

MARIA EUNICE PAULA DE SOUZA

VERMICOMPOSTAGEM ENRIQUECIDA COM PÓS DE ROCHAS E SUA
UTILIZAÇÃO EM SISTEMAS AGROECOLÓGICOS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2014

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

S729v
2014 Souza, Maria Eunice Paula de, 1971-
Vermicompostagem enriquecida com pós de rochas e sua
utilização em sistemas agroecológicos / Maria Eunice Paula de
Souza. – Viçosa, MG, 2014.
xiv, 81f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Irene Maria Cardoso.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Solos - manejo. 2. Minhocas. 3. Vermicompostagem.
4. Fertilidade do solo. 5. Rochas - Efeitos dos metais pesados.
6. Agricultura sustentável. 7. Ecologia Agrícola. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de
Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

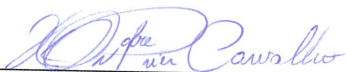
CDD 22. ed. 639.75

MARIA EUNICE PAULA DE SOUZA

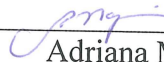
VERMICOMPOSTAGEM ENRIQUECIDA COM PÓS DE ROCHAS E SUA
UTILIZAÇÃO EM SISTEMAS AGROECOLÓGICOS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

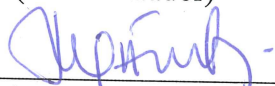
APROVADA: 21 de julho de 2014



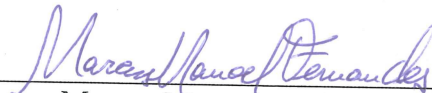
André Mundstock X. de Carvalho
(Co-orientador)



Adriana Maria de Aquino



Maurício Paulo Ferreira Fontes



Marcus Manoel Fernandes



Irene Maria Cardoso
(Orientadora)

Dedico,

Aos meus pais, M^a Paula e Otaviano (in memorian)
que dignamente me apresentaram à importância da
família e ao caminho da honestidade e persistência.

À minha irmã Cí de Sousa Ferreira (in memorian)
pelos ensinamentos que levarei por toda vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por tornar tudo possível.

A Nossa Senhora de Aparecida, minha rainha e protetora de todas as horas.

À minha família, pelo apoio que me deram em especial à minha mãe pela paciência e amor incondicional. Às minhas irmãs Mazé, Romilda e Cí por serem as grandes incentivadoras dos meus estudos. Aos meus irmãos Daniel e Paulinho, pelo carinho e ajuda nos momentos de apuros.

À Professora Irene Cardoso, que orientou deste trabalho, o meu reconhecimento pela oportunidade de realizar este trabalho ao lado de alguém com tanta sabedoria e competência científica, bem como pela disponibilidade, amizade, confiança e paciência.

Ao Professor André Mundstock, pelo estímulo, críticas e sugestões relevantes feitas durante a co-orientação, pelo apoio moral e, sobretudo pela amizade e confiança demonstradas, meu respeito e admiração pela sua serenidade.

Ao Professor Ivo Jucksch, que co-orientou este trabalho, pela contribuição, pela atenção e dedicação desde o início do curso de graduação.

À Adriana M. Aquino, ao Marcus M. Fernandes e ao professor Mauricio Fontes que participaram da banca de defesa deste trabalho, pela atenção e sugestões.

Aos agricultores e suas famílias que permitiram que parte da pesquisa fosse desenvolvida nas suas propriedades. E também ao Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA-ZM) e às organizações locais dos agricultores pela oportunidade que me deram de trabalhar nessa linha de pesquisa.

Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa e profissionais envolvidos no curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, em especial a Luciana pelo companheirismo e disposição para auxiliar e dar apoio em todos os momentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento aos Profissionais do Ensino Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida. Ao CNPq, a Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG), a Secretaria de Educação Superior (MEC/SESu), ao Programa de Extensão Universitária (ProExt) pelo apoio financeiro a parte dos estudos.

Ao Prof. Dr. Jonathan D. Majer que mesmo distante sempre supervisionou meus estudos.

Ao meu companheiro José Antônio Sant'Ana, pelos sorrisos, pelo cuidado carinhoso e pelo amor.

A todos meus sobrinhos e sobrinhos-netos em especial a Marina de Sousa Ferreira pela força e carinho dedicado.

À Daniely de Cássia Deliberali, Glaucia Cordeiro e Edivânia M. G. Duarte pelo apoio durante o desenvolvimento deste trabalho e pela amizade.

À Andreia Paiva Lopes e Pedro Henrique Santos e Silva pela colaboração na execução deste trabalho.

À D. Simone, pelo carinho e também pelo cuidado com meu minhocário.

Ao Coral da UFV, pelo acolhimento, pela convivência e apoio nestes anos do doutorado.

Aos laboratoristas, do Laboratório de Matéria Orgânica dos Solos, em especial ao Braz e a Daniele onde passei grande parte do meu tempo durante os trabalhos.

Aos Companheiros (as) da Pós-graduação, pelo convívio agradável e solidário, por tudo que passamos juntos que jamais esquecerei.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

MARIA EUNICE PAULA DE SOUZA, filha de Maria Paula de Souza e Otaviano Carvalho de Souza, nasceu em Visconde do Rio Branco- MG, e morou a maior parte da sua vida em Viçosa – MG, onde ainda mora.

Em 1995, ingressou no curso de química da Universidade Federal de Juiz de Fora, porém, em virtudes de problemas de saúde na família, não conclui o curso e retornou a Viçosa, onde posteriormente ingressou no curso de agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), graduando-se no ano 2004.

No início de 2004, mudou-se para Araguaína - TO onde iniciou os trabalhos prestando assessoria social e ambiental aos assentados da reforma agrária do estado. Com a necessidade de aprofundar seus conhecimentos, retornou a Viçosa ao final de 2006.

No início de 2007, cursou especialização em Recursos Naturais na Curtin University of Technology, em Perth - WA, Austrália, por 10 meses retornando à Viçosa em dezembro de 2007.

Em agosto de 2008 ingressou no programa de pós-graduação do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas (UFV) concluindo o Mestrado em julho de 2010.

Em agosto de 2010 iniciou o curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa.

Em julho de 2014, submeteu-se à defesa de tese para obtenção do título de Doctor Scientiae.

SUMÁRIO

RESUMO	ix
ABSTRACT	xii
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS	4
CAPÍTULO I: VERMICOMPOSTAGEM EM PROPRIEDADES DE AGRICULTORES FAMILIARES	6
RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. METODOLOGIA	9
2.1. Pesquisa-ação	9
2.2. O despertar para a prática do minhocário	10
2.3. Aprendendo e ensinando sobre o processo de vermicompostagem	10
2.4. Implantação dos minhocários	13
2.5. Oficinas e distribuição de “kits”	16
2.6. Avaliação dos minhocários	16
3. RESULTADOS	16
3.1. Aprendendo e ensinando sobre o processo de vermicompostagem	17
3.2. Avaliação dos minhocários	18
3.3. Distribuição de kits e oficinas	22
4. DISCUSSÃO	22
4.1. Aprendendo e ensinando sobre o processo de vermicompostagem	23
4.2. Avaliação dos minhocários	25
4.2.1. Quais as dificuldades encontradas para realizar a vermicompostagem na propriedade e escola?	25
4.2.2. Por que não utilizavam a técnica do minhocário?	26
4.2.3. Fizeram teste com o vermicomposto pronto? Caso sim, qual diferença visual foi notada?	26
4.2.4. Oficinas e distribuição e kits	27
5. CONCLUSÃO	27
6. REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO II: METAIS PESADOS PRESENTES EM PÓS DE ROCHAS UTILIZADAS DURANTE O PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM	32
RESUMO	32
ABSTRACT	33
1. INTRODUÇÃO	34
2. MATERIAL E MÉTODOS	36
2.1. Obtenção e caracterização dos pós de rochas	36

2.2. Obtenção e caracterização do esterco bovino, calcário e das minhocas.....	37
2.3. Obtenção e avaliação dos vermicompostos enriquecidos (experimento I).....	37
2.4. Crescimento das minhocas	38
2.5. Avaliação do crescimento e disponibilização de metais pesados para as plantas (experimento II).....	39
2.6. Avaliação de metais pesados no solo pós-cultivo	40
2.7. Análises estatísticas	40
3. RESULTADOS	41
3.1. População e biomassa de minhoca	41
3.2. Metais pesados no corpo das minhocas.....	42
3.3. Metais pesados no vermicomposto.....	42
3.4. Biomassa seca das plantas	43
3.5. Metais pesados nas raízes	43
3.6. Metais pesados na parte aérea	44
3.7. Avaliação de metais pesados no solo pós-cultivo.	45
3.8. Balanço de Ni, Cr e Pb nos experimentos (obtenção dos vermicompostos e ensaio agrônômico).....	46
3.8.1. Balanço de metais pesados para o esteatito.....	46
3.8.2. Balanço de metais pesados para o gnaïsse.....	46
4. DISCUSSÕES	47
4.1. População e biomassa de minhocas.....	47
4.2. Metais pesados no corpo da minhoca.....	47
4.3. Metais pesados no vermicomposto.....	48
4.4. Biomassa seca das plantas	48
4.5. Metais pesados na raiz e parte aérea.....	49
4.6. Metais pesados no solo pós-cultivo.....	51
4.7. Balanço dos metais	51
5. CONCLUSÕES	52
6. REFERÊNCIAS	52
CAPÍTULO III: VERMICOMPOSTAGEM ENRIQUECIDA COM DE PÓ DE GNAÏSSE	57
RESUMO	57
ABSTRACT	58
1. INTRODUÇÃO.....	59
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	62
2.1. Obtenção e caracterização do pó de gnaïsse.....	63
2.2. Vermicompostagem utilizando esterco bovino	64
2.3. Avaliação do crescimento e análises químicas das plantas	65
2.4. Avaliação das alterações do solo	66
2.5. Análises estatísticas	67
3. RESULTADOS	67
3.1. Biomassa seca da parte aérea do milho	67
3.2. Análises químicas das plantas	68
3.3. Avaliação das alterações do solo	69

4. DISCUSSÃO	71
4.1. Biomassa seca da parte aérea do milho	71
4.2. Avaliação da nutrição de plantas	71
4.3. Avaliação das alterações do solo	73
5. CONCLUSÕES	74
6. REFERÊNCIAS	75
CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
ANEXO: Capítulo I.....	81

RESUMO

SOUZA, Maria Eunice Paula de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2014. **Vermicompostagem enriquecida com pós de rochas e sua utilização em sistemas agroecológicos.** Orientadora: Irene Maria Cardoso. Coorientadores: André Mundstock Xavier de Carvalho e Ivo Jucksch.

A melhoria no manejo dos esterco é necessária para potencializar a ciclagem de nutrientes nos agroecossistemas dos agricultores familiares, o que pode ser feito utilizando a vermicompostagem. Apesar das vantagens da vermicompostagem, esta é pouco utilizada pelos agricultores, por acreditarem que seja uma técnica cara e complexa e por não terem acesso às minhocas. No processo da vermicompostagem ocorre a transformação dos esterco dos animais em vermicomposto pelas minhocas e a microflora que vive em seu trato digestivo, melhorando com isto a qualidade da matéria orgânica e aumentando a disponibilização dos nutrientes presentes nos esterco. Outras vantagens da vermicompostagem são a redução da mão de obra durante o processo em comparação à técnica convencional da compostagem, o baixo custo e à facilidade de construção do minhocário. Os teores de nutrientes no vermicomposto podem ser aumentados com a adição de pós de rocha. Entretanto, algumas rochas são ricas em metais pesados, o que poderia inviabilizar o seu uso na agricultura caso os metais pesados não sejam complexados durante o processo de vermicompostagem, tornando-os indisponíveis para as plantas. Os objetivos deste trabalho foram avaliar a percepção e as dificuldades de agricultores familiares quanto à produção de vermicompostos; avaliar o potencial das minhocas em imobilizar metais pesados presentes em pós de gnaiss e esteatito adicionados ao esterco durante o processo de vermicompostagem; avaliar a disponibilização, ou não, destes metais pesados para as plantas após o processo de vermicompostagem; e com isso, avaliar o efeito da adição de pós de rochas vermicompostadas no crescimento e reprodução da minhoca Vermelha da Califórnia (*Eisenia andrei*) e no crescimento de plantas e; avaliar a disponibilização de elementos do pó de gnaiss pelo processo de vermicompostagem. No primeiro capítulo treze minhocários do tipo Campeiro foram construídos coletivamente em diferentes localidades, da mesorregião da Zona da Mata mineira. Para avaliar e monitorar os minhocários foram realizadas duas visitas em cada local de construção além de outros meios de comunicação. A partir dessa avaliação foram, também, sanadas as dúvidas e

encaminhadas às demandas. No segundo capítulo, em condição de laboratório, foi avaliada a disponibilização dos metais pesados presentes nos pós de gnaïsse e esteatito após o processo de vermicompostagem e, seu efeito no desenvolvimento das minhocas da espécie *E. andrei* na presença do vermicomposto com ou sem pós de rochas. A produção de vermicomposto foi realizada em frascos plásticos, esterco bovino semicurtido, uma dose de pós de gnaïsse e esteatito (12%), com seis repetições, em delineamento inteiramente casualizado. Realizou-se ainda em casa de vegetação um ensaio agrônômico com a cultura do milho, fertilizada com vermicompostos enriquecidos com pó de gnaïsse, com pó de esteatito e sem enriquecimento com pó de rocha (controle), em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições. Por último, a capacidade de solubilização de minerais durante o processo de vermicompostagem foi avaliada pelo crescimento e nutrição de plantas de milho em experimento de campo. Na obtenção dos vermicompostos foi utilizado esterco bovino, uma dose de pós de gnaïsse. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias seguidas pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5 % de probabilidade. No primeiro capítulo mostrou-se que apesar de compreender a importância das minhocas para a qualidade do solo, a maioria dos agricultores não conhecia um minhocário. Os agricultores e estudantes relataram que não tiveram dificuldades no manejo do minhocário. Os ataques de formigas e sanguessugas foram os maiores problemas encontrados por algumas famílias. Os resultados do segundo capítulo mostraram que o peso seco das minhocas e o desenvolvimento das plantas foram superiores no tratamento enriquecido com pó de gnaïsse. Elevadas concentrações de Ni e Cr foram detectadas em concentrações nas plantas cultivadas em solo fertilizado com vermicomposto enriquecido com pó de esteatito. Em todos os tratamentos, as concentrações de metais presentes no solo pós-cultivo foram baixas. Em campo, os resultados mostraram que a massa seca da parte aérea do milho foi superior no tratamento fertilizado com vermicomposto enriquecido com pó de gnaïsse. As concentrações de K, Ca, Mg, Mn, Ni, Cr e Pb na massa seca da parte aérea do milho foram maiores nos tratamentos fertilizados com vermicompostos enriquecidos com pó de gnaïsse. No solo, as concentrações de P, K, Ca, e o pH foram superiores no tratamento enriquecido com pó de gnaïsse. As concentrações dos metais pesados, não foram alteradas pelos vermicompostos no solo. A partir do conhecimento da técnica, o minhocário tem sido utilizado pelos agricultores e estudantes e estes tem divulgado a

técnica para os seus familiares, vizinhos e outros estudantes. O pó de gnaisse vermicompostado possui potencial de utilização na agricultura, enquanto fonte de nutrientes e promotores de melhorias em características químicas do solo, pois eleva os teores disponíveis de P e K após sua aplicação no solo. Não foi detectado resíduo de metais pesados no solo após a realização do experimento com pó de gnaisse. A recomendação do uso de pó de esteatito na agricultura deve ser vista com mais cuidado, devido aos teores de metais pesados presentes na rocha.

ABSTRACT

SOUZA, Maria Eunice Paula de, DSc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2014. **Vermicomposting associated with rock powder and fertilization of agroecological production systems.** Adviser: Irene Maria Cardoso. Co-advisers: André Mundstock Xavier de Carvalho and Ivo Jucksch.

Appropriate manure management is needed to improve nutrient cycling in the agroecosystems of family farmers. This can be done is by vermicomposting. Despite the advantages of vermicomposting, is it not widely used by farmers because they considered it as an expensive and complex technique, and because the lack of access to earthworms. Vermicomposting involves the transformation of animal manure into vermicompost by earthworms and the micro-flora that lives in their digestive tract. This can improve the quality of organic matter and increase the availability of nutrients from the manure. Other advantages of vermicomposting include the reduction of the workforce required during the process when compared to the conventional technique of composting, plus low cost and ease construction of worm farms. The levels of nutrients present in the manure can be increased with the addition of rock powder. However, some rocks are rich in heavy metals, which may constraints their use in agriculture, unless the heavy metals are bound into complexes in the vermicomposting process, making them unavailable to plants. The objectives of this study were to: evaluate the perception and difficulties of family farmers to prepare vermicompost; evaluate the potential of earthworms to immobilize heavy metals present in powder of gneiss and steatite added to the manure during the vermicomposting process; assess the availability of these heavy metals to the plants after the vermicomposting process; assess the effect of addition of rock powder on the growth and reproduction of *Eisenia andrei* and growth of plants; and, finally, evaluate the nutrient availability from powdered gneiss by the vermicomposting process. In the first chapter, thirteen wormeries (Campeiro type) were built in different locations the Zona da Mata of Minas Gerais. To evaluate and monitor we visited the famers were the wormeries were built two times. During the visits, we clarify some doubts of the farmer and further we send them other information. In the second chapter, under laboratory conditions, the availability of the heavy metals in powdered gneiss and steatite after the vermicomposting process were analysed. Their effect on the development of earthworms was assessed in the presence the vermicompost, with or without the addition of rock powder. The production of

vermicompost was performed in plastic bottles, using cattle manure as substrate, plus a dose of powder gneiss and steatite (12%), with six replicates set out in a completely randomized design. In the greenhouse, an agronomic trial was performed with maize grown: fertilized with vermicompost enriched with powdered gneiss; fertilized with vermicompost enriched with steatite powder; and one treatment with vermicompost but without rock powder (as a control). These were set out in a randomized block design with six replicates. In chapter three, the ability to solubilise minerals during the vermicomposting process was evaluated by growth and nutrition the plants of maize in a field experiment. The vermicompost was obtained by using cattle manure as substrate plus a dose of powdered gneiss. Data were subjected to analysis of variance and the means were compared by Student-Newman-Keuls test at 5% probability. The first study showed that, despite understanding the importance of earthworms for soil quality, most farmers did not know how to build a wormery. Of those that did, farmers and students reported that they had difficulties in the management of the wormerie. The attacks of ants and leeches were the biggest problems encountered by some families. The results of the second chapter showed that the dry weight of earthworms and plant development were higher in the treatment enriched with powdered gneiss. High Concentrations of Ni and Cr were detected in the cultivated plants in soil fertilized with vermicompost enriched with powdered steatite. The concentration of metals in the soil after cultivation for all treatments was low. Field results showed that the dry weight of shoots of maize was higher in the treatment fertilized with vermicompost enriched with powdered gneiss. The concentrations of K, Ca, Mg, Mn, Ni, Cr and Pb in dried shoots of maize were higher in treatments fertilized with vermicompost enriched with powder of gneiss. In the soil, the concentrations of P, K, Ca, and pH were higher in the treatment enriched with powdered gneiss. The concentrations of heavy metals were not affected by vermicompost in the soil. From these results, technical knowledge concerning earthworms has been used by farmers and students to transmit their knowledge to their families, neighbours and other students. Vermicompost enriched gneiss powder has potential use in agriculture as sources of nutrients as it promotes improvements in soil chemical characteristics, and it elevates the levels of available P and K in the soil after application. There was no detected residue of heavy metals in the soil after the experiment. On the other hand, recommendations for the use of steatite powder in

agriculture should be treated with more caution, due to the levels of heavy metals present in the rock.

