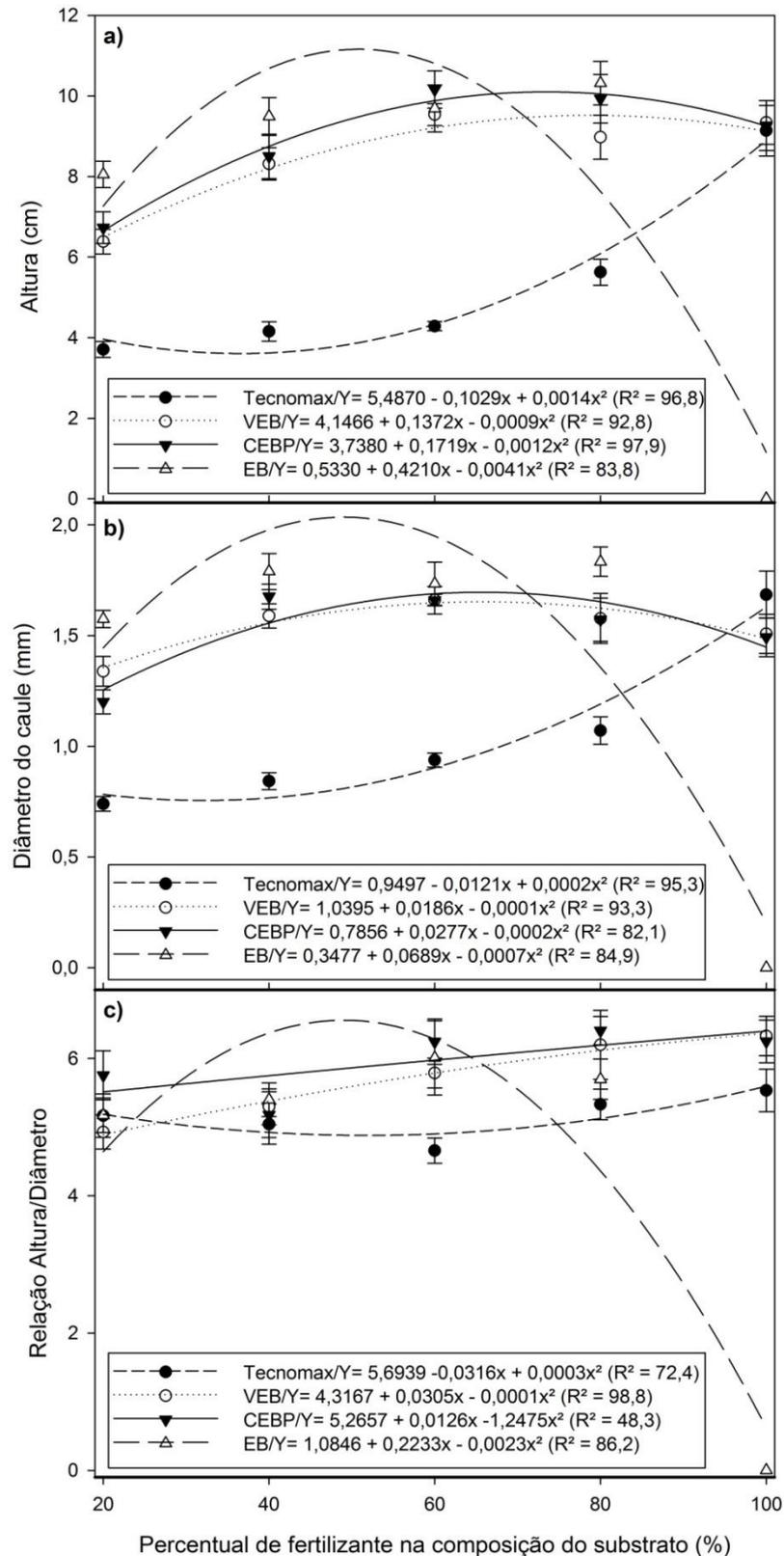


Figura 2 - Altura (a), diâmetro do caule (b) e relação altura/diâmetro (c) de mudas de *E. urograndis* produzidas a partir de substratos orgânicos e comercial (Tecnomax); vermicomposto de esterco bovino (VEB); composto de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP) e esterco bovino (EB).

Tabela 3 – Diâmetro; altura; relação altura/diâmetro do caule (RAD); índice de qualidade de Dickson (IQD) e relação parte aérea/raiz (RPAR) de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidos a partir de substratos orgânicos e substrato comercial: vermicomposto de esterco bovino (VEB); composto de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP) e esterco bovino (EB), aos 120 dias após o transplante, em casa de vegetação.