INTRODUÇÃO GERAL

A utilização de fontes de energia não renováveis na produção de fertilizantes químicos e o custo destes fertilizantes são um dos obstáculos principais para alcançar-se uma agricultura ecologicamente mais sustentável (Kiehl, 2010). Uma alternativa economicamente viável e ambientalmente correta é o uso de resíduos orgânicos na agricultura, pois esses resíduos são muitas vezes produzidos na propriedade, o que torna seu custo reduzido e ao mesmo tempo otimizam a ciclagem de nutrientes na propriedade e adicionam matéria orgânica ao solo.

Uma forma de melhor utilizar esses resíduos é através da vermicompostagem, uma técnica alternativa à compostagem tradicional e à adubação exclusivamente mineral (Edwards & Arancon, 2004). Vermicomposto é o nome que se dá ao resultado da transformação de esterco e restos animais ou vegetais por minhocas e a microbiota que vivem em seu trato digestivo, promovendo os processos de decomposição, acelerando a estabilização da matéria orgânica e modificando as propriedades biológicas, químicas e físicas (Domínguez, 2004) e aumentando a disponibilização dos nutrientes presentes no esterco. Durante a alimentação, as minhocas aceleram a taxa de degradação dos resíduos orgânicos e estabilização das frações húmicas da matéria orgânica (Brown & Doube, 2004). No intestino das minhocas, a os restos orgânicos que não foram digeridos, como também os que não foram assimilados, são expelidos na forma de um composto orgânico rico em nutrientes, que recebe o nome de coprólito ou vermicomposto, em formas facilmente assimiláveis pelas plantas (Edwards 1995; Landgraf et al., 1999). O vermicomposto, além de fornecer nutrientes, favorece a microbiota do solo (Aquino et al., 2005).

As minhocas são também utilizadas como uma importante indicadora dos efeitos tóxicos causados por poluentes naturais ou sintéticos, sobre constituintes dos ecossistemas, devido à sua facilidade em acumular e excretar metais e compostos orgânicos tóxicos (Saint-Denis et al., 1999).

A espécie de minhoca *Eisenia andrei*, conhecida popularmente como “Vermelha da Califórnia” é muito utilizada no processo de vermicompostagem (Brown & James, 2007) por sua capacidade de se adaptar melhor ao cultivo em cativeiro, por ser muito tolerante à variação de temperatura, umidade e ser resistente ao manuseio (Edwards, 1998). Apesar das inúmeras vantagens do uso do vermicomposto, este é pouco utilizado

pelos agricultores da mesorregião Zona da Mata de Minas Gerais devido à falta de conhecimentos sobre a técnica do manejo do minhocário e a falta de acesso às matrizes da minhoca.

O vermicomposto pode ser enriquecido com a adição de pós de rochas silicatadas, resíduo disponível devido ao processo de processamento das rochas. Estes resíduos podem ser relativamente ricos em alguns nutrientes, mas não facilmente disponíveis para as plantas, pois estão na estrutura dos minerais. Entretanto, o processo de vermicompostagem tem o potencial de aumentar o intemperismo dos minerais e aumentar a disponibilidade destes nutrientes.

A adição de pós de rochas na agricultura pode se tornar uma alternativa ambiental e economicamente viável para fertilizar os solos brasileiros (Leonardos et al., 2000, Theodoro & Leonardos, 2006).

O gnaiss é a principal rocha encontrada na Zona da Mata mineira e por isto seus resíduos, resultado da fabricação de britas e outros materiais utilizados na construção civil, são facilmente encontrados na região. É uma rocha de origem metamórfica, possui uma composição mineralógica diversa, com predominância de k-feldspato, quartzo, mica (biotita) e anfibólios (Bigarella et al., 1994). Estes minerais, a exceção do quartzo, são fontes de potássio, presente em teores totais entre 2 e 6 % de K_2O , além de vários outros elementos como Fe, Ca, Mg, P e micronutrientes. Portanto, o uso desta rocha pode contribuir para a fertilização do solo, residindo aí, seu potencial de uso na agricultura.

O esteatito é encontrado em grande abundância na mesorregião do Quadrilátero Ferrífero localizado em Minas Gerais (Roeser et al., 1980) sendo muito utilizado na fabricação de artesanatos e painéis. O processo de elaboração das peças artesanais produzidas com o esteatito é realizado por desgaste da rocha in natura, gerando muitos resíduos na forma de pó, que usualmente é descartado em mananciais e nas proximidades de rios, causando outros problemas ambientais. O esteatito é uma rocha metamórfica de origem ultrabásica de estrutura maciça e coloração verde-acinzentada, constituída principalmente do mineral talco ($3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$) (Rohan et al., 2004). Esta rocha é rica em metais pesados, em especial o níquel e cromo (Jordt-Evangelista, & Silva, 2005) que pode inviabilizar o seu uso na agricultura. O processo de vermicompostagem pode complexar estes metais, não deixando-os disponíveis para as plantas (Pereira & Arruda, 2003).

Atualmente tem ocorrido um incremento na concentração de metais pesados no meio ambiente como resultado da queima de combustíveis fósseis, utilização de agroquímicos, extração e beneficiamento de rejeitos industriais e descarte de lodo de esgoto (Nriagu & Pacyna, 1989; Alleoni et al., 2005; Guilherme et al., 2005). Tal incremento pode ter produzido efeitos nocivos à saúde humana (Mudgal et al., 2010), à flora e à fauna (Gbaruko & Friday, 2007), por alterar o ciclo desses metais. Isto pode ser evidenciado pelas concentrações desses elementos observadas nos principais reservatórios, rios (Jordão et al., 1996), solos (Cunha, 2008), material compostado de diversas origens (Smith, 2009) e atmosfera (Walters, 2010). Por isto, deve-se ter cuidado ao levar resíduos para o solo que possam contribuir para aumentar a quantidade de metais pesados. Sendo assim, para utilizar pós de rochas como fertilizantes, faz-se necessário avaliar se os metais presentes nos mesmos estão disponíveis às plantas.

Desta forma, os objetivos deste estudo foram: i. analisar a percepção e as dificuldades dos agricultores familiares quanto à produção de vermicompostos; ii. avaliar a disponibilização dos nutrientes do pó de gnaïsse e esteatito pelo processo de vermicompostagem; iii. avaliar o efeito da adição de pós de rochas no processo de vermicompostagem sobre o crescimento e a reprodução dos indivíduos da espécie *E. andrei*. iv. avaliar a disponibilização, ou não, dos metais pesados presentes nos pós de rochas para as plantas e para o solo após o processo de vermicompostagem; e v. avaliar o potencial do vermicomposto com, e sem pó de gnaïsse, na promoção do crescimento e nutrição do milho, bem como sobre as características químicas do solo.

A tese está estruturada em três capítulos. No Capítulo I, “Produção de vermicomposto em propriedades de agricultores familiares”, o resgate do conhecimento popular sobre minhocas, vermicompostagem e o aprendizado coletivo (agricultores, estudantes, professores e pesquisadores) no manejo do minhocário foi sistematizado. No Capítulo II, “Metais pesados presentes em pós de gnaïsse e esteatito utilizados durante o processo de vermicompostagem”, estudou-se a disponibilização dos metais pesados presentes nos pós de gnaïsse e esteatito após o processo de vermicompostagem e seu efeito no desenvolvimento das minhocas da espécie *E. andrei* e para a planta. Por fim, no capítulo III, “Avaliação da eficiência agrônômica da vermicompostagem associada a pó de rocha”, foi avaliada em experimento no campo.

REFERÊNCIAS

- Alleoni, L.R.F., Borba, R.P., Camargo, O.A. 2005. Metais pesados: Da cosmogênese aos solos brasileiros. In: Torrado-Vidal, P., Alleoni, L.R.F., Cooper, M., Silva, A.P., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 4, 1- 42.
- Aquino, A.M., Oliveira, A.M.G., Loureiro, D.C., 2005. Integrando Compostagem e Vermicompostagem na Reciclagem de Resíduos Orgânicos Domésticos. Embrapa agrobiologia. Circular técnica 12. Embrapa Agrobiologia. 4p.
- Bigarella, J.J., Becker, R.D., Santos, G.F., Passos, E., Suguio, K. 1994. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis. Ed. UFSC.. 423p.
- Brown, G.G. & Doube, B.M. 2004. Foundation interactions between earthworm, microorganisms, MO and plants. In: Edwards, C. A. (Ed). Earthworm ecology. 2. ed. Boca Raton, London, New York: CRC Press. pp. 213-239.
- Brown, G.G., James, S.W. 2007. Ecologia, biodiversidade e biogeografia das minhocas no Brasil. In: Brown, G.G., Fragoso, C. (Ed.). Minhocas na América Latina: biodiversidade e ecologia. Londrina: Embrapa Soja. pp. 297-381.
- Cunha, K.P.DA., Do Nascimento, CW., Pimentel, R.A., Accioly, M., Da Silva, A.J. 2008. Disponibilidade, acúmulo e toxidez de cádmio e zinco em milho cultivado em solo contaminado. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 32, 1319-1328.
- Domínguez, J. 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. In: Edwards, C. A., 2004. (Ed). Earthworm ecology. 2. ed. Boca Raton, London, New York: CRC Press. pp. 401-424.
- Edwards, C.A. 1995. Historical Overview of Vermicomposting. BioCycle. 36, 56-58.
- Edwards, C.A. 1998. Earthworm Ecology. New York: Academic Publishing. 388p.
- Edwards, C.E., Arancon, N.Q., 2004. The use of earthworms in the breakdown of organic wastes to produce vermicomposts and animal feed protein. In: Edwards, C.A. (Ed.), Earthworm Ecology, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton. pp. 345-380.
- Gbaruko, B.C. & Friday, O.U. 2007. Bioaccumulation of heavy metals in some fauna and flora. International Journal of Environmental Science and Technology. 4, 197-202.
- Guilherme, L.R.G., Marques, J.J., Pierangeli, M.A.P., Zuliani, D.Q., Campos, M. L., Marchi, G. 2005. Elementos-traço em solos e sistemas aquáticos. In: Torrado-Vidal, P., Alleoni, L.R.F., Cooper, M., Silva, A.P., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 4, 345-390.
- Jordão, C.P., Pereira, J.C., Brune, W., Pereira, J.L., Braathen, P.C. 1996. Heavy metal dispersion from industrial wastes in the Vale do Aço, Minas Gerais, Brazil. Environmental Technology. 17, 489-500.
- Jordt-Evangelista, H. & Silva, M.E. 2005. Rochas metaultramáficas de Lamim, sul do Quadrilátero Ferrífero, MG: contribuição ao conhecimento do protólito da pedrasabão. Revista Escola de Minas, Ouro Preto. 58, 11-20.
- Kiehl, E.J. 2010. Novo Fertilizantes Orgânicos - Revisto E Atualizado. Editora Degaspari. 248p.
- Landgraf, M.D., Alves, M.R., Silva, S.C., Rezende, M.O.O. 1999. Caracterização de ácidos húmicos de vermicomposto de esterco bovino compostado durante 3 e 6 meses. Química Nova. 22, 483-486.
- Leonardos, O.H., Theodoro, S.C.H., Assad, M.L., 2000. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian viewpoint. Nutrient Cycling in Agroecosystems 56, 3-9.

- Melamed, R., Gaspar, J.C., Miekeley, N., 2007. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais. CETEM/MCT, Série Estudos e Documentos. 72 p.
- Mudgal, V., Madaan, N., Mudgal, A., Singh, R.B., Mishra, S. 2010. Effect of Toxic Metals on Human Health. *The Open Nutraceuticals Journal*. 3, 94-99.
- Nriagu, J.M., 1989. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. *Nature* 338, 47-49.
- Pereira, M.G., Arruda, M.A.Z. 2003. Vermicompost as a Natural Adsorbent Material: Characterization and Potentialities for Cadmium Adsorption. *Journal of the Brazilian Chemical Society*. 14, 39-47.
- Roeser, U., Roeser, H., Mueller, G., Tobschall, H. J. 1980. Petrogênese dos esteatitos do sudeste do Quadrilátero Ferrífero. - *Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia, Balneário de Camburiú, Santa Catarina*. pp. 2230-2245.
- Rohan, P., Neufuss, K., Matějček, J., Dubský, J., Prchlík, L. and Holzgartner, C. 2004. Thermal and mechanical properties of cordierite, mullite and steatite produced by plasma spraying. *Ceramics International*. 30, 597–603.
- Saint-Denis, M., Narbonne, J.F., Arnaud, C., Thybaud, E., Ribera, D. 1999. Biochemical responses of the earthworm *Eisenia fetida andrei* exposed to contaminated artificial soil: effects of benzo(a) pyrene. *Soil Biology & Biochemistry*. 31, 1837- 1846.
- Smith, S.R. 2009. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environment International*, 35: 142–15, 2009.
- Theodoro, S.H. & Leonardos, O.H. 2006. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 78, 721-730.
- Walters, R. 2010. Toxic Atmospheres: Air Pollution and the Politics of Regulation., *Critical Criminology - An International Journal*. 8, 307- 323.

CAPITULO I

VERMICOMPOSTAGEM EM PROPRIEDADES DE AGRICULTORES FAMILIARES

RESUMO

Este estudo teve como objetivo compreender as razões ligadas a não utilização da técnica da vermicompostagem na região, identificar o conhecimento popular sobre minhocas e sobre vermicomposto e implantar e avaliar a técnica da vermicompostagem. Os trabalhos foram realizados em várias comunidades de oito municípios e em algumas escolas (ensino fundamental, médio e superior) da Zona da Mata de Minas Gerais com a participação de agricultores, professores, pesquisadores e estudantes. Foram realizadas oficinas, muitas delas com a construção de minhocários. As oficinas foram oferecidas com o objetivo de despertar o interesse para a vermicompostagem a partir da percepção de seus benefícios e do aprendizado de como construir e conduzir o minhocário e também compreender o porquê da ausência dessa técnica nas comunidades. Durante as oficinas questões referentes à técnica da vermicompostagem eram discutidas através perguntas geradoras do debate. Foram realizadas 15 oficinas, construídos 13 minhocários em comunidades ou escolas diferentes e distribuídos 55 kits contendo minhocas. Todo o processo envolveu 360 pessoas. O minhocário Campeiro foi apresentado como uma alternativa de baixo custo para o agricultor. Para avaliar e monitorar foram realizadas duas visitas em 11 locais de construção do minhocário. Nos demais informações foram obtidas via telefone, internet e conversas informais. Algumas famílias realizaram pequenos experimentos para avaliar a eficiência do vermicomposto. Verificou-se que apesar de compreender a importância das minhocas para a qualidade do solo, a maioria dos agricultores não conhecia um minhocário. Os agricultores e estudantes relataram que não tiveram dificuldades no manejo do minhocário. Os ataques de formigas e sanguessugas foram os maiores problemas encontrados por algumas famílias. A partir dos experimentos os agricultores avaliaram de forma satisfatória o uso do vermicomposto. O conhecimento e a facilidade na condução da técnica da vermicompostagem, o acesso às minhocas e as vantagens do uso do vermicomposto levaram muitos agricultores a usarem a técnica e a divulgá-las para os seus familiares, vizinhos e outros estudantes, inclusive com o fornecimento de minhocas.

ABSTRACT

VERMICOMPOST ON PROPERTIES OF FAMILY FARMERS

This study aimed to understand the why farmers do not use vermicompost in the region of Zona da Mata of Minas Gerais, Brazil, to identify the popular knowledge about earthworms and vermicomposting and to implement and evaluate the technique of vermicomposting. The studies were conducted in several communities in eight counties and in some schools (primary, secondary and higher) in the region by means of participation of farmers, researchers and students. Several workshops to raise the farmer's interest in vermicomposting by increasing the perception of its benefits and providing information on how to build (Campeiro Wormery) and maintain the wormeries and also to understand the reasons for absence of this technique in farming communities. During the workshops, the technical issues were discussed. Fifteen workshops were held, 13 worm farms were built in communities or schools and 55 kits containing earthworms were distributed. The entire process involved 360 people. The Campeiro wormeries were used because they are cheaper and are easier to build and to manage. Two visits were carried out in 11 construction sites of wormeries in order to monitor their progress. Additional information was obtained via telephone, internet and informal conversations. Some families conducted small experiments to evaluate the efficiency of vermicompost. It was found that, despite understanding the importance of earthworms to soil quality, most farmers knew little or nothing about wormeries. Farmers and students reported that they had no difficulty in handling the worm farm. The attacks of ants and leeches were the biggest problems encountered by some families. From the experiments farmers expressed satisfaction in using vermicompost. After acquiring knowledge in how to build and manage wormeries the farmers were encouraged to use the vermicomposting technique and to disseminate the value of the technique to their relatives, neighbours and other students.

1. INTRODUÇÃO

A vermicompostagem é o processo de transformação do material orgânico pouco degradado em matéria orgânica estabilizada por meio da ação das minhocas e dos microssimbiontes presentes no trato digestivo das mesmas. Microrganismos heterotróficos de vida livre também contribuem para o processo de vermicompostagem (Edwards & Fletcher, 1988). A espécie de minhoca *Eisenia andrei* (classe Oligochaeta), conhecida popularmente como “Vermelha da Califórnia” (Brown & James, 2007), é a mais usada no processo da vermicompostagem devido à sua melhor adaptação ao cultivo em cativeiro, por serem muito tolerantes às variações de temperatura e umidade, e por serem resistentes ao manuseio (Edwards, 1998).

A vermicompostagem permite o melhor uso dos resíduos orgânicos, como por exemplo, os esterco. O esterco bovino é o principal material orgânico utilizado como matéria prima para a criação de minhocas e produção de vermicomposto. Porém, existem vários outros materiais que podem ser utilizados, inclusive misturados ao esterco (Edwards, 2004).

Quando os esterco são dispostos ao ar livre, situação mais comum, ocorrem perdas de suas qualidades químicas, como por exemplo, perda de nitrogênio por volatilização de amônia. As disposições não adequadas dos esterco são também possíveis fontes de poluição. O processo de vermicompostagem forma um composto com melhores características físico-químicas e biológicas do que os esterco (Bidone, 2001), o que pode ampliar sua aceitação e agrega valor comercial aos esterco (Knäpper, 1987).

A vermicompostagem é também uma técnica alternativa à compostagem tradicional, pois exige menos mão de obra, e à adubação exclusivamente mineral (Edwards & Arancon, 2004), pois utiliza os resíduos orgânicos produzidos na propriedade. Assim, essa técnica trata os resíduos, cicla nutrientes e diminui custos, pois reduz gastos com fertilizantes.

Muitos agricultores reconhecem as vantagens do vermicomposto em relação à utilização direta dos resíduos orgânicos e em relação o seu papel na melhoria da qualidade do esterco. Entretanto, nem sempre a vermicompostagem é uma prática comum entre eles, pois acreditam ser necessária, para o sucesso da técnica, a construção de instalações caras ou complexas, com uso de tijolos, cimento e telhas para cobertura

ou, ainda, a compra ou confecção de caixas de madeira (Schiedeck et al., 2007) e também por não terem acesso as matrizes de minhocas.

Este é o caso dos agricultores que integram o projeto de extensão em interface com a pesquisa “Animais para a Agroecologia”, coordenado pela Universidade Federal de Viçosa, em parceria com a organização não governamental Centro de Tecnologia Alternativa da Zona da Mata (CTA-ZM), Sindicato dos Trabalhadores Rurais (STRs) e Escolas Família Agrícola (EFAs). O projeto procura utilizar metodologias que valorizam os conhecimentos dos agricultores e integrar esses saberes ao conhecimento científico. Com isto procura ressignificar tanto o conhecimento acadêmico, quanto o dos agricultores. Um dos temas do projeto é a vermicompostagem.

Para desenvolver esse tema foi realizado o trabalho aqui apresentado com o objetivo de construir de forma participativa o conhecimento sobre o processo de vermicompostagem. Especificamente objetivou-se i) compreender as razões ligadas a não utilização da técnica da vermicompostagem na região; ii) resgatar o conhecimento popular sobre minhocas e sobre vermicomposto e iii) implantar e avaliar a técnica da vermicompostagem.

2. METODOLOGIA

2.1. Pesquisa-ação

A pesquisa-ação é uma metodologia de pesquisa social, com base empírica, concebida e realizada em associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo (Thiollent, 2005). Ao utilizar esta metodologia, o pesquisador deve estar empenhado em solucionar algum problema através de uma ação. Portanto, para este tipo de pesquisa, o problema a ser solucionado torna-se objeto de estudo e os participantes representativos da situação ou do problema se envolvem diretamente com a pesquisa (Thiollent & Silva, 2007). Assim sendo, tanto o pesquisador quanto o grupo pesquisado desenvolvem as ideias e atividades propostas no plano de pesquisa (Franco, 2005). Os resultados da pesquisa-ação se verificam nos “modos de resolução de problemas concretos encontrados no decorrer da realização do projeto”. Os conhecimentos produzidos podem ser “validados pela experimentação” (Liu, 1996).

A pesquisa-ação valoriza os conhecimentos dos agricultores adquiridos a partir do trabalho cotidiano, de suas experiências empíricas, das relações de produção e de suas lutas. Este saber social é útil ao trabalho e aos enfrentamentos vividos cotidianamente pelos agricultores (Damasceno 1993).

2.2. O despertar para a prática do minhocário

Os agricultores participantes do projeto “Animais para a Agroecologia” visitaram um agricultor com experiência no processo de vermicompostagem, em Manhumirim (MG). Este agricultor já trabalhava com o minhocário na propriedade rural e utilizava o vermicomposto para fertilizar a lavoura de café. O objetivo desta visita foi vivenciar as experiências e práticas de uso e manejo do minhocário. Para alguns agricultores esse foi o primeiro contato com o processo de vermicompostagem.

2.3. Aprendendo e ensinando sobre o processo de vermicompostagem

Os agricultores que fizeram a visita à Manhumirim participavam também dos intercâmbios agroecológicos promovidos pelo CTA em alguns municípios da Zona da Mata mineira. Os intercâmbios propõem reunir em uma propriedade da agricultura familiar, os agricultores, professores, estudantes e pesquisadores em momentos de discussão e trocas de saberes, tendo como ponto de partida as experiências desenvolvidas nas propriedades visitadas. Durante os intercâmbios são promovidas oficinas e cursos que são escolhidos em comum acordo com os agricultores.

Algumas oficinas (três) sobre vermicompostagem foram realizadas durante os intercâmbios. Outras foram realizadas em eventos específicos, mas envolvendo os agricultores participantes dos intercâmbios, e ou, do projeto “Animais para a Agroecologia”. Ainda outras oficinas foram realizadas em escolas, onde muitos filhos de agricultores estudam e em eventos em universidades. Durante as oficinas, os minhocários foram implantados nas propriedades dos agricultores familiares e em escolas.

Nas propriedades, durante as oficinas, além da participação das famílias dos agricultores, participavam também estudantes e outros interessados no processo de vermicompostagem. Em cada oficina, inicialmente os participantes foram organizados

em grupos (Fig. 1) para responder as perguntas i) por que eu quero aprender mais sobre minhocas? ii) o que eu quero aprender sobre minhocas? iii) onde eu já ouvi falar de minhocas? iv) o que eu ouvi falar de minhocas? v) quais os usos e as disponibilidades de esterco nas propriedades?

Cada grupo recebeu tarjetas de cores diferentes onde as perguntas foram respondidas. Estas perguntas resgataram as motivações e conhecimentos sobre o uso de esterco e manejo de minhocas.



Fig. 1. Atividades de resgate e motivação para o conhecimento sobre o minhocário.

Fonte: O autor.

Após as discussões, um representante escolhido pelos presentes apresentou as repostas do grupo. Em seguida, foram discutidos os diferentes tipos de minhocários, suas vantagens e desvantagens e dificuldades ou não na construção dos mesmos.

Nas escolas o tema era debatido na sala de aula e em seguida, os participantes se dirigiam ao pátio para construção do minhocário. Assim como nas propriedades rurais, os minhocários foram construídos em locais definidos pelos os estudantes e demais participantes (Fig. 2).

Além dos estudantes e pesquisadores envolvidos nessa pesquisa, o trabalho contou com a colaboração e participação de representantes dos STRs e CTA-ZM que contribuíram na divulgação da técnica, fazendo os contatos entre os agricultores e os pesquisadores.



Fig. 2. Oficina de construção do minhocário nas escolas: a) Escola Municipal Francisco Borges da Silva, comunidade rural do Rio Preto - São Sebastião da Vargem Alegre. b) Escola Família Agrícola - EFA Paulo Freire, comunidade Boa Cama – Acaiaca.
Fonte: O autor.

A Troca de Saberes é um evento anual que ocorre durante a Semana do Fazendeiro, realizada na Universidade Federal de Viçosa, no qual a universidade se mobiliza para receber agricultores e profissionais da agricultura de todo Brasil que buscam aprofundar a experiência e reelaborar a concepção de extensão da universidade (Villar et al., 2011; Barbosa et al., 2013). Durante a IV Troca de Saberes (2012), o tema foi debatido na instalação pedagógica (Lopes et al., 2013) “Vida no Solo”, onde foi construído um mini minhocário (Fig. 3a) que serviu de exemplo para os participantes.

Após a oficina, o minhocário foi encaminhado para uma tenda central, ficando em exposição até o término do evento. Outro minhocário, modelo, foi construído no museu de Ciências da Terra Alexis Dorofeef (Fig. 3b) localizado no Campus da UFV com o mesmo objetivo. Na V Troca de Saberes (2013), um minhocário foi construído diretamente em um espaço na tenda central. Já na Universidade Presidente Antônio Carlos – Unipac - em Leopoldina, foi utilizado a metodologia citada anteriormente para as escolas (Fig. 3c).



Fig. 3. Oficinas realizadas em ambientes universitários. a e b) Oficina na Universidade Federal de Viçosa durante a Troca de Saberes; c) Oficina na Universidade Presidente Antônio Carlos - Unipac – Leopoldina.

Fonte: O autor

2.4. Implantação dos minhocários

Para a montagem do minhocário, foram discutidos vários aspectos como a escolha do local, cuidados e separação do vermicomposto. A família ou a escola indicou o melhor local para construir o minhocário; porém obedecendo a alguns critérios como: necessidade de sombreamento e proximidade da fonte de água e dos alimentos (para reduzir o trabalho do transporte).

O manejo do minhocário requer alguns cuidados simples, porém essenciais. O minhocário necessita ficar ao abrigo de chuva e sol e sempre bem tampado. Deve-se observar se não há formigueiros na redondeza e ficar atentos aos ataques de predadores, como aves, porcos, ratos e formigas. Foi recomendado passar ao redor do minhocário cinza, farinha de osso ou de casca de ovo moída, para evitar que as formigas se aproximem. Em caso de ataque de formigas, sugeriu-se aumentar a umidade do minhocário ou mesmo trocá-lo de local. Orientou-se também observar a umidade do minhocário e molhar conforme a necessidade.

Para a separação do vermicomposto, sugeriu-se colocar dentro do minhocário ao final do processo, um saco de malha grossa (por exemplo, saco de estopa ou saco de cebola), contendo esterco semicurtido umedecido. As minhocas dirigem-se para esse saco à procura de alimento e após uma a duas semanas, as minhocas podem ser coletadas.

O minhocário sugerido aos agricultores (Fig. 4) foi o do tipo Campeiro de bambu, pela simplicidade e menor custo de construção (Aquino & Meirelles, 2006; Schiedeck et al., 2007). A dimensão dos minhocários foi de aproximadamente 0,8 m de

largura, 1,20 m de comprimento e 0,3 m de altura (Schiedeck et al., 2007). Anexo I, como construir o minhocário do tipo Campeiro de bambu.

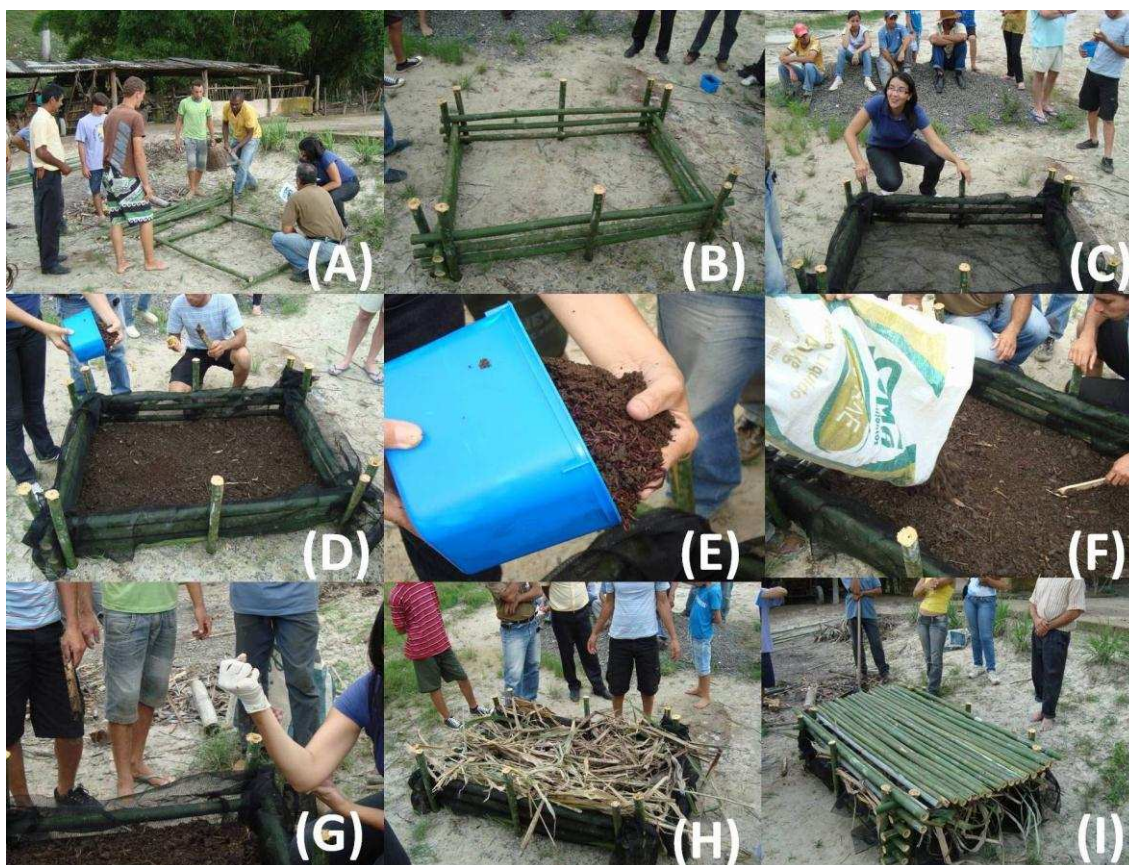


Fig. 4. Sequência de montagem no minhocário campeiro de bambu em propriedade da agricultura familiar e escolas: a) marcação do minhocário; b) montagem das paredes e travamento das cabeceiras com estacas; c) forração com sombrite; d) colocação parcial do substrato; e) colocação das minhocas; f) preenchimento com do resto do substrato (esterco); g) verificação simples do nível de umidade do substrato; h) cobertura de sombrite e palhada; i) cobertura com tapume de bambus.

Fonte: O autor.

Nem todos os minhocários construídos foram do tipo campeiro, pois em algumas comunidades havia disponibilidade de materiais e, outros modelos de minhocários foram construídos. Assim, na EFA Paulo Freire utilizou-se uma carcaça de geladeira (Fig. 5A) e na UNIPAC utilizou-se uma caixa d'água (Fig. 5B).

Todo processo de construção foi realizado com a participação dos agricultores e estudantes. Foi proposto aos agricultores que testassem, em suas propriedades, a qualidade do vermicomposto obtido. Esse foi um teste simples, com culturas fertilizadas (com) ou não (sem) o vermicomposto.



Fig. 5 - Minhocário construído em carcaça de geladeira (a) e minhocário construído em caixa d'água (b).

Fonte: O autor.

As minhocas utilizadas em todos os minhocários foram da espécie Vermelha da Califórnia (*E. andrei*). As minhocas foram colocadas a cima da camada parcial do esterco semicurtido. Utilizou-se 1 litro de minhocas (aproximadamente 1200 minhocas) e aproximadamente 100 kg de esterco. Cada minhocário foi acompanhado pela própria família e estudantes das escolas.

Foram implantados 13 minhocários no período de março de 2011 a setembro de 2012, sendo nos municípios de Acaiaca (1), Araponga (2), Divino (2), Espera Feliz (1), Visconde do Rio Branco (2) e na Escola Municipal Francisco Borges da Silva, Comunidade rural do Rio Preto - São Sebastião da Vargem Alegre (1), Escola Família Agrícola - EFA, Paulo Freire Comunidade Boa Cama, Acaiaca (1), Universidade Presidente Antônio Carlos - UNIPAC, Leopoldina (1) e na Universidade Federal de Viçosa (2).

Além das oficinas de construção do minhocário, outros dois eventos foram realizados, um em Barbacena e um em Guidoal. Em Barbacena, a oficina fez parte do II Seminário de Agroecologia e Homeopatia na Agricultura, que teve como público os agricultores, familiares, associações, cooperativas, estudantes e pesquisadores. Em Guidoal, a oficina foi realizada em uma propriedade de agricultura familiar, com a presença de agricultores, sindicato e pesquisadores.

2.5. Oficinas e distribuição de “kits”

Em algumas oficinas o minhocário não foi construído, porém kits com minhocas foram distribuídos para os agricultores interessados em montar o minhocário. Essas oficinas tiveram o intuito de divulgar a técnica da vermicompostagem nas comunidades e nas escolas.

2.6. Avaliação dos minhocários

Para avaliar o funcionamento dos minhocários foram realizadas duas visitas em cada propriedade e outras formas de comunicação como ligações telefônicas, internet e recados enviados por terceiros, pelos agricultores e estudantes. Durante estas visitas, foram avaliadas qualitativamente e quantitativamente as condições dos minhocários instalados, tanto coletivamente como também aqueles instalados individualmente por algumas pessoas que receberam os kits distribuídos em oficinas.

As perguntas utilizadas na avaliação foram: quais foram as dificuldades encontradas para realizar a vermicompostagem na propriedade e escola? Por que não utilizavam a técnica do minhocário? Quem irá continuar com o minhocário? Fizeram teste com o vermicomposto pronto? Caso sim, qual diferença visual foi notada?

3. RESULTADOS

Participaram da pesquisa agricultores familiares, estudantes, técnicos e professores. Foram realizadas 15 oficinas, construídos 13 minhocários e distribuídos 55 kits contendo minhocas para aqueles os interessados em construir o minhocário nas suas propriedades. Todo o processo envolveu 360 pessoas.

Nas oficinas, construiu-se o minhocário junto com os participantes, foram doadas minhocas para os interessados e buscou-se atender aos anseios dos diferentes atores envolvidos na experimentação de forma participativa, sanando as dúvidas que foram surgiam sobre manejo do minhocário. Na Tabela 1 encontra-se a síntese das respostas obtidas através das perguntas geradoras, realizadas antes da construção minhocário.

Além da troca de conhecimentos e apresentação dos avanços obtidos pelos agricultores em suas propriedades, esse foi um espaço de enriquecimento com novas experiências, onde o minhocário Campeiro foi apresentado como uma alternativa de baixo custo para o agricultor. Ao final, os participantes com interesse em montar o minhocário em suas propriedades receberam kits com minhocas suficientes para começar a criação.

Tabela 1. Síntese das respostas obtidas através das perguntas geradoras de debates durante a instalação dos minhocários nas propriedades agrícolas e escolas.

Perguntas	Respostas frequentes
Por que eu quero aprender mais sobre minhocas?	Para facilitar o trabalho e aproveitamento do esterco, visando uma produção saudável e sustentável.
O que eu quero aprender sobre minhocas?	Se as minhocas são boas para solo; como elas se reproduzem; quanto tempo demora para elas produzirem o vermicomposto; saber mais sobre as funções das minhocas;
Onde eu já ouvi falar de minhocas?	Oficinas do projeto Vacas para o Café (atual Animais para a Agroecologia); em reuniões do projeto da UFV, CTA e sindicatos; na EFA Puris; no intercambio em Manhumirim, propriedade de vizinhos; no programa Globo Rural.
O que eu ouvi falar de minhocas?	Onde tem minhoca a terra é um pouco melhor; minhocas fazem galerias no solo e ajudam a água infiltrar; ajudam na decomposição do esterco para transformá-lo em melhor adubo; na horta tem muita minhoca; são usadas como alimentos para peixes;
Quais os usos e as disponibilidades de esterco nas propriedades?	Uso esterco para adubar a lavoura ou a horta; possui bastante esterco; o esterco sobra na propriedade; a sua maioria é esterco de origem bovina; há também esterco de equídeos e aves.

3.1. Aprendendo e ensinando sobre o processo de vermicompostagem

“Meu pai sempre falava que terra que tem minhoca é uma terra boa.”

A maioria dos agricultores e estudantes conheciam a importância das minhocas para qualidade do solo. Relataram que gostariam de conhecer mais sobre as minhocas, pois elas poderiam ajudar a melhorar o esterco. Demonstraram interesse em aprender mais para entender como produzir os vermicomposto. O conhecimento sobre as minhocas foi adquirido através de seus familiares, amigos, vizinhos e atividades oferecidas pela universidade, sindicatos, intercâmbios e televisão (Tabela 1).

3.2. Avaliação dos minhocários

A avaliação mostrou que a maioria dos minhocários foram conduzidos com sucesso. Para tanto, a participação dos agricultores, dos pesquisadores e estudantes da UFV foi fundamental no cuidado dos minhocários.

A maioria das famílias de agricultores (75% dos minhocários montados nas propriedade dos agricultores) disseram que pretendem continuar com o minhocário e também divulgá-lo para as comunidades vizinhas, pois acreditam que o vermicomposto produzindo “tem muitos benefícios para a planta”, conforme relato de uma agricultora.