Fertilizante	Doses de fertilizante na composição do substrato (%)				
	20	40	60	80	100
Altura (cm)					
Comercial	3,70 c*	4,15 b	4,28 b	5,62 b	9,14 a
VEB	6,38 b	8,31 a	9,53 a	8,97 a	9,34 a
CEBP	6,73 b	8,50 a	10,1 a	9,93 a	9,26 a
EB	8,05 a	9,49 a	9,68 a	8,97 a	0,0 b**
Diâmetro (mm)					
Comercial	0,74 c	0,84 b	0,94 b	1,07 c	1,68 a
VEB	1,33 b	1,59 a	1,66 a	1,57 b	1,50 a
CEBP	1,20 b	1,67 a	1,66 a	1,57 b	1,49 a
EB	1,57 a	1,79 a	1,73 a	1,83 a	0,0 b
RAD					
Comercial	5,16 a	5,04 a	4,65 b	5,33 b	5,53 a
VEB	4,93 a	5,29 a	5,79 a	6,20 a	6,33 a
CEBP	5,75 a	5,18 a	6,24 a	6,40 a	6,24 a
EB	5,17 a	5,39 a	6,00 a	5,70 b	0,0 b
IQD					
Comercial	0,05 c	0,07 c	0,10 c	0,13 c	0,29 a
VEB	0,21 b	0,29 b	0,32 b	0,34 b	0,34 a
CEBP	0,17 b	0,32 b	0,35 b	0,31 b	0,34 a
EB	0,35 a	0,40 a	0,42 a	0,48 a	0,0 b
RPAR					
Comercial	13,5 a	9,91 a	7,92 a	5,92 a	3,05 a
VEB	4,19 a	2,45 b	2,08 b	2,06 b	1,77 a
CEBP	3,99 a	3,10 b	1,86 b	1,84 b	3,00 a
EB	2,35 b	2,80 b	1,74 b	1,43 b	0,0 b

*Médias seguidas de mesma letra nas colunas, para as doses de fertilizantes, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade ($P < 0,05$), com o uso do software SISVAR (Ferreira, 2008).

** Mudas não sobreviveram aos 120 dias de experimento

Na dose de 100% não houve diferença entre o substrato comercial, o VEB e o CEBP. Esta mesma tendência foi observada por Silva et al. (2014) que avaliaram a altura e o diâmetro do caule na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* em substratos orgânicos alternativos, quando estas avaliações obtiveram maiores valores nos mesmos tratamentos.

Para a relação altura/diâmetro do caule (RAD) das mudas de eucalipto, o maior valor foi encontrado com a dose de 100% para o substrato comercial, para o VEB e para o CEBP (Figura 2c). Para o fertilizante EB a maior relação foi encontrada com a dose de 49% (Figura 2c).

A relação entre altura e diâmetro do caule (RAD) apresentou os melhores resultados quando os fertilizantes utilizados foram o CEBP e o VEB (Tabela 3) em todas doses avaliadas. Nas dosagens de 20 e 40% não houve diferenças estatística entre os substratos avaliados. Na dose de 60% o EB não diferenciou do CEBP e do VEB. Na dose 100% o substrato comercial não apresentou diferença para o CEBP e para o VEB. A relação entre a altura da parte aérea e o diâmetro do caule constitui um importante índice, uma vez que é formado por dois importantes parâmetros morfológicos, exprime o equilíbrio de crescimento e deve situar-se entre 5,4 e 8,1 (Carneiro, 1995). Desta maneira, o substrato utilizando CEBP alcançou estes índices em todas as dosagens avaliadas, exceto na dose de 40%. Os tratamentos com utilização de VEB não atingiram estes valores nas dosagens de 20 e 40%. O substrato comercial atingiu estes índices nas doses de 80 e 100%. Já o EB não atingiu estes valores nas doses de 20 e 100%. Avaliando a produção de mudas de essências florestais em diferentes substratos (húmus de minhoca, esterco bovino curtido, esterco de galinha, entre outros) e posterior acompanhamento do desenvolvimento em campo, Oliveira et al. (2008), encontraram maior RPAR nos tratamentos com esterco bovino (60%) e acículas de pinus (30%), para aroeirinha, acácia e eucalipto.

Para a relação parte aérea/raiz (RPAR) das mudas de eucalipto, o maior valor foi encontrado com a dose de 20% para o substrato comercial, para o VEB e para o CEBP (Figura 3a). Para o fertilizante EB a maior relação foi encontrada com a dose de 32%.

Entre todas as dosagens experimentadas, para a relação parte aérea/raiz, os tratamentos com associação de substrato comercial obtiveram maior RPAR, sendo estatisticamente superiores aos demais nas dosagens de 40, 60 e 80% (Tabela 3).