A maioria relatou que nunca tinham ouvido falar a respeito de um minhocário. Já os que o conheciam não sabiam como construí-lo. Alguns disseram possuir alguma experiência com a compostagem, porém não obtiveram bons resultados, principalmente devido à dificuldade no processo de produção do composto. A experiência não muito positiva com a compostagem, os fez pensar que também seria muito difícil construir e manejar um minhocário. Outros, embora conhecessem a técnica, não sabiam como conseguir as matrizes das minhocas. A partir do intercâmbio realizado em Manhumirim, os agricultores tiveram a oportunidade de conhecer uma produção de vermicomposto em grande escala, o que motivou a experimentação nas suas propriedades.

Alguns problemas com ataques de predadores foram relatados pelos agricultores. Os cuidados com possíveis ataques de formigas foram repassados para os agricultores e estudantes. Esse problema aconteceu em três minhocários. Já a presença das sanguessugas foi apenas relatada no minhocário construído no Assentamento Olga Benário em Visconde do Rio Branco. Até então, os agricultores não tinham conhecimento a respeito das sanguessugas (classe Hirudinae) terrestres (Fig. 6). Manter o minhocário bem drenado pode prevenir o surgimento das sanguessugas. A catação e posterior destruição dos indivíduos é a forma mais eficaz de controle (Schiedeck et al., 2009). Foi a partir do aparecimento nesse minhocário que a atenção foi despertada para mais este predador.



Fig. 6. Sanguessuga encontrada no minhocário construído no Assentamento Olga Benário - Visconde de Rio Branco, MG.

Duas famílias de agricultores não deram continuidade ao minhocário devido aos ataques de formigas. No entanto, pretendem futuramente montar outro minhocário. Todas as escolas (três minhocários) pretendem mantê-lo, pois além de produzir o vermicomposto para adubar a horta local, os estudantes podem coletar as minhocas para levarem para suas propriedades. Já no museu de Ciências da Terra Alexis Dorofeef e na Troca de Saberes, o minhocário foi apenas demonstrativo.

Nas propriedades de Divino e Espera Feliz, duas famílias experimentaram o cultivo com e sem vermicomposto e relataram maior crescimento (aspecto visual) das culturas de couve, feijão e cebolinha (Fig. 7), quando na presença de vermicomposto em relação à sua ausência. Essa informação proporcionou maior confiança aos agricultores em relação ao vermicomposto. Uma agricultora em Espera Feliz, afirma que notou grande diferença, concluindo que “as plantas ficaram bem melhores e mais bonitas”.

Apesar de não ter sido realizado um ensaio agrônômico com desenho estatístico, a experimentação foi fundamental para o fortalecimento da confiança dos agricultores em relação ao resultado final do produto do minhocário.



Fig. 7. Teste prático em canteiro de cebolinha, realizado por uma família de Espera Feliz – MG.

Fonte: O autor.

A síntese das respostas obtidas na avaliação dos minhocários encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Síntese das respostas obtidas através das perguntas geradoras de debate durante o monitoramento dos minhocários nas propriedades agrícolas e escolas.

Perguntas	Respostas frequentes
Quais foram as dificuldades encontradas para realizar a vermicompostagem na propriedade e escola?	A maioria não apresentou dificuldade no manejo do minhocário; três minhocários foram atacados por formigas; um minhocário foi atacado por sanguessugas.
Por que não utilizavam a técnica do minhocário?	A maioria não conhecia o minhocário; os que conheciam não sabiam como construir. Achavam que seria muito difícil e caro construir um minhocário. Queriam fazer, mas não sabiam como conseguir a minhoca.
Quem irá continuar com o minhocário?	Duas famílias não deram continuidade, as demais e as escolas mantiveram e pretendem manter o minhocário.
Fizeram teste com o vermicomposto pronto? Caso sim, qual diferença visual foi notada?	Duas famílias fizeram testes e observaram maior crescimento (aspecto visual) das culturas adubadas com vermicomposto.

Além das duas famílias que fizeram o teste com o vermicomposto, outro agricultor enviou seu relato sobre o minhocário confeccionado na sua propriedade com as minhocas que recebeu dessa experimentação. O agricultor realizou um experimento simples, adubando a plantação de jiló que anteriormente não produzia e sofria ataque de Vaquinha (*Diabrotica speciosa*). Após a utilização do vermicomposto, ele observou que as plantas melhoraram o aspecto visual, apresentando-se mais resistentes e começaram a produzir frutos. O agricultor também relatou que pretende construir outro minhocário dentro da lavoura de café, diminuindo assim a distância do transporte para a lavoura. Para garantir a qualidade do esterco a ser ofertado às minhocas e, assim, poder ampliar o minhocário, pretende iniciar a criação de bovinos.

A redução da mão de obra em comparação à compostagem, também foi um benefício da construção do minhocário que os agricultores relataram. Segundo um agricultor “A diferença de um minhocário para um composto é a rede. Por quê?” Resposta do agricultor: “O tempo que eu estaria fazendo composto eu deito na rede e enquanto as minhocas fazem a rede com os organismos eu faço poesia” (Fig. 8).



Fig. 8: Galão de armazenamento do vermicomposto na propriedade de Amauri Adolfo da Silva. A frase com o questionamento é de autoria do agricultor (para resposta ao questionamento: vide texto).

Fonte: Irene Maria Cardoso

3.3. Distribuição de Kits e oficinas

Através das oficinas oferecidas e minhocários construídos, foi possível compartilhar as informações com as famílias, vizinhos, estudantes e pesquisadores envolvidos nas atividades. As oficinas possibilitaram a divulgação da técnica para pessoas de diferentes municípios e ambientes e permitiram a discussão sobre a importância das minhocas no agroecossistema, destacando seu papel no processo de vermicompostagem, além de sanar as dúvidas sobre o manejo e a construção do minhocário.

O resultado dessas atividades não pôde ser acompanhado em sua totalidade. Há, entretanto, relatos de pessoas que montaram seus minhocários, utilizam o vermicomposto e repassam a técnica e minhocas para os vizinhos. Apesar da dificuldade de monitorar e avaliar todos os resultados obtidos, acredita-se as oficinas e distribuição de kits promoveram a troca de conhecimento e a interação entre os agricultores familiares. Nesse sentido, tanto a disseminação quanto a divulgação dessa pesquisa foram relevantes para a difusão desse conhecimento.

4. DISCUSSÃO

O sucesso da experimentação com o minhocário Campeiro fez com que ele se difundisse na região da Zona da Mata pelos próprios agricultores. A divulgação que se realiza entre os agricultores é uma relação entre iguais, de maneira prática, partindo-se do homem e de sua propriedade, de seus experimentos e dos resultados concretos que se tem obtido (Peraci, 2004). Esse resultado fez com que, tanto os agricultores, quanto os estudantes, acreditassem na técnica.

O uso da metodologia da pesquisa-ação possibilitou a disseminação do uso da vermicompostagem como uma alternativa à adubação para agricultura familiar, ao mesmo tempo em que questões de pesquisa foram respondidas. O processo participativo respeitou e reconheceu o direito de todos na tomada de decisão em continuar, ou não, com a condução do minhocário.

4.1. Aprendendo e ensinando sobre o processo de vermicompostagem

Para entender o processo de vermicompostagem é preciso também conhecer como as minhocas atuam nesse sistema. Há muito anos as minhocas são motivo de curiosidade entre os homens, tanto por suas características morfológicas e anatômicas quanto pelo papel que desempenham na natureza (Schiedeck et al., 2010). Tanto os agricultores quanto os estudantes tinham muitas curiosidades e dúvidas em relação às minhocas, sendo essas discutidas de forma a responder seus anseios. As minhocas são hermafroditas, apresentando os órgãos sexuais masculinos e femininos no mesmo indivíduo, dependendo da fecundação cruzada para produzir casulos (Ferruzzi, 2001). As minhocas colocam após a postura, casulos que contém de um a dez indivíduos, com frequência média de três minhocas em cada um deles (Venter & Reinecke, 1988). Essa alta capacidade de proliferação e crescimento rápido da minhoca Vermelha da Califórnia (Aquino & Nogueira, 2001) possibilita os agricultores distribuírem parte das minhocas após produção do vermicomposto. Assim, mais famílias terão acesso às matrizes de minhocas e condição de aprender e construir seu próprio minhocário.

O desejo em aprender a técnica de vermicompostagem para facilitar o trabalho e melhorar o aproveitamento do esterco (Tabela 1) demonstra que os agricultores e estudantes possuíam conhecimento prévio sobre a técnica, pois estas são duas sabidas vantagens em utilizar a vermicompostagem. O vermicomposto não exige o revolvimento comum em outros processos de compostagem (Aquino et al., 1992). É mais leve o que facilita o transporte e exige menos mão de obra (Edwards & Arancon, 2004). A vermicompostagem melhora as propriedades físico-químicas e biológicas do solo com um material que já possuem na propriedade (Bidone, 2001, Souza et al., 2006; Ngo et al., 2012).

Além disso, os agricultores e estudantes também demonstram conhecimento sobre a importância das minhocas para o funcionamento do solo e a conservação da sustentabilidade dos ecossistemas. As atividades das minhocas reduzem a compactação do solo, contribuem para uma melhor aeração, aumentando a macroporosidade e contribuindo para a ciclagem e liberação de nutrientes (Righi, 1966; Blanchart et al., 1999; Römbke et al., 2005).

O conhecimento sobre as minhocas foi adquirido com os familiares, amigos, vizinhos, televisão e universidade. Esse conhecimento popular, diz respeito às informações acumuladas ao longo do tempo. Conforme Marconi e Lakatos (2005), o

conhecimento popular é “geralmente típico de camponês, transmitido de geração para geração por meio da educação informal e baseado em imitação e experiência pessoal”.

O programa de televisão, citado pelos agricultores e estudantes, tem contribuído para a divulgação da ciência, colaborando para a formação do cidadão do campo e sua construção de conhecimento na área das ciências agrárias (Gonçalves, 2005). Segundo Aquino et al. (1997), no de ano 1993, o programa Globo Rural exibiu uma reportagem sobre a vermicompostagem em canteiros de bambu, utilizando bagaço de cana-de-açúcar e leucena, como substratos alternativos para complementação do esterco. Os mesmos autores mencionam o programa como instrumento de divulgação da atividade da vermicompostagem.

Outros canais de divulgação e disseminação de novos conhecimentos foram relatados, como é o caso das atividades dos intercâmbios agroecológicos. Os Intercâmbios Agroecológicos tem como objetivo estimular a troca de conhecimentos entre as famílias de agricultores e criar ambientes que estimulem a horizontalidade entre os conhecimentos populares e conhecimentos técnico-científicos (Zanelli et al., 2013). Esse ambiente foi de suma importância, visto que foi a partir dele que muitos tiveram o primeiro contato com o minhocário.

As oficinas do projeto “Animais para a Agroecologia” (anteriormente chamado Vacas para o Café) foi mais um espaço onde os agricultores discutiram sobre a função das minhocas no agroecossistema. O projeto busca melhorar a integração da criação animal com os sistemas agroflorestais, incrementando a produção animal e melhorando a quantidade e qualidade dos estercos nas propriedades (Freitas et al., 2009; Lopes et al., 2012). A utilização de esterco bovino é recomendada tanto para agricultores familiares como para grandes produtores, porém as limitações são referentes à disponibilidade e mão de obra (Fernandes et al., 2012). Além disso, Lopes et al. (2012) observaram que no geral o esterco produzido nas propriedades dos agricultores familiares da Zona da Mata de Minas Gerais são armazenados a pleno sol, o que leva a perda de nutrientes. Diante do exposto, o emprego da vermicompostagem torna-se uma alternativa viável de melhoria da qualidade do esterco, de aproveitamento dos resíduos orgânicos e de integração do sistema produtivo (Freitas et al., 2009).

4.2. Avaliação dos minhocários

A avaliação constituiu de uma forma simples e eficaz de levantamento e identificação da percepção dos agricultores e estudantes, que pôde gerar um conjunto de informações que identificaram a visão da comunidade a ser considerada no trabalho.

Embora tenham ocorrido problemas, a aceitação do minhocário foi grande, como ficou demonstrado pelo interesse em continuar com a atividade por 75% das famílias. Com isto, espera-se que a utilização do vermicomposto diminua o uso de insumos químicos para a produção vegetal e estimule a transição agroecológica na agricultura familiar (Schiedeck et al., 2006).

4.2.1. Quais as dificuldades encontradas para realizar a vermicompostagem na propriedade ou escola?

O aumento da umidade do minhocário como forma de controlar as formigas, principal predador relatado pelos agricultores, não está, até onde é de conhecimento dos autores, relatado na literatura. A literatura recomenda retirar toda parte tomada pelas formigas, uma vez que o uso de inseticidas não é recomendado (Vailatti & Cichacewski, 1997). Usar borra de café, farinha de osso ou de casca de ovo moída espalhada sobre o canteiro pode inibir o aparecimento das formigas, além de ser um complemento alimentar para as minhocas (Schiedeck, 2006). Apesar dessas orientações terem sido repassadas para os agricultores, ninguém relatou tê-las usadas. A recomendação de ficar atento quanto ao local para construir o minhocário, evitando locais com formigueiros (Schiedeck, 2006) foi respeitada, mas isto não evitou, em todos os casos, os ataques de formigas.

Além das formigas, as sanguessugas, outro predador que causou problema, causam sérios estragos ao minhocário. As sanguessugas são visualmente muito parecidas com as minhocas (Fig. 6), embora apresentem uma coloração mais alaranjada e uma maior resistência ao esmagamento. Canteiros bem drenados podem prevenir o surgimento das sanguessugas. A catação e posterior destruição é a forma mais eficaz de controle (Schiedeck et al., 2009). Esta técnica foi utilizada pelo agricultor.

4.2.2. Por que não utilizavam a técnica do minhocário?

O minhocário do tipo Campeiro foi, como esperado, uma opção de baixo custo e de simples construção, utilizando materiais de fácil acesso, com o bambu (Aquino & Meirelles, 2006; Schiedeck et al., 2007). A construção pode ficar ainda mais barata se construído com material alternativo, como foi o caso da carcaça de geladeira e caixa d'água utilizada nas escolas (Fig. 5).

A aquisição das minhocas também foi uma limitação para utilizarem a técnica, visto que a minhoca Vermelha da Califórnia não é uma minhoca nativa do Brasil. No entanto, a distribuição de kits, oferecidos durante este estudo e a disseminação entres os próprios agricultores possibilitou o acesso a um grupo de produtores e estudantes da Zona da Mata de Mineira.

Existem poucos estudos utilizando minhocas de espécies não comerciais. A espécie de minhoca mais comum no Brasil é a peregrina, *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae) e *Amyntas gracilis* (Megascolecidae), sendo frequentemente encontrada em ecossistemas perturbados (agrícolas, urbanos e florestais) no país (Brown et al., 2006). Ambas as espécies são úteis na incorporação de matéria orgânica ao solo (Righi, 1990). Em estudos realizados em propriedade de agricultores familiares em Araponga – MG, Souza (2010) encontrou uma elevada abundância de *P. corethrurus* e de *A. gracilis*, portanto o uso destas minhocas pode gerar autonomia para os agricultores no processo de vermicompostagem.

Ao final da experimentação, a maioria dos agricultores disseram que pretendem dar continuidade ao minhocário, uma que todos relataram ser uma técnica muito simples, conforme já mencionado por outros agricultores (Schiedeck et al., 2007).

4.2.3. Fizeram teste com o vermicomposto pronto? Caso sim, qual diferença visual foi notada?

O teste com vermicomposto produzido pela própria família (Fig. 7) foi uma maneira de demonstrar na prática o conhecimento adquirido, como já observado em outros locais (Liu, 1996).

A pesquisa com a participação dos agricultores é uma forma de aproximar os pesquisadores e aqueles que utilizarão a técnica. Além disso, aprofunda a relação entre o pesquisador e o agricultor, entendendo suas necessidades e demandas, bem como

fortalecer a liberdade, a criatividade e a confiança dos agricultores (Thiollent & Silva, 2007; Tozoni-Reis, 2007). Assim, o conhecimento ou tecnologia gerados passam a fazer parte do cotidiano dos agricultores, que podem incorporá-los em suas práticas do dia-a-dia (Bordenave, 1994).

4.2.4. Oficinas e distribuição e Kits

A divulgação científica, como as ocorridas durante as oficinas sobre vermicompostagem, com ou sem construção de minhocário, e com a distribuição dos kits contribuem para que o não especialista, nesse caso, o agricultor e o estudante, passam a ser um multiplicador da experiência. No caso do minhocário, popularizando ou divulgando a informação científica (Albagli, 1996).

O uso de uma espécie de minhoca comercial dificulta o acesso, principalmente dos agricultores devido ao preço das matrizes. Atualmente, o quilo da minhoca custa R\$ 60,00 (Minhobox, 2014), preço pouco acessível, ainda mais que a venda mínima são de 5kg. O preço das matrizes contraria o objetivo da técnica que é a redução dos custos da produção. Diante dessa dificuldade, a distribuição de kits buscou suprir a falta de acesso às matrizes de minhocas relatadas pelos agricultores, como sendo uma das razões por não terem um minhocário. Com esse kit, cada um que recebeu pôde levar para sua propriedade uma quantidade de minhocas suficiente para iniciar a criação e posteriormente montar o minhocário.

5. CONCLUSÕES

O processo participativo permitiu que os agricultores e estudantes pudessem ter acesso às informações e expor suas dúvidas quanto à construção e manejo do minhocário. Os agricultores e estudantes demonstraram conhecimento tradicional sobre minhocas e sua importância para o funcionamento do solo e a conservação da sustentabilidade dos agroecossistemas.

Embora fosse desconhecido o processo da vermicompostagem e a técnica para a implantação de um minhocário pela maioria dos agricultores e estudantes, foi perceptível o interesse e a motivação dos agricultores e estudantes durante a construção do mesmo. Porém, necessita-se um período de tempo longo para que todos os

participantes possam testar o vermicomposto, por isto, o incentivo e a disseminação da técnica para outros agricultores devem continuar.

Futuros estudos devem incluir a utilização de minhocas de espécies nativas para produção de vermicomposto, pois, assim, os agricultores poderiam utilizar as minhocas da sua propriedade. Para isso, é importante avaliar a produtividade dessas espécies e compará-las com a produtividade da espécie mais utilizada no Brasil.

Além da produção dos vermicomposto, a comercialização das minhocas é mais uma alternativa que pode complementar a renda familiar. Estudos de como agregar valor aos produtos do minhocário é mais uma possibilidade de pesquisas futuras nas propriedades e agricultura familiar.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e CAPES, pela bolsa concedida à M.E.P SOUZA. CNPq, FAPEMIG, MEC/SESu, ProExt suporte financeiro à pesquisa. Os estagiários Andreia e Pedro que colaboraram com os trabalhos de laboratório e campo. Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA-ZM) e às organizações locais dos agricultores pela oportunidade que me deram de trabalhar nessa linha de pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Albagli, S. 1996. Divulgação científica: informação científica para a cidadania? *Ciência da Informação*. 25, 396-404.
- Aquino, A.M., De-Polli, H., Assis, R.L. 1997. Globo Rural - oportunidade para levantamentos de demandas de pesquisas e difusão de tecnologias: um estudo de caso. *Revista de Administração Pública*. 31, 42-53.
- Aquino, A.M., Meirelles, E.C., 2006. Canteiros de bambu para a criação ecológica de minhocas. *Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico*, 93. 2 p.
- Aquino, A.M., Oliveira, A.M.G., Loureiro, D.C., 2005. Integrando Compostagem e Vermicompostagem na Reciclagem de Resíduos Orgânicos Domésticos. *Embrapa agrobiologia. Circular técnica* 12. *Embrapa Agrobiologia*. 4p.
- Aquino, M.A., Nogueira, E.M., 2001. Fatores limitantes da vermicompostagem de esterco suíno e de aves e influência da densidade populacional das minhocas na sua reprodução. *Embrapa Agrobiologia. Documentos*, 147. 10p.
- Bidone, F.R.A. 2001. Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: Rima, 240p.