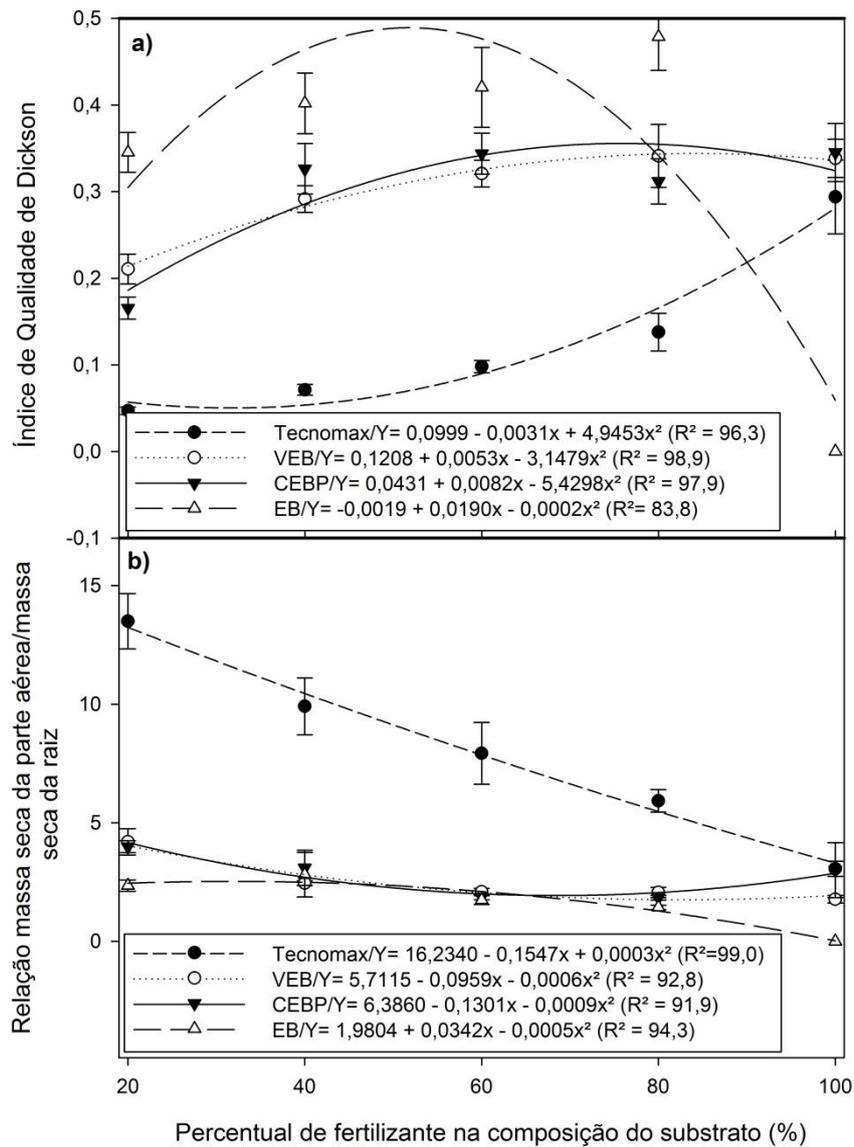


Figura 3 - Índice de qualidade de Dickson (a) e relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (b) de mudas de *E. urograndis* produzidas a partir de substratos orgânicos e comercial (Tecnomax): vermicomposto de esterco bovino (VEB); composto de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP) e esterco bovino (EB).

Nesta avaliação o EB apresentou valores inferiores em todas as dosagens. Uma baixa relação parte aérea/raiz pode ser benéfica ao desenvolvimento das mudas em condições de baixa fertilidade, pois haverá maior volume de solo explorado pelo sistema radicular que pode extrair mais nutrientes para suprir as necessidades da planta (Steffen et al., 2011). No entanto, a maior translocação de

foto-assimilados para o sistema radicular, em detrimento da parte aérea, pode limitar o desenvolvimento vegetativo desta (Pinto et al., 2013).

Para o índice de qualidade de Dickson das mudas de eucalipto, o maior valor foi encontrado com a dose de 100% para o substrato comercial (Figura 3b) e 86% para o fertilizante VEB. Para o fertilizante CEBP o maior índice foi encontrado com a dose 75%. Enquanto que para o EB a maior produção foi encontrada com a dose de 51% (Figura 3b).

Em todas as dosagens avaliadas, para o índice de qualidade de Dickson (IQD), os melhores resultados foram encontrados quando o fertilizante utilizado foi o EB, exceto na dosagem de 100%, onde as mudas produzidas com EB não sobreviveram e as mudas produzidas com os substratos não apresentaram diferenças entre si. Quanto maior o valor de IQD, maior a qualidade da muda, pois este índice correlaciona variáveis de produtividade como o diâmetro, a altura, a massa seca total, a massa seca da parte aérea e a massa seca da raiz (Dickson et al., 1960). Considerando o IQD encontrado com o tratamento controle (100% comercial) como adequado, pode-se selecionar os melhores índices para a produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*: VEB (40-100%), CEBP (40 – 100%) e EB (20 – 80%) (Figura 4).

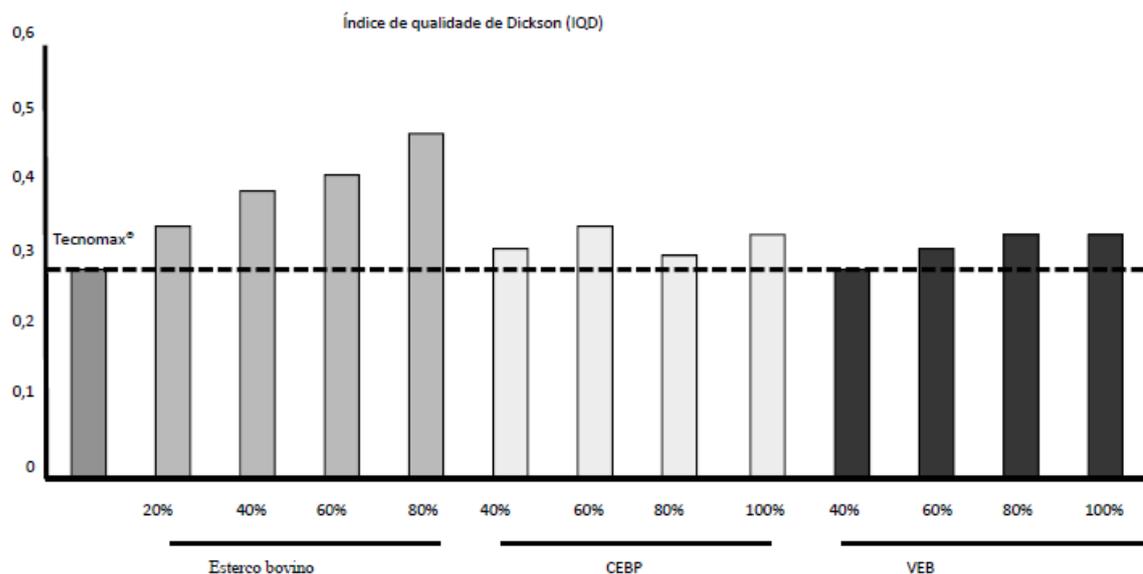


Figura 4 - Índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Eucalyptus urograndis* produzidas a partir de substratos orgânicos e comercial (Tecnomax); vermicomposto de esterco bovino (VEB); composto de esterco bovino e palha de campo nativo (CEBP) e esterco bovino (EB).

O EB apresentou os maiores valores de IQD, nas dosagens de 20, 40, 60 e 80%. Estes resultados expressam a possibilidade da utilização do EB como componente no substrato para a produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*. Resultado semelhante foi encontrado por Trazzi et al. (2013) que avaliaram a utilização de esterco bovino, esterco de codorna e cama de frango para a produção de mudas de *Tectona grandis* Linn. F.

A utilização de EB, compostado, vermicompostado, ou sem processos de transformação, resulta em um adequado fertilizante para a produção de mudas de eucalipto, com qualidade superior ou semelhante às mudas produzidas com substrato comercial.

4.6 Conclusões

O vermicomposto de esterco bovino e o composto de esterco bovino e palha de campo nativo, podem ser utilizados na formulação de substratos para a produção de mudas *Eucalyptus urograndis* em doses de 40 a 100%.

A utilização do esterco bovino na formulação de substratos para a produção de mudas *Eucalyptus urograndis* nas doses de 20 a 80%, favorecem o acúmulo de massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, massa seca total, altura, diâmetro índice de qualidade de Dickson e relação altura/diâmetro do caule.

4.7 Referências bibliográficas

ANDA - **Associação Nacional para Difusão de Adubos**. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por>>. Acesso em 17 de abril. 2013.

BOUCHÉ, M. B. Lombriciens de France. Écologie et Systématique. I. N. R. A. **Publ. Ann. Zool. Ecol. Anim.** (no hors-serie) v. 72(2), 671p. 1972.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná/Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 451p. 1995.

CUNHA, A. M. et al. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. **Revista Árvore**, v. 30 (2), p. 207-214, 2006.

DICKSON, A. et al. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

DOMÍNGUEZ, J.; EDWARDS, C. A. Relationships between composting and vermicomposting: relative values of the products. In: Edwards, C. A.; Arancon, N. Q.; Sherman, R. L. (Eds.) **Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Waste and Environmental Management**. CRC Press. Boca Raton, Florida. p. 1-14, 2011.

DOMÍNGUEZ, J. et al. Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. **Acta Zoológica Mexicana**, v. 26 (2), p. 359–371, 2010.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Produção de Informação, 212p., 1997.

FERREIRA, D. F. SISVAR: Um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v. 6, p. 36-41, 2008.

GALBIATTI, J. et al. Formação de mudas de eucalipto com utilização de lixo orgânico e níveis de irrigação calculados por dois métodos. **Engenharia Agrícola**, v. 27 (2), p. 445-455, 2007.

GOMES, J. M. et al. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26 (6), p. 655-664, 2002.

KRATZ, D. et al. Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus benthamii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 607-621, 2013.

MAEDA, S. et al. Caracterização de substratos para produção de mudas de espécies florestais elaborados a partir de resíduos orgânicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 54, p. 97-104, 2007.

OLIVEIRA, R. B. et al. Produção de mudas de essências florestais em diferentes substratos e acompanhamento do desenvolvimento em campo. **Ciência e agrotecnologia**, v. 32 (1), p. 122-128, 2008.

PINTO, S. I. C. et al. Eficiência nutricional de clones de eucalipto na fase de mudas cultivados em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 523-533, 2011.

SCHUMACHER, M. V. et al. Influência do vermicomposto na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, v. 11 (2), p. 121-130, 2001.

SILVA, R. F. et al. Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* em substratos orgânicos alternativos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, (3), p. 609-619, 2014.

STEFFEN, G. P. K. et al. Utilização de vermicomposto como substrato na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, p. 75-82, 2011.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p., 1995.

TRAZZI, P. A. et al. Substratos de origem orgânica para produção de mudas de teca (*Tectona grandis* Linn. F.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, (3), p. 401-409, 2013.

TUCCI, C. A. F. et al. Adubação nitrogenada na produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). **Acta Amazonica**, v. 39 (2): p. 289–294, 2009.

VARNERO, M. T. M. et al. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. **Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal**, v. 7, p. 28-37, 2007.

5. Considerações finais e sugestões de estudos

A partir do trabalho realizado considera-se que:

a) Impacto da compostagem e vermicompostagem na liberação de nitrogênio, fósforo e potássio e índice de eficiência de esterco bovino no solo.