- Blanchart, E. Albrecht, A., Alegre, J., Duboisset, A., Gilot, C., Pashanasi, B. Lavelle, P. Brussaard, L., 1999. Effects of earthworms on soil structure and physical properties. In: Lavelle, P., Brussaard, L., Hendrix, P. (Eds.), *Earthworms Management in Tropical Agroecosystems*. Oxon: CAB International, pp. 149-172.
- Borbosa, W.A., Zanelli, F.V., Lopes, L.S., Cruz, N.A.C., Conte, G.M., Moreira, F.O., Cardoso, I.M. 2013. Programa teia trocando saberes e reinventando a universidade. *Agricultura*. 10, 7-11.
- Brown, G.G., Oliveira, L.J., Korasaki, V., Santos, A.A. 2006. Biodiversidade como Bioindicadora da Qualidade do Solo no Paraná. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Documento 308, 165-172p.
- Damasceno, M. N. A. 1993. Construção do saber social pelo camponês na sua prática produtiva e política. In: Therrien, J., Damasceno, M.N. (orgs.) *Educação e Escola no campo*. Campinas: Papirus. pp. 53-73.
- Edwards, C.A. 2004. The use of earthworms in the breakdown and management of organic wastes. In: Edwards, C.A. (Org.). *Earthworm Ecology*. Boca Raton: St. Lucie Press. pp. 327-354.
- Edwards, C.A., 1998. *Earthworm Ecology*. New York: Academic Publishing. 388p.
- Edwards, C.A., Bohlen, P.J. 1996. *Biology and ecology of earthworms*. 3.ed. London: Chapman & Hall. 426p.
- Edwards, C.A., Bohlen, P.J., Linden, D.R.E., Subler, S., 1995. Earthworms in agroecosystems. In: Hendrix, P.F. (Ed.) *Earthworm ecology and biogeography in North America*. Boca Raton: Lewis Publishers. pp. 185-213.
- Edwards, C.A., Fletcher, K.E. 1988. Interaction between earthworms and microorganisms in organic matter breakdown. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 20, 235-249.
- Edwards, C.E., Arancon, N.Q., 2004. The use of earthworms in the breakdown of organic wastes to produce vermicomposts and animal feed protein. In: Edwards, C.A. (Ed.), *Earthworm Ecology*, 2nd ed. CRC Press, Boca Raton. pp. 345-380.
- Fernandes, A.L.M., Oliveira, M.K.T., Silva, E.F., Leitão, A.R.F. 2012. Desenvolvimento inicial do milho em função de diferentes teores de esterco bovino. *Revista Verde*. 7, 15-18.
- Ferruzzi, C. 2001. *Manual de lombricultura*. Madrid:Mundi-prensa. 138p.
- Franco, M.A.S. 2005. Pedagogia da Pesquisa-ação. *Revista Educação e Pesquisa*. 31, 483-502.
- Freitas, A.F., Passos, G.R., Furtado, S.D.C., Souza, L.M., Assis, S.O., Meier, M., Silva, B.M., Ribeiro, S., Bevilacqua, P.D., Mancio, A.B., Santos, P.R., Cardoso, I.M. 2009. Produção animal integrada aos sistemas agroflorestais: necessidades e desafios. *Agriculturas*. 6, 31-35
- Gonçalves, E.M. 2005. A construção do discurso sobre o meio rural: uma análise do programa “Globo Rural”. *Revista Agrobusiness e Meio Ambiente*. 2. Disponível em: <<http://www.agricoma.com.br/rev2artigoBethGoncalves.htm>>. Acesso em 06 de março de 2014.
- Knäpper, C.F. U. 1987. Manual de produção de húmus. In: Associação Brasileira de Minhocultura. *Boletim Informativo* nº. 3. pp. 21-25.
- Liu, M.1997. *Fondements et pratiques de la rechercheaction*. Paris: L’Harmattan. 351p.
- Lopes, A.P., Almeida, F., Bigardi, L.R., Santos, P.A., Bevilacqua, P.D., Cardoso, I.M. 2012. Uso de Esterco Bovino em Sistemas Agroflorestais na Zona da Mata de Minas Gerais. Congresso Latinoamericano de Sistemas Agroflorestais para a Produção Pecuária Sustentável, 2012, Belém. Anais do VII Congresso

- Latinoamericano de Sistemas Agroflorestais para a Produção Pecuária Sustentável. São João del Rey: UFSJ, 2012. v. 7.
- Lopes, L.S., Conte, G.M., Cruz, N.A.C., Cardoso, I.M., Amorim Jr., P.C.G. 2013. Troca de saberes: vivenciando metodologias participativas para a construção dos saberes agroecológicos. *Cadernos de Agroecologia*. 8, 1-5.
- Marconi, M.A., Lakatos, E.V. 2005. Fundamentos de metodologia científica. 6.ed. São Paulo: Atlas. 312 p.
- Martinez, A.A. 2006. Minhocultura. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/artigos/2006_2/minhocultura/index.htm>. Acesso em: 14/01/2014.
- Minhobox. 2014. Disponível em: < <http://www.minhobox.com.br/loja/produtos/loja-matrizes.php>>. Acesso em: 24 de março de 2014.
- Ngo, P.T., Rumpel, C., Doan, T.T., Jouquet, P. 2012. The effect of earthworms on carbon storage and soil organic matter composition in tropical soil amended with compost and vermicompost. *Soil Biology & Biochemistry*. 50, 214- 220.
- Peraci, A.S. 2004. De agricultor(a) para agricultor(a): construindo novas referências de assistência técnica para o desenvolvimento rural sustentável e solidário. In: Brose, M. Participação na extensão rural: experiências inovadoras de desenvolvimento local. Porto Alegre: Tomo p. 203-216.
- Righi, G. (Ed.), 1966. Invertebrados: A minhoca. Coleção Cientistas de amanhã. São Paulo: Instituto Brasileiro de Educação Ciência e Cultura.
- Righi, G. 1990. Minhocas de Mato Grosso e de Rondônia. Brasília: Conselho Nacional Desenvolvimento. Científico e Tecnológico. 157p.
- Römbke, J., Jansch, S., Didden., W., 2005. The use of earthworms in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety*., 62, 249–265.
- Schiedeck, G., Gonçalves, M.M., Schwengber, J. E., 2006. Minhocultura e produção de húmus para a agricultura familiar. Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica 57. pp. 1-11.
- Schiedeck, G., Schwengber, J. E., Gonçalves, M.M., Schiavon, G.A., Cardoso, J.H. 2007. Minhocário Campeiro de Baixo Custo para Agricultura Familiar. Embrapa Clima Temperado. Comunicado Técnico, 171. pp. 1-4.
- Schiedeck, G., Schwengber, J.E., Cardoso, J.H., Gonçalves, M. M., Schiavon, G.A. 2010. Aspectos culturais associados às minhocas no Brasil. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.). 2, 19-33.
- Schiedeck, G., Schiavon, G.A., Schwengber, J. E. 2009. Sanguessugas em minhocários. Embrapa Clima Temperado. Comunicado técnico, 217. pp. 1-3.
- Souza, L.M., Castilhos, D.D., Morselli, T.B.G.A., Castilhos, R.M.V. 2006. Influência da aplicação de diferentes vermicompostos na biomassa microbiana do solo após cultivo de alface. *Revista Brasileira de Agrociência*. 12, 429-434.
- Souza, M.E.P. 2010. Oligochaetas em solos sob sistemas de manejos a pleno sol e agroflorestal e vermicompostagem associada com pós de rocha. 2010. 58 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- Thiollent, M. 1992. Metodologia da Pesquisa-ação. 5ª edição. São Paulo: Cortez Editora.
- Thiollent, M., Silva, G.O. 2007. Metodologia de pesquisa-ação na área de gestão de problemas ambientais. *Revista Eletrônica de Comunicação e Inovação em Saúde*. 1, 93-100.

- Tozoni-Reis, M.F. C. 2007. A construção coletiva do conhecimento e a pesquisa-ação participativa: compromissos e desafios. *Pesquisa em Educação Ambiental*. 2, 89-107, 2007.
- Vailatti, A., Cichacewski, M.C.T.R.M. 1997. *Minhocultura*. Curitiba: EMATER-Paraná. 36 p.
- Venter, J.M., Reinecke, A.J. 1988. The life-cycle of the compost worm *Eisenia foetida* (Oligochaeta). *South African Journal of Zoology*. 23, 161-165.
- Villar, J. P., Cruz, N. A. C., Condé, L. P., Moreira, F.O., Cardoso, I, M., Conte, G. M. 2011. Troca de saberes construindo diálogos entre conhecimento científico e saber popular. *Cadernos de Agroecologia*. 6, 1-6.

CAPÍTULO II

METAIS PESADOS PRESENTES EM PÓS DE ROCHAS UTILIZADAS DURANTE O PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a capacidade de minhocas em imobilizar metais pesados presentes em pós de gnaiss e esteatito adicionados ao esterco durante o processo de vermicompostagem e avaliar o crescimento de plantas e a disponibilização de metais pesados às mesmas quando fertilizadas com pós de rochas vermicompostados. A produção dos vermicompostos foi realizada em um experimento com três tratamentos em frascos plásticos utilizando esterco bovino semicurtido, minhocas da espécie *Eisenia andrei* e pós de gnaiss ou esteatito na dose correspondente a 12 %. Posteriormente, realizou-se um ensaio agrônômico em casa de vegetação com milho, cultivado em solo fertilizado com os três vermicompostos obtidos (enriquecidos com pó de gnaiss, com pó de esteatito e sem enriquecimento com pó de rocha - controle). Em todos os tratamentos aplicou-se ao solo uma adubação corretiva com calcário e esterco, 15 dias de antecedência ao plantio do milho. O peso seco das minhocas foi superior no tratamento enriquecido com pó de gnaiss e o número de minhocas ao final do processo de vermicompostagem foi maior nos tratamentos com pós de rochas. As minhocas foram capazes de imobilizar uma pequena parte dos metais pesados e isto não prejudicou o crescimento das mesmas. O crescimento das plantas de milho foi maior no tratamento com pó de gnaiss vermicompostado. O tratamento enriquecido com pó de gnaiss contribuiu para o acréscimo de Zn nas plantas, podendo ser, portanto, uma alternativa para a fertilização com Zn. A alta concentração de Ni e Cr no pó de esteatito resultou em maiores teores destes elementos nas plantas. No entanto, as concentrações de metais no solo pós-cultivo, em todos os tratamentos, encontraram-se abaixo dos valores de referência de qualidade. O melhor desenvolvimento das plantas crescidas em vermicomposto enriquecido com pó de gnaiss sugerem a possibilidade de uso desse material como fonte de enriquecimento do vermicomposto com nutrientes, melhorando, portanto a qualidade química do adubo orgânico. Já a recomendação do uso de pó de esteatito na agricultura precisa ser estudada com mais profundidade.

ABSTRACT

HEAVY METALS FROM ROCK POWDER USED IN THE PROCESS OF VERMICOMPOSTING

The objectives of this study were to evaluate the ability of earthworms to immobilize heavy metals present in rock powder from gneiss and steatite added to manure during vermicomposting and to evaluate plant growth and availability of heavy metals to plants when fertilized with rock powder, added during the vermicomposting process. The production of vermicompost was investigated in an experiment with three treatments consisting of plastic bottles containing cattle manure, earthworms of the species *Eisenia andrei* and rock powder from gneiss or steatite corresponding to a 12 % dose. Subsequently, a greenhouse agronomic test was carried out with maize grown in soil fertilized with three vermicompost enriched with either: powdered gneiss; or powdered steatite; and a control (without enrichment with rock powder). All treatments were applied to the soil along with a corrective fertilization with limestone and manure of dry dung applied 15 days prior to planting. The dry weight of earthworms was higher in the treatment enriched with powdered gneiss and the number of earthworms at the end of the vermicomposting process was higher in treatments with rock powder. The earthworms were able to immobilize a small proportion of heavy metals and this did not hinder their growth. The growth of maize plants was higher in the treatment with powdered vermicomposted gneiss. The gneiss-enriched treatment contributed to increased Zn concentration in plants and may also be an alternative to Zn fertilization. The high concentration of Ni and Cr in steatite powder appears to have resulted in higher levels of these elements in plants. However, the concentrations of metals in soil after cultivation in all treatments were found to be below the benchmarks of quality. The superior growth of plants grown in vermicompost enriched with powdered gneiss suggests the possibility of using this material as a source of enrichment of vermicompost with nutrients, thus improving the chemical quality of organic fertilizer. It is recommended that the use of steatite powder in agriculture needs to be studied in greater depth.

1. INTRODUÇÃO

O uso de resíduos orgânicos enriquecidos com pós de rochas é uma alternativa aos fertilizantes químicos convencionais. Os resíduos orgânicos são muitas vezes produzidos na propriedade, o que torna seu custo reduzido e, ao mesmo tempo, ciclam carbono e outros nutrientes (Kiehl, 2010). Uma melhor forma de utilizar estes resíduos é através da vermicompostagem, uma técnica alternativa à compostagem tradicional (Edwards & Arancon, 2004), visto que, em relação ao mesmo volume de composto adicionado o ao solo, garantem maior eficiência no condicionamento físico do solo, e forma de estruturas húmicas mais estáveis (Aquino, 2005).

Os pós de rochas, são resíduos gerados pelo processamento de rochas. O uso de pós de rochas silicatadas na agricultura é uma prática que contribui para o equilíbrio do sistema agrícola como um todo (Theodoro et al., 2006), aumentando, inclusive, a resistência das plantas à estresses bióticos e abióticos devido à melhoria do seu estado nutricional (Melamed et al., 2007), refletindo no maior crescimento das plantas (Souza et al., 2013). Além disto, seu uso na agricultura pode ser uma alternativa de destino correto destes resíduos (Leonardos et al., 2000).

Entretanto, mesmo que em alguns casos, os pós de rochas possam ser relativamente ricos em alguns nutrientes, estes não são facilmente disponíveis para as plantas, pois estão na estrutura cristalina dos minerais. A disponibilidade pode ser aumentada se os pós de rochas forem adicionados aos resíduos orgânicos e vermicompostados, pois o processo de vermicompostagem pode melhorar a liberação de nutrientes das estruturas dos minerais (Souza et al., 2013). Esses autores observaram maior crescimento de milho e aumento da biomassa e do número de minhocas após o processo de vermicompostagem associada aos pós de gnaiss e esteatito. Porém estes pós de rochas podem ser ricos em metais pesados, o que pode inviabilizar o seu uso na agricultura, pois há risco de que estes metais também sejam disponibilizados no solo e absorvidos pelas plantas.

Os metais pesados são encontrados naturalmente no solo, normalmente em concentrações inferiores àquelas consideradas como tóxicas para diferentes organismos. Nos solos, os metais são originários do material de origem, da precipitação atmosférica e de materiais adicionados ao solo como cinzas, calcário, fertilizantes químicos e adubos orgânicos (Amaral Sobrinho et al., 2009).

Embora existam muitas incertezas sobre a especificidade dos mecanismos de absorção dos metais pesados, sobretudo daqueles não essenciais para o crescimento de plantas, geralmente a concentração e o acúmulo do elemento nos tecidos das plantas dependem da sua disponibilidade na solução do solo. As concentrações nas raízes e na parte aérea aumentam com a elevação da concentração de metais na solução do solo (Gussarsson et al., 1995), mas estes podem ser complexados tornando-se indisponíveis para as plantas durante o processo de vermicompostagem (Kiehl, 2010).

Alguns seres vivos, como as minhocas, possuem a habilidade de bioacumular metais pesados como Cd, Cu, Pb e Zn, retirando-os do vermicomposto e concentrando-os em seus tecidos (Morgan & Morgan, 1999; Shahmansouri et al., 2005). Neste caso, os metais pesados concentrados no corpo das minhocas, em algumas situações em quantidades elevadas, podem não ser liberados, ou liberados em menores quantidades nos seus excrementos (Kizilkaya, et al., 2004). Sendo assim, as minhocas podem ser usadas para extrair metais pesados presentes nos materiais utilizados na vermicompostagem, mitigando assim seu efeito na planta. Mas isto, até onde é do conhecimento dos autores, ainda não foi estudado. Os poucos estudos que avaliaram vermicompostagem com a adição de pós de rochas (Menezes Junior & Fernandes, 1998; Sailaja Kumari & Ushakumari, 2002; Furlan et al., 2007; Wei et al., 2012; Souza et al., 2013) não estudaram tais efeitos.

Entretanto, deve-se ter cautela pois alguns estudos apontam para o perigo de metais pesados causarem efeitos negativos, levando à morte das minhocas (Kizilkaya et al., 2009) e a redução do crescimento ou da reprodução das mesmas (Khalil et al., 1996; Spurgeon & Hopkin, 1996; Siekierska & Urbanska-Jasik, 2002). Isto dependerá das fontes de resíduos utilizadas (Souza et al., 2013) e da categoria ecológica da espécie (Nahmani et al., 2007).

Alguns grupos de minhocas são menos sensíveis aos metais pesados, assim como apresentam maior capacidade de bioacumulação. A espécie epigeica *Eisenia andrei* é considerada eficiente na bioacumulação (Edwards, 1998) e os teores presentes em pós de esteatito e gnaiss não foram letais às mesmas (Souza et al., 2013). Além disto, o uso desta espécie apresenta várias vantagens, tais como ser facilmente cultivável e ter reprodução rápida (Edwards, 1998), sendo por isto muito utilizada na vermicompostagem.

Os objetivos principais deste trabalho foram avaliar a capacidade de minhocas em imobilizar metais pesados presentes em pós de gnaiss e esteatito adicionados ao esterco durante o processo de vermicompostagem e avaliar o crescimento de plantas e a disponibilização de metais pesados às mesmas quando fertilizadas com pós de rochas vermicompostados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Obtenção e caracterização dos pós de rochas

Utilizaram-se pós de esteatito e gnaiss, ambos facilmente encontrados na mesorregião da Zona da Mata de Minas Gerais (Brasil), onde o estudo foi conduzido. O esteatito, ou pedra-sabão, é uma rocha metamórfica, composta, principalmente de talco, que confere à rocha baixa dureza. O talco facilita o manuseio desta rocha para artesanatos, esculturas e ornamentos arquitetônicos (Castilhos et al., 2008), sendo muito utilizada para tais finalidades na região do Quadrilátero Ferrífero, onde tem ampla ocorrência. O pó de esteatito utilizado no experimento apresentou talco, anfibólios, cloritas e dolomita como minerais principais (Carvalho, 2012). O gnaiss é a principal rocha encontrada na Zona da Mata mineira, próxima à mesorregião do Quadrilátero Ferrífero. É uma rocha de origem metamórfica e que possui uma diversa composição de minerais (Bigarella et al., 1994). O gnaiss utilizado no experimento apresentou quartzo, k-feldspato, plagioclásios, anfibólios, biotita, rutilo e apatitas como minerais constituintes (Carvalho, 2012).