Os índices de eficiência do nitrogênio, do fósforo e do potássio, dos fertilizantes orgânicos à base de esterco bovino, utilizados no experimento, alcançaram valores inferiores aos estipulados pelo Manual de Adubação e Calagem para os estados do RS e SC (CQFS, 2004):

Para o esterco bovino e fertilizantes produzidos a partir de esterco bovino, a CQFS indica índice de eficiência do nitrogênio de 0,3 no 1º cultivo e 0,2 no 2º cultivo, ou seja, 0,5 (50%) no total. Os resultados demonstram que o esterco proveniente da bovinocultura de corte (EBC), apresentou o maior índice de eficiência, de 0,193, ou seja, menos da metade do valor indicado pela CQFS (2004).

Para o esterco bovino e fertilizantes produzidos a partir de esterco bovino, a CQFS indica índice de eficiência do fósforo de 0,8 no 1º cultivo e 0,2 no 2º cultivo, ou seja, 100%. Os resultados demonstram que o vermicomposto de esterco bovino (VEB) apresentou o maior índice de eficiência, 0,624.

Para o esterco bovino e fertilizantes produzidos a partir de esterco bovino, a CQFS indica índice de eficiência do potássio de 1,0 já no 1º cultivo, ou seja, 100% de disponibilidade do potássio. Os resultados demonstram que vermicomposto produzido em elevada umidade (VEU) apresentou o maior índice de eficiência, de 0,819, ou seja, abaixo do informado pelo Manual de Adubação e Calagem.

Para a disponibilização do fósforo e do potássio foi observado que as maiores quantidades são liberadas logo após sua adição no solo, ou até os 28 dias. Para o nitrogênio, os maiores valores de mineralização são observados até os 56 dias, com exceção para os fertilizantes vermicomposto produzido em elevada umidade (365) dias e o esterco proveniente da bovinocultura leiteira (224) dias.

b) Utilização de fertilizantes orgânicos na produção de plantas de alface e cenoura.

A transformação do esterco bovino pelo processo de vermicompostagem, pode ser recomendado para posterior utilização na produção destas hortaliças como a alface e a cenoura.

Para o cultivo da alface, utilizando os fertilizantes orgânicos, quanto maior a dose utilizada, maior foi a produtividade. A utilização do vermicomposto de esterco bovino resultou nas maiores produtividades (massa fresca da parte aérea). A adubação mineral apresentou melhor resposta com a dose de 66% do nitrogênio recomendado pela CQFS (2004), ou seja, com 99 kg de nitrogênio ha⁻¹.

Para o cultivo da cenoura, a recomendação de fertilizantes estabelecida pela CQFS (2004), (100% da dose de nitrogênio, ou seja 100kg ha⁻¹) apresentou os melhores resultados, exceto para adubação mineral que alcançou os melhores resultados com 133% da dose recomendada. Contudo, este resultado encontrado com a adubação mineral, apresentou produtividade inferior às encontradas em todas as doses (33, 66, 100, 133 e 166%) para os fertilizantes orgânicos. A utilização do vermicomposto de esterco bovino resultou nas maiores produtividades (massa fresca da raiz).

c) Compostos à base de esterco bovino para produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*

Para a produção de mudas de eucalipto, os fertilizantes orgânicos associados com areia, demonstraram potencial para substituir o substrato comercial. Os fertilizantes vermicomposto de esterco bovino (nas doses de 60, 80 e 100%) composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo (nas doses de 60, 80 e 100%) e esterco proveniente da bovinocultura de corte (nas doses de 20, 40, 60 e 80%) alcançaram produtividades semelhantes ou maiores às alcançadas pelo substrato comercial.

O esterco bovino, sem passar por processos de compostagem e de vermicompostagem, pode ser utilizado na formulação de substratos em associação com a areia, para a produção de mudas de eucalipto.

Os resultados encontrados neste estudo demonstram, assim como muitos resultados encontrados na literatura, que a resposta produtiva das plantas, quando submetidas à fertilização orgânica com vermicomposto, está relacionada não apenas ao seu potencial fertilizante, mas também a algum tipo de substância promotora de crescimento. Na literatura muito se atribui a estes promotores de crescimento, no entanto, poucos são os trabalhos que conseguem identificar e atribuir tal comportamento. Assim, é essencial que se desenvolvam trabalhos com o intuito de esclarecer a presença e a influência de promotores de crescimento em cultivos que utilizam o vermicomposto.

Durante a execução dos experimentos foi observado que posteriormente à adição dos fertilizantes orgânicos, ocorreu um período, próximo de 15 dias, em que não se desenvolveram plantas invasoras. Este comportamento precisa ser melhor estudado, para verificar se há relação com o pH, com a liberação de substâncias, ou a outro fator relacionado à adição destes fertilizantes.

O processo de vermicompostagem com elevada umidade e injeção de ar, demonstrou potencial em ensaios realizados. O processo apresenta potencial para a multiplicação de minhocas (início do processo com 20 minhocas adultas, e término com mais de 2.000 minhocas entre adultas e juvenis, passados 100 dias). Este processo também parece ser mais eficiente na decomposição de resíduos, uma vez que reduziu um volume de mais de 20L para aproximadamente 800 mL. O processo também se mostrou eficiente na decomposição de casca de arroz em associação com o esterco bovino.

O processo de vermicompostagem com elevada umidade e injeção de ar resulta em dois fertilizantes, um sólido, denominado de VEU e um fertilizante líquido, denominado na literatura de “vermiwash”. Os dois fertilizantes apresentaram concentração de nutrientes similar. O “vermiwash” é uma mistura de água, nutrientes e substâncias excretadas pelas minhocas. Foram realizados ensaios promissores com espécies ornamentais utilizando o “vermiwash” para fertilização e no controle de pragas e doenças. Assim, trabalhos precisam ser desenvolvidos para definir qual o potencial deste processo e do “vermiwash”.

Recomendação baseada na liberação de nutrientes dos estudos dos fertilizantes orgânicos à base de esterco bovino

Para otimizar o uso dos fertilizantes, devemos considerar além do teor de nutrientes do fertilizante orgânico, a disponibilização destes ao passar do tempo e a duração do ciclo da cultura (dias) (Apêndice B). Pode-se utilizar para fins de cálculos de fertilização, o nutriente requerido em menor quantidade pela planta ou o nutriente com maior disponibilização. Assim adiciona-se o fertilizante orgânico para preencher a necessidade deste determinado nutriente e complementa-se a adubação dos outros nutrientes com a fertilização mineral.

Considerando as condições de solo deste experimento, para a cultura da alface, por exemplo, utilizando-se o fertilizante com maior concentração de nitrogênio (esterco proveniente da bovinocultura de corte - EBC), com seu índice de eficiência aos 28 dias (ciclo da alface após transplante), a sua necessidade de adubação nitrogenada (150 kg ha^{-1}) só seria preenchida com 35 Mg ha^{-1} de EBC. Assim, estaríamos extrapolando adubação fosfatada (70 kg ha^{-1}) em aproximadamente 400 kg e a adubação potássica (100 kg ha^{-1}) em torno de 140 kg . Por sua vez, se o cálculo fosse realizado com base na disponibilização do potássio, sua necessidade seria suprida com 11 Mg ha^{-1} . Esta quantidade adicionaria o dobro de fósforo necessário (150 kg ha^{-1}) e ainda 47 kg N ha^{-1} (30%). Por outro lado, para satisfazer a necessidade de fósforo, necessitaríamos de 5 Mg ha^{-1} . Assim, adicionaríamos ainda 35 kg de potássio (35% da necessidade) e 22 kg de nitrogênio (15%). Desta forma, para a cultura da alface (28 dias) utilizando o fertilizante EBC, a adubação fosfatada seria a mais indicada para cálculos de adição, necessitando de adubação mineral para sua complementação.

No apêndice a seguir (Apêndice B), estão descritas recomendações para algumas das principais culturas desenvolvidas no estado do Rio Grande do Sul. As doses recomendadas de N, P e K foram retiradas do Manual de Adubação e Calagem para os estados do RS e SC (CQFS, 2004). Ao comparar a necessidade nutricional das culturas, o ciclo da cultura, e o teor de N, P e K dos fertilizantes, percebe-se que na maioria dos casos a necessidade de fósforo é alcançada com menores doses dos fertilizantes. Nestes casos, o ideal é que se preencha sempre a necessidade do nutriente mais acessível e se complemente com adubação mineral.

Por outro lado, devemos rever a recomendação de fertilizantes para a produção agrícola. Considerando a produção de alface e cenoura, abordados neste estudo, percebemos que a dose recomendada de nitrogênio resulta em uma produtividade inferior à encontrada com doses menores de nitrogênio adicionados ao solo via fertilizantes orgânicos. A dose de 100% de N (150 kg ha^{-1}) adicionados via fontes minerais, resulta em uma produtividade menor que a encontrada em todos os tratamentos com fertilizantes orgânicos, desde as doses com 33% do nitrogênio recomendado. Esta dose de 100% de nitrogênio, via fertilizantes minerais, resulta em produtividades inferiores às encontradas com menores doses de nitrogênio adicionados por fertilizantes minerais ($49,5$ e $99 \text{ kg de N ha}^{-1}$). Doses de nitrogênio de 133 e 166%, na forma mineral, resultam em produtividades ainda menores,

demonstrando que a adubação pode deixar de ser essencial e tornar-se prejudicial em determinadas condições de produção agrícola. Para a cultura da cenoura, quando produzida com fertilizantes minerais, a maior produtividade foi encontrada com 133% da dose de N recomendada. No entanto, esta produtividade foi menor que a encontrada para qualquer dose dos fertilizantes orgânicos.

Apêndice A – Trabalhos com a utilização de fertilizantes orgânicos.

(continua)