Para o experimento, os pós de esteatito e gnaiss foram obtidos a partir do subproduto de pedreiras da região. Os materiais foram secos ao ar e peneirados, sendo utilizado o material passado na peneira de malha de 0,212 mm e retido na de malha de 0,106 mm de abertura. Para a caracterização química das rochas, uma subamostra foi seca em estufa a 65 °C por 72 horas, moída e passada totalmente pela peneira de malha de 0,053 mm de abertura. Os macroelementos foram analisados por espectrometria de fluorescência de raios-X e, espectrofotometria de absorção atômica após digestão nitroperclórica para a análise dos outros elementos conforme Silva (2009). Os resultados são apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química dos pós de rochas.

Pós de rochas	Macroelementos ¹ (%)							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO
Esteatito	47,2	4,2	9,4	2,2	27,6	<0,01	0,02	0,1
Gnaisse	54,7	14,8	12,3	6,1	2,4	2,5	1,1	0,2
Microelementos ² (mg kg ⁻¹)								
	Cu		Zn	Ni	Cd	Cr	Pb	
Esteatito	39		84	1556	2,6	1000,2	15,2	
Gnaisse	11		148	4,4	2,3	14,3	9,8	

¹Análise química quantitativa total por espectrometria de fluorescência de raios-X;

²Análise química por ICP após digestão nitroperclórica e determinação segundo Silva (2009).

2.2. Caracterização do esterco bovino e das minhocas

Para o preparo dos vermicompostos foi utilizado esterco bovino semi-curtido. O esterco foi homogeneizado e padronizado quanto à umidade e granulometria. Posteriormente, uma amostra composta foi retirada e acondicionada em sacos de papel e colocada em estufa (65 °C) de circulação forçada de ar (72 h). Uma vez seco, o material foi pesado, moído e passado em peneira de 2 mm. Uma amostra deste material foi submetida à digestão nitroperclórica (Silva, 2009) e os teores Cu (13,0 mg kg⁻¹), Zn (63,0 mg kg⁻¹), Ni (12, 2 mg kg⁻¹), Cd (1,0 mg kg⁻¹), Cr (28,7mg kg⁻¹) e Pb (13,6 mg kg⁻¹) foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), segundo Silva (2009).

Utilizou-se a espécie *E. andrei* com peso médio de 0,560 g por minhoca. Os organismos foram previamente incubados em esterco bovino, uma semana antes da montagem do experimento, para que os restos do substrato do local de origem das minhocas fossem eliminados.

2.3. Obtenção e avaliação dos vermicompostos enriquecidos (experimento I)

O experimento foi realizado no Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos da Universidade Federal de Viçosa – Campus de Viçosa. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos, sendo eles: vermicomposto enriquecido com pó de gnaisse à 12 % (VcG), vermicomposto enriquecido com pó de esteatito à 12 % (VcE), e vermicomposto controle sem rocha (Vc), todos considerando o peso seco,

com seis repetições. As unidades experimentais consistiram-se de frascos plásticos de cinco litros de capacidade onde foram adicionados 3,0 kg do esterco bovino (peso seco) e 400 g de pós de rochas. Cada vaso recebeu, em seguida, 24 minhocas adultas da espécie *E. andrei*. As unidades experimentais foram mantidas em temperatura ambiente, no escuro, por um período de 70 dias. Após esse período, uma amostra composta do vermicomposto obtido foi retirada de cada unidade experimental para realização das análises químicas. Para tanto, o material seco foi moído, submetido à digestão nitroperclórica (Silva, 2009) e os teores de Cu, Zn, Ni, Cd, Cr e Pb foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Silva, 2009). Os limites máximos de metais pesados permitidos em fertilizantes orgânicos, solo e planta são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Limites máximos de metais pesados permitidos em fertilizantes orgânicos, solo e plantas.

Elemento	Fertilizante orgânico ¹	Solo ²	Planta ³
	..... mg kg ⁻¹		
Cobre	SL ⁴	49,0	30
Zinco	SL	46,5	50
Níquel	70	21,5	5
Cádmio	3	<0,4	0,5
Cromo	200	75,0	0,1
Chumbo	150	19,5	0,5

¹Instrução Normativa 27 de 05/06/2006 do Ministério da Agricultura (Brasil, 2006);

²Valores de Referência de Qualidade dos Solos para Minas Gerais. Deliberação Normativa COPAM nº 166 de 29 de junho de 2011 (COPAM, 2011); ³Limite para cereais e hortaliças definido pela Anvisa (1965, 1996); ⁴ Sem limite estabelecido pela instrução normativa.

2.4. População e biomassa de minhocas

Ao final do processo de vermicompostagem as minhocas foram separadas manualmente e os indivíduos foram transferidos para frascos plásticos contendo água limpa, permanecendo por 24 horas para que o máximo de conteúdo do trato digestivo fosse eliminado (Giracca, 2005). Posteriormente, as minhocas foram secas em papel toalha e pesadas para a obtenção da biomassa fresca. Em seguida, foram mantidas em estufa a 65°C durante 72 horas, em placas de petri forradas com papel alumínio, para obtenção da massa seca. O material seco foi moído e submetido às análises químicas,

sendo determinados os teores de Cu, Zn, Ni, Cd, Cr e Pb. As mesmas análises foram realizadas nos vermicompostos produzidos. Os materiais foram submetidos à digestão nitroperclórica (Silva, 2009) e a determinação dos metais pesados nos extratos foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica (Silva, 2009).

2.5. Avaliação do crescimento e disponibilização de metais pesados para as plantas (experimento II)

Com os vermicompostos obtidos, conforme descrito no item anterior, realizou-se um ensaio agrônomo, em casa de vegetação, para avaliar a capacidade destes compostos em promover o crescimento de plantas e avaliar a biodisponibilidade dos metais pesados adicionados pelas rochas e, ainda, presentes no vermicomposto após a imobilização pelas minhocas.

Todos os três tratamentos foram aplicados nos solos juntamente com uma adubação corretiva correspondente a 2 t ha⁻¹ de calcário e 5 t ha⁻¹ de esterco semicurtido, 15 dias de antecedência ao plantio do milho. O calcário utilizado possui, entre outros elementos: Ni (72,0 mg kg⁻¹), Cd (5,7 mg kg⁻¹), Cr (50,1 mg kg⁻¹), Pb (66,7 mg kg⁻¹), CaO (38,7%) e MgO (10,7%). A variedade de milho Asteca foi cultivada em casa de vegetação até o início do florescimento (45 dias) em vasos contendo 3,0 kg de um Latossolo Vermelho-Amarelo do município de Viçosa, MG (Tabela 3).

Tabela 3. Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento.

P	K	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	SB ¹	CTC ²	V ³	m ⁴
... mg dm ⁻³...		..... cmol _c dm ⁻³ %	
1,1	4	0,21	0,02	0,7	0,21	2,36	70,3	23
pH	MO ⁵	P-rem ⁶	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb
H ₂ O	dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	..... mg kg ⁻¹					
5,1	1,2	3,3	0,1	0,2	Nd ⁷	Nd	Nd	Nd

¹Somatório dos cátions básicos Ca²⁺, Mg²⁺ e K. ²Capacidade de troca catiônica potencial em pH 7,0. ³Percentagem da CTC potencial ocupada pelos cátions básicos. ⁴Percentagem da CTC efetiva ocupada pelo Al³⁺. ⁵Matéria orgânica do solo. ⁶Fósforo remanescente em solução após agitação de 7,5 g de solo em 75 mL de uma solução com 60 mg L⁻¹ de P. Caracterização química realizada conforme Silva (2009). ⁷Não detectado: concentrações menores do que limite de quantificação do método utilizado.

Os vasos, cada um com duas plantas, foram dispostos de forma inteiramente casualizada, com seis repetições. Cada vaso constituiu uma unidade experimental. Os tratamentos (vermicompostos) foram aplicados na dose correspondente a 37,5 g/plantas. A umidade do solo foi controlada e mantida em aproximadamente 70 % da capacidade de campo.

Aos 45 dias após o plantio foi realizado o corte das plantas, rente ao solo, para determinação da biomassa seca da parte aérea. Os materiais vegetais foram lavados, em sequência, com solução de água + detergente (1 mL L^{-1}), água corrente e água destilada. As raízes foram removidas do solo e o procedimento de lavagem deu-se como citado para a parte aérea. Após a lavagem, o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel e colocado em estufa a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ de circulação forçada de ar por um período de 72 h. Uma vez seco, todo o material foi pesado, moído, passado em peneira de 2 mm, acondicionado em sacos de polietileno, devidamente identificados, e armazenado até o momento das análises. As amostras da parte aérea e raízes foram submetidas à digestão nitroperclórica (Silva, 2009) e os teores de Cu, Zn, Ni, Cd, Cr e Pb foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (Silva, 2009).

2.6. Avaliação de metais pesados no solo pós-cultivo

Ao final do experimento, amostras compostas de solos foram coletadas de cada vaso para análise química. As amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de abertura. O pH foi determinado em suspensão de solo: água (1:2,5). Para a extração dos teores disponíveis de Cu, Zn, Ni, Cd, Cr e Pb foi utilizado o extrator de Mehlich-1 e, para determinação dos teores, foi utilizado espectrofotômetro de absorção atômica (Silva, 2009).

Os metais pesados presentes na parte aérea, na raiz e no solo pós-plantio foram considerados como disponibilizados no processo de vermicompostagem.

2.7. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos aos testes de Bartlett e Jarque-Bera para avaliação das condições de homogeneidade das variâncias e normalidade dos resíduos. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias testadas pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 5 % de probabilidade. Para atender a

condição de normalidade ou de homocedasticidade, os dados de concentrações de Ni e Cr nos vermicompostos e de Cr e Pb nas raízes foram submetidos às transformações logarítmica e raiz quadrada.

3. RESULTADOS

3.1. População e biomassa de minhocas

O peso seco das minhocas diferiu entre todos os tratamentos ($F_{2,15} = 36,5$; $p < 0,001$), sendo maior no tratamento VcG (Fig. 1). O número de minhocas ao final do processo de vermicompostagem não diferiu entre os tratamentos enriquecidos com pós de rochas ($F_{2,15} = 4,9$; $p < 0,001$), mas ambos foram superiores ao controle.

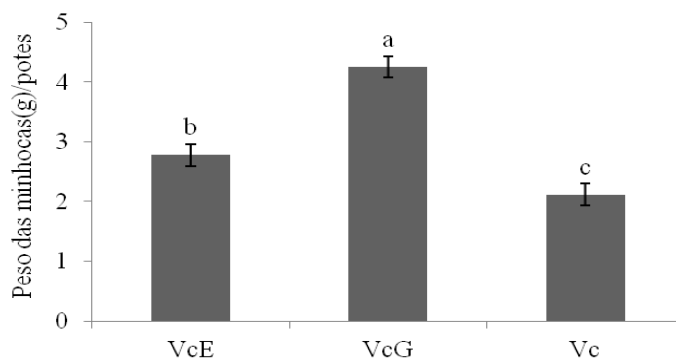


Fig. 1. Médias ($n = 6$) do peso seco de minhocas ao final do processo de vermicompostagem enriquecido com os pós de esteatito (VcE), gnaisse (VcG) ou não enriquecidos (Vc). Médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de SNK ($p < 0,05$). Barras representam o erro padrão.

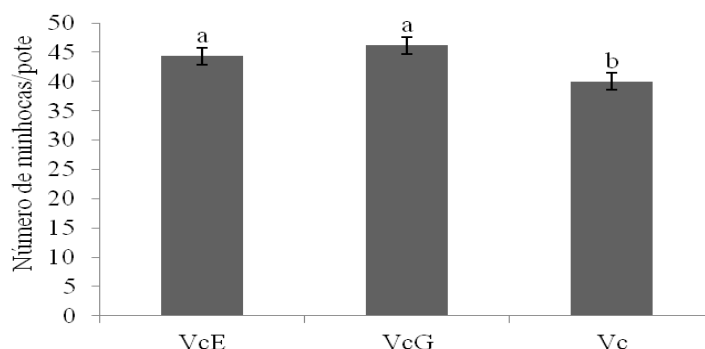


Fig. 2. Número médio ($n = 6$) de minhocas ao final do processo de vermicompostagem enriquecido com os pós de esteatito (VcE), gnaisse (VcG) ou não enriquecidos (Vc). Médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de SNK ($p < 0,05$). Barras representam o erro padrão.

3.2. Metais pesados no corpo das minhocas

As concentrações de Cu ($F_{2,15} = 49,2$; $p < 0,001$), Ni ($F_{2,15} = 21,3$; $p < 0,001$) e Cr ($F_{2,15} = 820,7$; $p < 0,001$) foram maiores nos tratamentos VcE e não diferiram entre os tratamentos VcG e Vc. As concentrações de Zn ($F_{2,15} = 6807,5$; $p < 0,001$) e Pb ($F_{2,15} = 128,3$; $p < 0,001$) foram maiores nos tratamentos VcG. As concentrações de Cd ($F_{2,15} = 30,2$; $p < 0,001$) não diferiram entre os tratamentos enriquecidos com pós de rochas (Tabela 4).

Tabela 4. Concentração média (n = 6; erro padrão) de metais no corpo das minhocas ao final dos processos de vermicompostagem enriquecidos com os pós de esteatito (VcE), gnaïsse (VcG) ou não enriquecidos (Vc). Médias seguidas por uma mesma letra, para cada metal, não diferem entre si pelo teste de SNK ($p < 0,05$).

	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb
	..... mg kg ⁻¹					
VcE	34,9 (2,03) ^a	71,1 (0,25) ^b	151,8 (3,41) ^a	2,2 (0,17) ^a	167,8 (4,9) ^a	7,6 (0,24) ^b
VcG	15,1 (1,19) ^b	102,1 (0,45) ^a	68,1 (11,4) ^b	1,9 (0,16) ^a	41,5 (2,3) ^b	8,3 (0,10) ^a
Vc	17,1 (1,31) ^b	23,7 (0,65) ^c	70,9 (18,7) ^b	0,7 (0,08) ^b	26,8 (0,4) ^b	4,7 (0,15) ^c

3.3. Metais pesados no vermicomposto

A adição de pó de esteatito proporcionou maior adição de Ni ($F_{2,15} = 1614,7$; $p < 0,001$) e Cr ($F_{2,15} = 4809$; $p < 0,001$) ao vermicomposto em comparação ao tratamento VcG e Vc (Tabela 5). Embora as concentrações de Cr e Ni tenham sido bastante elevadas, refletindo a grande concentração destes elementos presentes na rocha (Tabela 1), apenas a concentração de Ni (182,8 mg kg⁻¹) ficou acima do permitido pela legislação brasileira (70 mg kg⁻¹, Tabela 2). A concentração de Zn ($F_{2,15} = 2455,4$; $p < 0,001$) foi maior no vermicomposto enriquecidos com pó de gnaïsse em comparação aos demais tratamentos. Já as concentrações de Cu ($F_{2,15} = 9,5$; $p = 0,002$) e Pb ($F_{2,15} = 15,8$; $p < 0,001$) não diferiram entre os tratamentos VcE e Vc, sendo menores no tratamento VcG. O Cd não foi detectado nos vermicompostos de nenhum dos tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5. Concentração média (n = 6; desvio padrão) de metais pesados nos vermicompostos, ao final do processo de vermicompostagem, enriquecidos com os pós de esteatito (VcE), gnaïsse (VcG) ou não enriquecidos (Vc). Médias seguidas por uma mesma letra, para cada metal, não diferem entre si pelo teste de SNK (p < 0,05).

	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb
	..... mg kg ⁻¹					
VcE	25,7 (1,42) ^a	35,9 (0,09) ^b	182,8 (6,05) ^a	nd ¹	119,6 (1,01) ^a	12,5 (0,55) ^a
VcG	19,4 (1,02) ^b	42,8 (0,25) ^a	10,0 (0,43) ^b	nd	17,4 (0,40) ^b	8,4 (0,33) ^b
Vc	24,8 (0,76) ^a	21,4 (0,26) ^c	6,2 (0,39) ^c	nd	15,8 (1,01) ^b	12,4 (0,79) ^a

¹Não detectado: concentrações de menores do que limite de quantificação do método utilizado.

3.4. Biomassa seca das plantas

A biomassa seca da planta (parte aérea+raízes) nos tratamentos fertilizados com vermicompostos enriquecidos com os pós de rochas, VcE (8,36 g) e VcG (7,24 g), foram superiores ao tratamento não enriquecido e diferiram entre si pelo teste de SNK (Fig. 3).

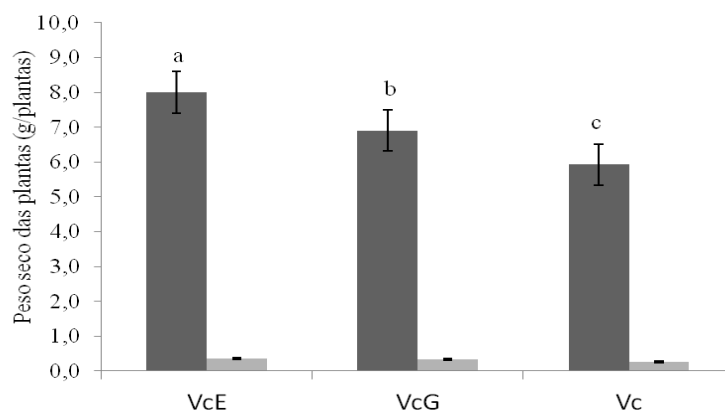


Fig. 3. Peso seco da parte aérea (cor preta) e das raízes (cor cinza) das plantas de milho (n = 6) aos 45 dias após a semeadura nos tratamentos fertilizados com vermicompostos enriquecidos com os pós de esteatito (VcE), gnaïsse (VcG) ou não enriquecidos (Vc). Médias seguidas por uma mesma letra, para cada característica, não diferem entre si pelo teste de SNK (p < 0,05). Barras representam o erro padrão.

3.5. Metais pesados nas raízes

Nas raízes as concentrações de Cu ($F_{2,15} = 50,6$; $p < 0,001$), Ni ($F_{2,15} = 35,7$; $p < 0,001$), Cr ($F_{2,15} = 105,3$; $p < 0,001$) e Pb ($F_{2,15} = 63,3$; $p < 0,001$) foram maiores nos tratamentos em que houve adição de esteatito (VcE) em comparação com VcG (Tabela 6). As concentrações de Zn ($F_{2,15} = 983,4$; $p < 0,001$) foram maiores nos tratamentos

enriquecidos com pós de rochas (em especial no VcG) em comparação ao tratamento não enriquecido. Cádmio não foi detectado em nenhum dos tratamentos.