Material	Espécie	Resultado	Autores
Vermicomposto (esterco bovino)	<i>Eucalyptus grandis</i> Hill ex Maiden	Doses até 30% favorecem o desenvolvimento das mudas	Schumacher et al., 2001.
Vermicomposto (esterco bovino)	<i>Hovenia dulcis</i> Thunberg	Dose de 40% favorece o desenvolvimento das mudas.	Vogel et al., 2001.
Lodo de esgoto/ Esterco bovino	<i>Acácia mangium</i> <i>Acácia auriculiformis</i>	O uso do esterco bovino resulta em maior crescimento das mudas.	Cunha et al., 2006.
Resíduo sólido orgânico urbano	<i>Eucalitpto sp.</i>	Doses acima de 20% causam efeitos negativos nas plantas.	Galbiatti et al., 2007.
Vermicomposto/ Esterco bovino/ Esterco de galinha/ Casca de amendoim/ Casca de arroz/ Palha de café	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.; <i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden; <i>Acacia holocericea</i> A. Cunn. ex G. Don; <i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi.	Substratos à base de vermicomposto, casca de amendoim e turfa favorecem a produção de mudas.	Oliveira et al., 2008.
Vermicomposto (esterco bovino)	<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden <i>Corymbia citriodora</i> Hill & Johnson	Dose de 80% favorece a produção de mudas de <i>Eucalyptus grandis</i> . Doses de 40 a 80% favorecem a produção de mudas de <i>Corymbia citriodora</i> .	Steffen et al., 2011.
Vermicomposto (esterco bovino)	<i>Eucalyptus sp.</i>	Adição de 10 a 20% favorece o crescimento das plantas.	Poor e Rafiei, 2013.
Vermicomposto (esterco de coelho)	<i>Pinus pinaster</i> Ait	O uso de vermicomposto favorece a germinação.	Lazcano et al., 2010.

Material	Espécie	Resultado	Autores
Vermicomposto (esterco bovino) Esterco bovino	<i>Lactuca sativa</i> L.	67% de esterco e 33% de húmus na favorece a produção das plântulas.	Silva et al., 2008.
Vermicomposto (esterco bovino) Esterco bovino/ Casca de arroz carbonizada	<i>Capsicum annum</i>	A associação de esterco bovino, vermicomposto e casca de arroz carbonizada favorecem a produção de mudas.	Neto et al., 2009.
Vermicomposto (esterco bovino) Casca de arroz	<i>Lactuca sativa</i> L.	A associação de vermicomposto e casca de arroz favorece a produção de mudas.	Steffen et al., 2010.
Composto orgânico	<i>Lactuca sativa</i> L.	Favorece o desenvolvimento das plantas.	Santos et al., 2001.
Composto orgânico misto	<i>Lactuca sativa</i> L.	Resulta em maior número de folhas de alface.	Medeiros et al., 2008.
Composto orgânico	<i>Eruca sativa</i> L.	Produz mudas de qualidade inferior às produzidas com substrato comercial.	Maia et al., 2006.
Esterco bovino	<i>Lactuca sativa</i> L./ <i>Cucumis sativus</i> L.	A aquisição do esterco onera a produção orgânica.	Silva et al., 2008.
Vermicomposto/ Composto de resíduos orgânicos	<i>Lactuca sativa</i> L.	A associação de 20% vermicomposto e 80% composto resulta em maior produção de biomassa. Vermicomposto puro inibe o crescimento das plantas.	Ali et al., 2007.
Vermicomposto/ Esterco suíno/ Esterco de cavalo/Casca de <i>Pinus</i>	<i>Solanum lycopersicum</i> L.	A adição de vermicomposto favorece o crescimento das plantas e a produtividade; produz menos frutos defeituosos.	Surrage et al., 2010.

Material	Espécie	Resultado	Autores
Vermicomposto/ Adubação mineral	<i>Allium cepa</i> L.	A combinação de fertilizantes minerais e vermicomposto favorece o crescimento vegetativo da cebola,	Srivastava et al., 2012.
Vermicomposto (esterco suíno)	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill	Doses de 25 a 50% favorecem o crescimento das plantas.	Atiyeh et al., 2001
Vermicomposto (esterco bovino e restos vegetais)	<i>Fragaria</i> x <i>ananassa</i> Duch.	O uso de vermicomposto favorece o crescimento das plantas, a produção de frutos, a redução de distúrbios fisiológicos e de incidência de doenças.	Singh et al., 2008.
Vermicomposto (esterco bovino)	<i>Allium cepa</i> L. <i>Allium fistulosum</i> <i>L. Apium</i> <i>graveolens</i> var. <i>dulce</i> L. <i>Beta vulgaris</i> L. <i>Brassica oleracea</i> <i>L. Daucus carota</i> <i>L. Lycopersicon esculentum</i> L. <i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Hill <i>Phaseolus vulgaris</i> <i>L. Pisum sativum</i> <i>L. Raphanus sativus</i> L.	O uso de vermicomposto apresenta efeito inibitório sobre a germinação da semente e sobre o desenvolvimento inicial da plântula.	levinsh, G. 2011.

Quadro 1 - Alguns trabalhos publicados sobre a utilização de fertilizantes orgânicos na produção agrícola.

Apêndice B - Recomendação de fertilizantes à base de esterco bovino para produção agrícola.

Necessidade de nutrientes (kg ha⁻¹) – *Segundo a CQFS, 2004.				
				Ciclo (dias)
Cultura	N	P	K	
Alface	150	30	100	28
Cenoura	100	43	83	112
Feijão	50	20	50	56
Soja	-	25	75	112
Trigo	60	25	32	112
Milho	70	40	50	112
Arroz	90	10	15	112
Tomate	50	85	83	112
Morango	120	50	66	112
Videira	40	10	32	365
Erva-mate	30	10	50	365
Acácia-negra	30	7	50	365
Eucalipto	20	15	15	365
Pinus	20	10	10	365

Quadro 2 - Necessidades de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) para o ciclo das culturas. *Os valores foram calculados conforme o Manual de adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2004).