As concentrações de Cu, Zn e Cd (Tabela 6) em todos os tratamentos encontram-se abaixo dos limites máximos de tolerância para alimentos (Tabela 2) definidos pela ANVISA (1965, 1996). Contudo, a concentração de Ni está acima dos limites máximos de tolerância para alimentos nas raízes das plantas crescidas no vermicomposto enriquecido com pó de esteatito. Já as concentrações de Cr e Pb nas raízes do milho ficaram acima do limites máximos de tolerância para alimentos em todos os tratamentos.

Tabela 6. Concentração média (n = 6; erro padrão) de metais pesados nas raízes das plantas fertilizadas com vermicompostos enriquecidos com esteatito (VcE), gnaisse (VcG) ou não enriquecidos (Vc). Médias seguidas por uma mesma letra, para cada metal, não diferem entre si pelo teste de SNK ($p < 0,05$).

	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb
	..... mg kg ⁻¹					
VcE	13,9 (0,54) ^a	23,4 (0,11) ^b	5,1 (0,56) ^a	nd ¹	41,7 (0,38) ^a	4,2 (0,36) ^a
VcG	7,5 (0,35) ^c	30,8 (0,15) ^a	1,4 (0,14) ^b	nd	4,2 (0,15) ^b	1,4 (0,06) ^b
Vc	11,4 (0,46) ^a	12,9 (1,79) ^c	0,5 (0,02) ^c	nd	0,7 (0,12) ^c	1,7 (0,12) ^b

¹Não detectado: concentrações menores do que limite de quantificação do método utilizado.

3.6. Metais pesados na parte aérea

Na parte aérea, as concentrações de Cu, (Tabela 7), foram semelhantes em todos os tratamentos ($F_{2,14} = 1,1$; $p = 0,324$). As concentrações de Zn foram maiores nos tratamentos enriquecidos com pós de rochas, em especial no VcG, em comparação ao não enriquecido ($F_{2,15} = 335,6$; $p < 0,001$). As concentrações Ni diferiram entre todos os tratamentos ($F_{2,15} = 304,0$; $p < 0,001$), sendo maior no tratamento enriquecido com pó de esteatito. Cádmio não foi detectado em nenhum dos tratamentos (Tabela 7). As concentrações de Cr foram maiores na parte aérea das plantas submetidas ao tratamento VcE, em comparação com os demais tratamentos ($F_{2,15} = 7070,3$; $p < 0,001$). As concentrações médias de Pb não diferiram entre os tratamentos enriquecidos com pó de gnaisse e o controle ($F_{2,15} = 8,73$; $p = 0,003$), (Tabela 7).

As concentrações de Cu, Zn, e Cd (Tabela 7), em todos os tratamentos encontram-se abaixo dos limites máximos de tolerância definido pela legislação

brasileira (ANVISA 1965, 1996). As concentrações de Ni, nos tratamentos enriquecidos com pós de rochas, estão acima dos limites máximos de tolerância. Já as concentrações de Cr e Pb na parte aérea do milho, estão acima do limites máximos de tolerância da ANVISA em todos os tratamentos (Tabela 2).

Tabela 7. Concentração média (n = 6; erro padrão) de metais pesados na parte aérea das plantas fertilizadas com vermicompostos enriquecidos com os pós de esteatito (VcE), gnaissé (VcG) ou não enriquecidos (Vc). Médias seguidas por uma mesma letra, para cada metal, não diferem entre si pelo teste de SNK (p < 0,05).

	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb
	..... mg kg ⁻¹					
VcE	5,7 (0,25) ^a	4,4 (0,13) ^b	12,8 (0,75) ^a	nd ¹	21,1 (0,12) ^a	2,8 (0,16) ^a
VcG	5,3 (0,30) ^a	7,2 (0,08) ^a	6,6 (1,32) ^b	nd	4,7 (0,19) ^b	1,5 (0,18) ^b
Vc	5,6 (0,65) ^a	3,5 (0,08) ^c	4,4 (0,12) ^c	nd	nd	2,1 (0,31) ^a

¹Não detectado: Concentrações de menores do que limite de quantificação do método utilizado.

3.7. Avaliação de metais pesados no solo pós-cultivo

Nos solos pós-cultivo as concentrações de Cu ($F_{2,15} = 0,4$; p = 0,713), Zn ($F_{2,15} = 2,6$; p = 0,106), Ni ($F_{2,15} = 0,3$; p = 0,761) e Pb ($F_{2,15} = 1,4$; p = 0,284) não diferiram entre os tratamentos (Pb em VcG não foi detectado) (Tabela 8). Cd e Cr não foram detectados no solo pós-cultivo.

Tabela 8. Concentração média (n = 6; erro padrão) de metais pesados nos solos pós-cultivo fertilizados com vermicompostos enriquecidos com os pós de esteatito (VcE), gnaissé (VcG) ou não enriquecidos (Vc). Médias seguidas por uma mesma letra, para cada metal, não diferem entre si pelo teste de SNK (p < 0,05).

	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb
	.....(mg Kg ⁻¹).....					
VcE	0,4 (0,04) ^a	0,5 (0,03) ^a	0,1 (0,75) ^a	nd ¹	nd	0,2 (0,08) ^a
VcG	0,4 (0,04) ^a	0,4 (0,03) ^a	0,2 (0,15) ^a	nd	nd	nd
Vc	0,4 (0,05) ^a	0,5 (0,06) ^a	0,1 (0,12) ^a	nd	nd	0,1 (0,08) ^a

¹ Não detectado: concentrações de menores do que limite de quantificação do método utilizado.

Em se levando em consideração a portaria do COPAM (2011), em todos os tratamentos, as concentrações de metais presentes no solo pós-cultivo, encontram-se

abaixo dos Valores de Referência de Qualidade para Solos, definidos para o estado de Minas Gerais (Tabela 2).

3.8. Balanço de Ni, Cr e Pb nos experimentos (obtenção dos vermicompostos e ensaio agronômico)

Os teores de metais pesados presentes no calcário não foram apresentados, separadamente nos balanços (Tabelas 9 e 10), pois todos os tratamentos receberam a mesma dose, ou seja, 3g de calcário na adubação corretiva.

3.8.1. Balanço de metais pesados para o esteatito

Conforme os mostram os dados da Tabela 9, o pó de esteatito apresentou 17 vezes mais níquel e 4,7 vezes mais cromo que o esterco. No entanto, o esterco apresentou aproximadamente 6,7 vezes mais chumbo que o pó de esteatito.

Tabela 9. Balanço de Ni, Cr e Pb para o tratamento com esteatito nos experimentos, considerando as principais entradas e saídas dos metais no sistema.

	Esteatito (E)	Esterco (EB)	Minhoca (M) ¹	Vermicomposto (E+EB-M)	Analísado ²	Substrato ³	Milho (MS) ⁴
	..... mg frasco ⁻¹ .....			.....		... mg vaso ⁻¹ ...	
Ni	622,5	36,5	0,46	658,5	621,5	15,2	0,10
Cr	400,1	86,0	0,47	485,6	406,5	11,3	0,19
Pb	6,1	40,7	0,02	46,7	42,6	1,4	0,02

¹Conteúdo de metais nas minhocas que foram retiradas do material a ser utilizado no crescimento de plantas (calculado com base nos dados da Tabela 4 e Fig. 1); ²calculado com base na Tabela 5 e no rendimento de vermicomposto do VcE (56,3%); ³preparado com 3 kg de solo (metais pesados não foram detectados), fertilizado com 7,5 g de esterco, 77 g de vermicomposto processado com pó de esteatito e corrigido com 3 g de calcário dolomítico; ⁴Conteúdo na massa seca da planta (raiz + parte aérea); Para a obtenção do vermicomposto foi utilizado 400 g de pó de esteatito e 3000 g de esterco (peso seco).

3.8.2. Balanço de metais pesados para o gnaíse

Na Tabela 10, observa-se que o esterco possui 21,5 vezes mais níquel que o gnaíse, 15 vezes mais cromo e 10,4 vezes mais chumbo.

Tabela 10. Balanço de Ni, Cr e Pb para o tratamento com gnaissse nos experimentos, considerando as principais entradas e saídas dos metais no sistema.

	Gnaissse (G)	Esterco (EB)	Minhoca (M) ¹	Vermicomposto		Substrato ³	Milho (MS) ⁴
				(G+EB-M)	Analisado ²		
	..... mg frasco ⁻¹ .....			... mg vaso ⁻¹ ...			
Ni	1,8	36,5	0,29	37,9	34,0	1,2	0,04
Cr	5,7	86,0	0,20	91,6	59,1	2,5	0,03
Pb	3,9	40,7	0,03	44,6	28,6	1,3	0,01

¹Conteúdo de metais nas minhocas calculado com base nos dados da Tabela 4 e Fig. 1 (após a obtenção do vermicomposto pronto as minhocas foram retiradas do material); ²Calculado com base nos dados da Tabela 5 e no rendimento de vermicomposto do VcG (55,5%); ³Preparado com 3 kg de solo (metais pesados não foram detectados), fertilizado com 7,5 g de esterco, 79 g de vermicomposto processado com pó de gnaissse e corrigido com 3 g de calcário dolomítico; ⁵Conteúdo na massa seca da planta (raiz + parte aérea); Para a obtenção do vermicomposto foi utilizado 400 g de pó de gnaissse e 3000 g de esterco (peso seco).

4. DISCUSSÕES

4.1. População e biomassa de minhocas

Apesar da presença de elementos potencialmente tóxicos às minhocas (Karaca et al., 2010) nas rochas silicatadas (Tabela 1), o peso e o número das mesmas (Figs. 1 e 2) indicaram que a adição dos pós de rochas no processo de vermicompostagem não prejudicaram, ao contrário favoreceram, o crescimento e a reprodução destes animais, assim como observados por Souza et al. (2013), em experimento conduzido em casa de vegetação com vermicompostagem associadas aos pós de gnaissse e esteatito.

4.2. Metais pesados no corpo da minhoca

As minhocas acumularam em seu corpo os metais presentes nos pós de rochas, entretanto, em pequenas quantidades (Tabelas 9 e 10), assim como observado por Hervas et al., (1989) e Morgan & Morgan (1998). Alguns destes metais, como o cobre, são constituintes normais e constantes do organismo animal e sua concentração pode variar conforme a espécie e a idade da minhoca. Esses elementos transitam no organismo animal combinado a algumas proteínas, participando de diversas reações no organismo (Andrighetto et al., 1998).

Ainda que seja pequena a quantidade de metais presentes no corpo das minhocas, deve-se ter o cuidado de não utilizar as minhocas, como na alimentação animal, para que não haja risco de contaminação.

4.3. Metais pesados no vermicomposto

As elevadas concentrações dos metais pesados Ni e Cr nos vermicompostos (Tabela 5) não devem ser creditadas apenas aos pós de rochas. Alguns autores relataram a presença de metais pesados no esterco (Raij et al., 1996; Rodrigues & Santos, 2002; Kabata-Pendias & Pendias, 2001), assim como observado neste trabalho (item 2.2), onde os teores de alguns metais (Ni, Cr e Pb) no esterco, foram superiores ao pó de gnaïsse. A presença de metal pesado no esterco pode ser atribuída aos suplementos alimentares de bovinos (Khatounian, 2001; Ponpe & Prevendar, 2002; Marçal et al., 2003; Marçal et al., 2004), adubação química, como também utilização de agrotóxicos.

Embora as concentrações de metais pesados no esterco tenham sido superiores às do pó de gnaïsse, nos dois materiais as concentrações estão dentro do limite máximo tolerado em fertilizantes orgânicos e inorgânicos (Brasil, 2006).

As concentrações de metais pesados no tratamento controle pode ser creditada à perda de massa de material orgânico na forma de gases. Com isto, o processo de vermicompostagem pode levar a um aumento da concentração de parte dos nutrientes do esterco (Silva et al., 2002), a partir das interações entre os microrganismos no intestino das minhocas e a matéria orgânica (Cheng & Wong 2002).

4.4. . Biomassa seca das plantas

O maior ganho de massa seca das plantas crescidas com vermicompostos enriquecidos com pós de rochas (Fig. 3) aponta o potencial do uso das práticas de rochagem associadas às adubações orgânicas para a fertilização dos solos. Isto porque a adição de pós de rochas ao processo de vermicompostagem proporciona aumento da disponibilidade de nutrientes nos solos cultivados e aumenta a reserva nutricional do mesmo (Souza et al., 2013).

4.5. Metais pesados na raiz e parte aérea

Os dados de concentração média de Cu (Tabela 6 e 7) nas plantas, encontram-se próximo ao intervalo (6 a 20 mg kg⁻¹) considerados adequados para as plantas de milho, segundo Malavolta et al. (1997). Nas raízes, as concentrações de Zn (Tabela 6) estão um pouco acima dos intervalos (18,2 e 21,5 mg kg⁻¹) verificados por Ferreira et al. (2001) ao analisar milho, aos 45 dias após a emergência. Níveis de Zn iguais ou maiores que 12 mg kg⁻¹ são suficientes para proporcionar crescimento normal das raízes de milho (Rosolem & Franco, 2000). Entretanto, concentrações de Zn encontradas na parte aérea (Tabela 6) são consideradas baixas conforme Rosolem & Franco (2000). Os níveis ideais de Zn nas folhas de plantas de milho, sugerido por Malavolta et al. (1997), variam entre 15 e 50 mg kg⁻¹. Apesar das baixas concentrações de Zn na parte aérea, a adição de pós de rochas, em especial do pó de gnaíse, contribuiu para o acréscimo de Zn nas plantas.

O zinco é fortemente adsorvido aos solos, principalmente pela fração mineral (Raij, 1991). Segundo Schuman (1975), entre os fatores que influenciam as reações de adsorção e, conseqüentemente a disponibilidade do Zn, estão as características químicas do solo, como por exemplo, o valor de pH. Quando o pH se eleva diminui a disponibilidade de Zn. Em valores de pH acima de 5,5, o Zn é adsorvido a hidróxido de Al, Fe e Mn (Moraghan & Mascagni, 1991). O que pode explicar as baixas concentrações de Zn na parte-aérea das plantas e em comparação com a raiz, pois o pH do solo pós-colheita variou em média de 6,7 a 6,4.

O uso de pó de gnaíse pode ser uma alternativa para a fertilização com Zn, um dos micronutrientes a mais limitante à produtividade de muitas culturas no Brasil, sendo muito comum a deficiência na cultura de café (Ribeiro et al., 1999). Na Zona da Mata Mineira, que possui o gnaíse como rocha principal, é considerada uma das principais regiões produtoras de café no Estado (Guimarães, 1996), agricultores estão usando pós de rochas (em especial granito e gnaíse) com sucesso na produção e qualidade do café (informação pessoal, Maria do Carmo Cupertino de Martins Soares - MG). A alta concentração de Ni no pó de esteatito refletiu em maiores teores do elemento nas plantas crescidas no tratamento enriquecido com pó de esteatito (Tabelas 6 e 7). O níquel recentemente passou a ser considerado um elemento essencial para as plantas superiores e, também recentemente, a sua toxicidade para as plantas foi estudada

(Brown et al., 1997). De acordo com Melo et al. (2004), o Ni tende a se acumular nas folhas e nos grãos do milho. Porém, há grande variabilidade nos teores de níquel na planta. De acordo com Mengel & Kirkby (2001), os teores de Ni na matéria seca das plantas variaram de 0,1 a 5 mg kg⁻¹; já os teores de níquel em plantas alimentícias cultivadas em vários países da Europa variaram de 0,37 a 10 mg kg⁻¹ (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). O limite superior encontrados por estes autores estão próximos (11,0 mg kg⁻¹) aos encontrados por Melo et al. (2004) na matéria seca das plantas. Em nosso experimento o milho não apresentou sinais de toxidez de níquel, que normalmente se expressa quando a sua concentração na matéria seca das plantas é maior do que 50 mg kg⁻¹, com exceção das espécies acumuladoras e hiperacumuladoras (Adriano, 1986), valores superiores aos encontrados em nosso estudo (Tabelas 6 e 7). Tais valores ultrapassaram o valor máximo (5 mg kg⁻¹, Tabela 2) definido pela legislação brasileira para grãos de milho e a legislação não estabelece valores para a parte aérea (analisada por nós). No entanto, os dados encontrados por nós encontram-se dentro da faixa adequada definida para vários países da Europa (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007).

Os resultados mostraram que as rochas disponibilizaram Cr para as plantas, principalmente o esteatito. Não existe evidência de que o Cr seja essencial para o metabolismo das plantas (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). O excesso desse elemento causa má formação em proteínas como resultado da interrupção do metabolismo do N nas plantas (Chatterjee & Chatterjee, 2000). De um modo geral, o cromo disponível é acumulado nas raízes, formando barreiras que diminuem a sua translocação para a parte aérea das plantas (Losi et al., 1994; Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Esta barreira pode ter sido responsável pela menor concentração do metal pesado na parte aérea das plantas em relação às raízes. Cary & Kubota (1990), pesquisando 62 espécies diferentes de plantas, relataram que a maioria das espécies apresentaram concentrações de Cr menor que 1 mg kg⁻¹, sendo que a concentração detectada na parte aérea do milho variou de 0,3 a 0,4 mg kg⁻¹. Os dados observados para o Cr (parte aérea + raiz), embora não tenham resultado em nenhum sintoma visual de toxidez, podem ser preocupantes, pois são teores altos que podem causar toxicidade à outras plantas ou à outros organismos. As concentrações de Cr observadas ultrapassam o valor máximo tolerado (0,1 mg kg⁻¹, Tabela 2), para alimentos humano, segundo a legislação brasileira. Entretanto, considerando a diminuição observada nos teores nas folhas em relação às raízes, espera-se que haja diminuição também em relação ao grão.

As concentrações de Pb encontradas nas raízes (Tabela 6) estão abaixo do limite considerado ($56,0 \text{ mg kg}^{-1}$) fitotóxico para o milho (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). As raízes podem absorver quantidades significativas de metais pesados como o Pb, os quais, em geral, são pouco translocados para a parte aérea das plantas (Mortvedt, 2001; Malavolta, 2006; Shtangeeva et al., 2011). Kabata-Pendias & Pendias (2001) ainda consideram como toleráveis em cultivos agrícolas concentrações de Pb entre 0,5 e 10 mg kg^{-1} ; valores bem superiores aos estabelecidos pela legislação brasileira ($0,5 \text{ mg kg}^{-1}$), mas para hortaliças, (ANVISA 1965,1996) .

4.6. Metais pesados no solo pós-cultivo

As concentrações de metais pesados no solo pós-cultivo (Tabela 8), ficaram abaixo dos Valores de Referência de Qualidade para Solos no Estado de Minas Gerais (Tabela 2). O solo, provavelmente, imobilizou grande parte dos metais presentes nos vermicompostos. Segundo Dumat et al. (2006) a matéria orgânica do solo pode complexar metais presentes na solução do solo, e desta forma diminuir a toxicidade de poluentes. A matéria orgânica apresenta grande afinidade por metais pesados presentes no solo, esse comportamento é capaz de gerar sítios de adsorção, atuando via ligação iônica e/ou como agente quelante na solução do solo (Stevenson, 1994).

4.7. Balanço dos metais

A baixa extração pelas plantas de milho do Ni, Cr e Pb (Tabelas 9 e 10) presentes nos substratos, pode ser atribuída à capacidade de imobilização destes metais pelo solo e à capacidade de absorção seletiva dos elementos pelas plantas (Baker, 1981). No caso dos pós de gnaiss, grande parte destes elementos possivelmente foram extraídos do esterco, pois as concentrações dos mesmos no pó de gnaiss são menores do que no esterco. Isto sugere maiores cuidados da legislação ou maior fiscalização da qualidade dos suplementos oferecidos aos animais (Marçal et al., 2001).