Vermicomposto de esterco bovino				
	Dose	N	P	K
Cultura	(T ha ⁻¹)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
Alface	6,79	6,83	30,00*	35,09
Cenoura	10,6	11,00	43,00	59,00
Feijão	5,18	7,60	20,00	29,33
Soja	6,19	6,40	25,00	34,42
Trigo	5,75	5,95	23,24	32,00
Milho	8,99	9,30	36,31	50,00
Arroz	2,48	2,56	10,00	13,77
Tomate	14,93	15,44	60,28	83,00
Morango	11,87	12,28	47,93	66,00
Videira	2,54	2,55	10,00	13,33
Erva-mate	2,54	2,55	10,00	13,33
Acácia-negra	1,78	1,79	7,00	9,33
Eucalipto	2,86	2,87	11,25	15,00
Pinus	1,91	1,91	7,50	10,00

Quadro 3 - Recomendação para utilização do fertilizante Vermicomposto de esterco bovino. *Valores em negrito indicam o nutriente que teve sua necessidade preenchida com a dose do fertilizante orgânico adicionado.

Composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo				
	Dose	N	P	K
Cultura	(T ha ⁻¹)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
Alface	8,43	13,51	30,00*	12,96
Cenoura	12,00	20,00	43,00	21,16
Feijão	5,94	9,99	20,00	9,54
Soja	6,97	11,65	25,00	12,29
Trigo	6,97	11,65	25,00	12,29
Milho	11,15	18,64	40,00	19,66
Arroz	2,79	4,66	10,00	4,91
Tomate	23,89	39,94	85,00	42,12
Morango	17,04	22,55	50,00	27,02
Videira	3,41	4,51	10,00	5,40
Erva-mate	3,41	4,51	10,00	5,40
Acácia-negra	2,39	3,16	7,00	3,78
Eucalipto	5,11	6,76	15,00	8,11
Pinus	3,41	4,51	10,00	5,40

Quadro 4 - Recomendação para utilização do fertilizante Composto produzido a partir de esterco bovino e palha de campo nativo. *Valores em negrito indicam o nutriente que teve sua necessidade preenchida com a dose do fertilizante orgânico adicionado.

Esterco proveniente da bovinocultura de corte				
	Dose	N	P	K
Cultura	(T ha ⁻¹)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
Alface	4,50	9,65	30,00*	15,57
Cenoura	6,67	11,87	43,00	23,40
Feijão	3,98	7,02	20,00	16,36
Soja	3,88	6,29	25,00	13,61
Trigo	3,88	6,29	25,00	13,61
Milho	6,21	10,07	40,00	21,78
Arroz	1,55	2,52	10,00	5,44
Tomate	13,21	3,24	85,00	46,28
Morango	7,77	12,59	50,00	27,22
Videira	1,66	2,82	10,00	5,75
Erva-mate	1,66	2,82	10,00	5,75
Acácia-negra	1,16	1,98	7,00	4,02
Eucalipto	2,49	4,24	15,00	8,62
Pinus	1,66	2,82	10,00	5,75

Quadro 5 - Recomendação para utilização do fertilizante Esterco proveniente da bovinocultura de corte. *Valores em negrito indicam o nutriente que teve sua necessidade preenchida com a dose do fertilizante orgânico adicionado.

Esterco proveniente da bovinocultura leiteira				
	Dose	N	P	K
Cultura	(T ha ⁻¹)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
Alface	16,53	0,00	30,00*	35,60
Cenoura	25,90	0,87	43,00	76,00
Feijão	11,25	0,00	20,00	23,12
Soja	15,06	0,51	25,00	44,21
Trigo	10,90	0,37	18,10	32,00
Milho	17,04	0,57	28,27	50,00
Arroz	5,11	0,17	8,48	15,00
Tomate	28,28	0,95	46,94	83,00
Morango	22,49	0,76	37,32	66,00
Videira	6,17	8,06	10,00	17,07
Erva-mate	6,17	8,06	10,00	17,07
Acácia-negra	4,32	5,64	7,00	11,95
Eucalipto	5,43	7,08	8,79	15,00
Pinus	3,62	4,72	5,86	10,00

Quadro 6 - Recomendação para utilização do fertilizante Esterco proveniente da bovinocultura leiteira. *Valores em negrito indicam o nutriente que teve sua necessidade preenchida com a dose do fertilizante orgânico adicionado.

Vermicomposto produzido com elevada umidade				
	Dose	N	P	K
Cultura	(T ha ⁻¹)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
Alface	5,80	3,48	30,00*	20,22
Cenoura	8,65	3,38	43,00	33,00
Feijão	4,44	0,27	20,00	15,66
Soja	5,03	1,97	25,00	19,21
Trigo	5,03	1,97	25,00	19,21
Milho	8,05	3,16	40,00	30,73
Arroz	2,01	0,79	10,00	7,68
Tomate	17,11	6,71	85,00	65,31
Morango	10,06	3,95	50,00	38,42
Videira	2,02	2,05	10,00	6,37
Erva-mate	2,02	2,05	10,00	6,37
Acácia-negra	1,41	1,44	7,00	4,46
Eucalipto	3,03	3,08	15,00	9,55
Pinus	2,02	2,05	10,00	6,37

Quadro 7 - Recomendação para utilização do fertilizante Vermicomposto produzido com elevada umidade. *Valores em negrito indicam o nutriente que teve sua necessidade preenchida com a dose do fertilizante orgânico adicionado.