5. CONCLUSÕES

A adição dos pós de esteatito e gnaïsse ao substrato para a obtenção de vermicompostos não afetou negativamente o desenvolvimento e a reprodução de *E. andrei*.

O pó de gnaïsse pode ser utilizado como fonte de enriquecimento do vermicomposto, pois melhora a qualidade química do adubo orgânico e o desenvolvimento das plantas e não disponibiliza altos teores de metais pesados. O tratamento enriquecido com pó de gnaïsse contribuiu para o acréscimo de Zn nas plantas, podendo ser, portanto, uma alternativa para a fertilização com Zn. Já o uso do pó de esteatito deve ser visto com mais cuidado e requer mais estudos, pois houve disponibilização de Ni e Cr para as plantas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e CAPES, pela bolsa concedida à M.E.P SOUZA. CNPq, FAPEMIG, MEC/SESu, ProExt suporte financeiro à pesquisa. Os estagiários Andreia e Pedro que colaboraram com os trabalhos de laboratório e campo.

6. REFERENCES

- Adriano, D.C. 1986. Trace elements in the terrestrial environment. New York: Springer-Verlag. 533p.
- Amaral Sobrinho, N.M.B., Barra, C.M., Lã, O.R. 2009. Química dos metais pesados no solo. In: Melo, V.F. & Alleoni, L.R.F. (Eds). Química e mineralogia do solo: aplicações. Viçosa, SBCS. 249-312 pp.
- Andriguetto, J.M., Perly, L., Minardi, I., Gemael, A., Flemming, J.S., Souza, G.A., Bona Filho, A. 1998. Nutrição animal - as bases e os fundamentos da nutrição animal. São Paulo: Nobel. 183p.
- Anvisa - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Decreto nº 55871 de 26 de março de 1965. <http://www.Anvisa.gov.br/legis/decretos/55871_65.html>. Acesso em: 02 fev. 2013.
- Anvisa - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 685 de 27 de agosto de 1998. <http://www.Anvisa.gov.br/legis/portarias/685_98.html>. Acesso em: 02 fev. 2013.
- Aquino, A.M. 2005. Integrando compostagem e vermicompostagem na reciclagem de resíduos orgânicos domésticos. Embrapa Agrobiologia. Circular Técnica, 12. 4 p.
- Baker, A.J.M. 1981. Accumulators and excluders - strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*. 3, 643-654.

- Bigarella, J.J., Becker, R.D., Santos, G.F., Passos, E., Suguio, K., 1994. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis. Ed. UFSC. 423p.
- Brasil. 2006. Instrução Normativa nº 27, de 5 jun. 2006. Dispõe fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender os limites estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V desta Instrução Normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, BRASIL. Instrução Normativa nº 27, de 5 jun. 2006.
- Brown, P.H., Welch, R.M., Cary, E.E. 1987. Nickel: A Micronutriente Essencial for Higher Plants. *Plant Physiology*.85, 801 – 803.
- Carvalho, A.M.X. 2012. Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico. 116f. Tese de doutorado (Solos e Nutrição de Plantas - Departamento de Solos), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- Cary, E.E., Kubota, J. 1990. Chromium concentration in plants: effects of soil chromium concentration and contamination by soil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 38, 108 – 114.
- Castilhos, Z.C., Araújo, P., Campos, C.B.P., Brandão L.P., Zamboni, W., Morais, F., Middea, A, Bezerra, O., Portugal, A., 2008. Clean technologies for soapstone handcraft in a rural area of Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil. 8th Internacional Conference - Clean Technologies for the World Mining Industry – Santiago, Chile.
- Chatterjee, J., Chatterjee, C. 2000. Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower. *Environmental Pollution*. 109, 69–74.
- Cheng, J. & Wong, H.M. 2002. Effects of earthworms on Zn fractionation in soils. *Biology & Fertility of Soils*. 36, 72-78.
- Copam - Conselho Estadual de Política Ambiental. 2011. Resolução nº 166, de 29 de junho de 2011. Altera o Anexo I da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 2 de 6 de setembro de 2010, estabelecendo os valores de referência de qualidade dos solos. Diário do Executivo – “Minas Gerais”, de 27 julho. 2011.
- Dumat, C., Quenea, K., Bermond, A., Toinen, S., Benedetti, M.F. 2006. Study of the trace metal ion influence on the turnover of soil organic matter in cultivated contaminated soils. *Environmental Pollution*. 142, 521-529,
- Edwards, C.A. 1995. Historical overview of vermicomposting. *BioCycle*. 36, 56-58.
- Edwards, C.A., 1998. *Earthworm Ecology*. New York: Academic Publishing. 388p.
- Edwards, C.A., Arancon, N.Q. 2004. The use of earthworms in the breakdown of organic wastes to produce vermicomposts and animal feed protein. In: Edwards, C.A. (Ed.). *Earthworm ecology* (2nd ed.). London: CRC Press. 345-438pp.
- Ferreira, A.C.B., Araújo, G.A.A., Pereira, P.R.G., Cardoso, A.A. 2001. Características agrônomicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. *Scientia Agrícola*. 58, 131-138.
- Furlan, F. Costa, M.S.S.M., Costa, L.A.M., Marini, D., Castoldi, G., Souza, J H., Pivetta, L.A., Pivetta, L.G. 2007. Substratos alternativos para produção de mudas de couve folha em sistema orgânico. *Revista Brasileira de Agroecologia*. 2, 1686 –1689.
- Giracca, E.M.N. 2005. Efeito do calcário em atributos biológicos do solo. 2005. 61 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

- Guimarães, R.T. 1996. Desenvolvimento da cafeicultura de montanha. In: Alvarez, V.H., Fontes, L.E. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentável. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciências do Solos. 251-259.
- Gussarsson, M., Adalsteinsson, P.J., Asp, H. 1995. Cadmium and copper interactions on the accumulation and distribution of Cd and Cu in birch (*Betula pendula* Roth) seedlings. *Plant and Soil*. 71, 185-187.
- Hervas, L., Mazuelos, C., Senesi, N., Saiz-Jimenez, C. 1989. Chemical and physicochemical characterization of vermicomposts and their humic acid fractions. *The Science of the Total Environment*. 81/82, 543-550.
- Kabata-Pendias, A., Mukherjee A.B. 2007. Trace elements from soil to human. Berlin: Springer. 519p.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H. 2001. Trace elements in soils and plants. 3rd ed. Flórida: CRC Press. 315 p.
- Karaca, A., Kizilkaya, R., Turgay, O.C., Cetin, S.C. 2010. Effects of earthworms on the availability and removal of heavy metals in soil. In: Sherameti, I., Varma, A. (Eds.). *Soil Heavy Metals*, Berlin: Springer. 237-262 pp.
- Khalil, M.A., Abdel-Lateif, H.M., Bayoumi, B.M., van Straalen, N.M. 1996. Analysis of separate and combined effects of heavy metals on the growth of *Aporrectodea caliginosa* (Oligochaeta; Annelida) using the toxic approach. *Applied Soil Ecology*. 4, 213–219.
- Khatounian, C.A. A reconstrução ecológica da agricultura. Botucatu: Agroecologia. 2001. 348p.
- Kiehl E.J., 2010. Novo fertilizantes orgânicos - revisto e atualizado. Piracicaba: Editora Degaspari. 248p.
- Kizilkaya, R., Askin, T., Bayraklı, B., Sag-Lam, M. 2004. Microbiological characteristics of soils contaminated with heavy metals. *European Journal of Soil Biology*. 40, 95–102.
- Kizilkaya, R., Hepsen, S., Akca, I., Bayraklı, B., Askin, T., Turkmen, C. 2009. Determination of total and mobile Pb fractions during vermicomposting in sewage sludge. *International Symposium on Environment*. 20–23pp.
- Landgraf, M.D., Alves, M.R., Silva, S.C., Rezende, M.O.D. 1999. Characterization of humic acids from vermicompost of cattle manure composting by 3 and 6 months. *Química Nova*. 22, 483-486.
- Leonardos, O.H., Theodoro, S.C.H., Assad, M.L., 2000. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian viewpoint. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 56, 3-9.
- Losi, M.E.; Amrhein, C.; Frankenberger, W.T. 1994. Environmental biochemistry of chromium. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 135, 91-121.
- Malavolta, E. Manual de Nutrição Mineral de Plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, Potafós. 319p.
- Marçal, W.S., Buture, I.O., Carvalho, M.C., Fortes, M.S., Silva, R.A. 2004. Níveis de chumbo e cádmio em suplementos minerais para bovinos comercializados em Londrina. *Semina: Ciências Agrárias*. 25, 359-364.
- Marçal, W.S., Gaste, L., Liboni, M., Pardo, P.E., Nascimento, M.R.L. 2011. Concentration of lead in mineral salt mixtures used as supplements in cattle food. *Experimental and Toxicologic Pathology*, Jena,.53, 7-9.

- Marçal, W.S., Villegas-Navarro, A., Nascimento, M.R.L., Guerra, A.P., Fujihara, C.J., Bruschi, A.B.M. 2003. Bovinos e equinos como bioindicadores da poluição ambiental. *Revista Brasileira de Ciência Veterinária*. 10, 16-20.
- Melamed, R., Gaspar, J.C., Miekeley, N., 2007. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais. CETEM/MCT, Série Estudos e Documentos. 72 p.
- Melo, G.M.P., Melo, V.P., Melo, W.J. 2004. Metais pesados no ambiente decorrente da aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola. 98p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/cbf6214/lodometal.pdf>>. Acesso em 08/04/2014.
- Menezes Junior, O.G., Fernandes, H.S. 1998. Vermicomposto na produção de mudas de couve-flor. *Revista Brasileira de Agrociência*. 4, 91-196.
- Mengel, K., Kirkby, E.A. 2001. Principles of plant nutrition. 5th ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 849 p.
- Moraghan, J.T., Mascagni, J.R., H.J. 1991. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: Mortvedt, J.J. *Micronutrients in Agriculture*. Madison, WI. 2^a ed. 371-426 pp.
- Morgan, J.E., Morgan, A.J. 1999. The accumulation of metals (Cd, Cu, Pb, Zn and Ca) by two ecologically contrasting earthworms species. *Applied Soil Ecology*. 13, 9-20.
- Morgan, J.E., Morgan, J.A. 1998. The distribution and intracellular compartmentation of metals in the endogeic earthworm *Aporrectodea caliginosa* sampled from an unpolluted and a meta-contaminated site. *Environmental Pollution*. 99, 167-175.
- Mortvedt, J.J. 2001. Tecnologia e produção de fertilizantes com micronutrientes: presença de elementos tóxicos. In: Ferreira, M.E., Cruz, M.C.P., Raij, B., Abreu, C.A. *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal. 237-253pp.
- Nahmani, J., Hodson, M.E., Black, S., 2007. A review of studies performed to assess metal uptake by earthworms. *Environmental Pollution*. 145, 402-424.
- Ponpe, G.J., Prevendar, C. 2002. Cadmium in tissues of roe deer (*Capreolus capreolus*). *The journal Veterinarski Arhiv*. 72, 303-310.
- Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., Alvarez V., V.H. 1999. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5^a Aproximação. Viçosa, MG, 1999. 359p.
- Rodrigues, M.G., Santos, A.R. 2002. Efeito da adubação com resíduo orgânico em Latossolo Amarelo coeso na produção da *Brachiaria decumbens* Stapf. e no acúmulo de metais pesados. *Magistra*. 14, 21-28.
- Rosolem, C.A.; Franco, G.R. 2000. Translocação de zinco e crescimento radicular em milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 24, 807-814.
- Sailaja-Kumari, M.S., Ushakumari, K. 2002. Effect of vermicompost enriched with rock phosphate on the yield and uptake of nutrients in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Journal of Tropical Agriculture*. 40, 27-30.
- Shahmansouri, M.R., Pourmoghadas, H., Parvaresh, A.R., Alidadi, H. 2005. Heavy metals bioaccumulation by iranian and australian earthworms (*Eisenia fetida*) in the sewage sludge vermicomposting. *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering*. 2, 28-32.
- Shtangeeva, I., Steinnes, E., Lierhagen, S. 2011. Macronutrients and trace elements in rye and wheat: similarities and differences in uptake and relationships between elements. *Environmental and Experimental Botany*. 70, 259-265.

- Shuman, L.M. 1975. The effect of soil properties on zinc adsorption by soils. *Proceedings Soil Science Society of America*. 39, 454-458.
- Siekierska, E., Urbanska-Jasik, D. 2002. Cadmium effect on the ovarian structure in earthworm *Dendrobaena veneta* (Rosa). *Environmental Pollution*. 120, 289–297.
- Silva, C.D., Costa, L.M., Matos, A.T., Cecon, P.R.; Silva, D.D. 2002. Vermicompostagem de lodo de esgoto urbano e bagaço de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 6, 487-491.
- Silva, F.C. 2009. Manual de análises químicas de solos plantas e fertilizantes. 2ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 627p.
- Souza, M.E.P., Carvalho, A.M.X., Deliberali, D.C., Jucksch, I., Brown, G.G., Mendonça, E.S., Cardoso, I.M. 2013. Vermicomposting with rock powder increases plant growth. *Applied Soil Ecology*. 69, 56-60.
- Spurgeon. D.J., Hopkin, S.P. 1996. Effects of metal-contaminated soils on the growth, sexual development and early cocoon production of the earthworm *Eisenia fetida*, with particular reference to zinc. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 35, 86–95.
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus Chemistry: genesis, composition, reactions*. 2. ed. New York: John Wiley. 496 p.
- Theodoro, S.H., Leonardos, O., Rocha, E.L., Rego, K.G. 2006. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. *Espaço & Geografia*. 9, 263-292.
- van Raij, B. 1991. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Agronômica Ceres, Potafós. 343p.
- Wei, Y.Y., Aziz, N.A.A., Shamsuddin, Z.H., Mustafa, M., Aziz, S.A., Kuan, T.S. 2012. Enhancement of plant nutrient contents in rice straw vermicompost through the addition of rock phosphate. *Acta Biologica Malaysiana*. 1, 41-45.

CAPÍTULO III

VERMICOMPOSTAGEM ENRIQUECIDA COM PÓ DE GNAISSE

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar, em condições de campo, a disponibilização de nutrientes presentes em pó de gnaisse após ser vermicompostado na promoção do crescimento, nutrição e acúmulo de metais pesados do milho e sua influência em características químicas do solo. Como substrato foi utilizado o esterco bovino semicurtido e uma dose de pó de gnaisse (20%). Foram construídos quatro minhocários para a produção do vermicomposto enriquecido, dois enriquecidos e dois sem enriquecimento como o pó de gnaisse. Realizou-se um ensaio agrônômico de campo com a cultura do milho cultivada em Latossolo Vermelho-Amarelo fertilizado. Foram utilizados três tratamentos, sendo o solo fertilizado com o vermicomposto enriquecido com pó de rocha (VcG), não enriquecido (Vc) e solo sem fertilização (controle), com cinco repetições, em um delineamento em blocos ao acaso. Os resultados mostraram que a massa seca da parte aérea do milho foi superior no tratamento VcG. As concentrações de K, Ca, Mg, Mn, Ni, Cr e Pb na massa seca da parte aérea do milho foram maiores em VcG. No solo, o pH e as concentrações de P, K e Ca foram superiores em VcG. As concentrações de Mg, Mn, Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Cr e Pb não foram alteradas pelos vermicompostos no solo. O pó de gnaisse quando vermicompostado possui potencial de utilização na agricultura enquanto fonte de nutrientes e promotor de melhorias nas características químicas do solo. O pó de gnaisse quando vermicompostado possui potencial de utilização na agricultura, enquanto fonte de nutrientes e promotores de melhorias em características químicas do solo, pois eleva os teores disponíveis de P e K após sua aplicação no solo. Não foi detectado resíduo de metais pesados no solo após a realização do experimento.

ABSTRACT

VERMICOMPOSTING ENRICHED WITH OF POWDERED GNEISS

The objective of this study was to evaluate, under field conditions, the value of powdered gneiss applied after vermicomposting in promoting plant growth and nutrition and to assess its influence on soil chemical properties and accumulation of heavy metals in maize. Cattle manure as a substrate, plus a dose of powder gneiss (20%) was investigated. In one treatment, two worm farms had no added powdered gneiss and in the other treatment two worm farms had the addition of powdered gneiss. Four worm farms were utilized to produce the enriched vermicompost, with two enriched and two non-enriched with powdered gneiss. An agronomic field trial was performed with maize grown with Oxisol fertilizer. Three treatments were used: the soil fertilized with vermicompost enriched with rock powder (VcG); or not (Vc); plus a control of untreated soil. The trial was performed in a complete randomized block design with three treatments and five replicates. The results showed that the dry weight of shoots of maize was higher in the fertilized treatment with VcG. The concentrations of K, Ca, Mg, Mn, Ni, Cr and Pb in the dry shoots of maize were higher in treatments fertilized with VcG compared to the other treatments. In the soil, pH and concentrations of P, K and Ca were higher in treatments with VcG. The concentrations of Mg, Mn, Fe, Zn, Cu, Ni, Cd, Cr and Pb were not affected by vermicompost in soil. Vermicompost enriched gneiss powder has potential use in agriculture as sources of nutrients, as it promotes improvements in soil chemical characteristics, and it elevates the levels of available P and K in the soil after application. Not detected residues of heavy metals were found in the soil after the experiment.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tornou-se um grande consumidor de fertilizantes solúveis devido à amplitude de sua produção agrícola e ao modelo de agricultura adotado (Porter et al., 2014). Faz-se necessário buscar alternativas para a agricultura alcançar a produtividade agrícola, sem a dependência da importação de recursos externos. Atualmente, o Brasil importa cerca de 70% do volume de fertilizantes comercializado no país. No ano de 2013, a importação de fertilizantes foi de 21,6 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 10,6% em relação ao ano anterior, considerado um recorde pela Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2014). 92% do fertilizante potássico consumido no país, é importado e isto tem impulsionado a busca por alternativas desse elemento no país (Brasil, 2009). Estes dados evidenciam que a sustentabilidade da agricultura brasileira é questionável, haja visto que um dos critérios de sustentabilidade é a autonomia, fragilizada quando se considera a grande dependência por fertilizantes importados (Gliessman, 2000).

A grande dependência externa de fertilizantes e o elevado gasto energético com a produção e transporte até as propriedades rurais aumentam o custo da produção agrícola e criam problemas ambientais. Dentre esses os efeitos negativos sobre a microbiota do solo, a salinização e a acidificação do solo levando, portanto, à sua degradação e, em alguns casos extremos, até mesmo à desertificação, principalmente quando os adubos são utilizados de forma inadequada (Chaboussou, 1980).

Os altos custos desses fertilizantes e a crescente preocupação com os problemas ambientais relacionados tornam o uso de resíduos na agricultura uma alternativa de fertilização dos solos e opção do ponto de vista econômico e ambiental (Kiehl, 2010). Estas alternativas referem-se aos materiais, orgânicos ou minerais, que até então não são explorados comercialmente, por desconhecimento técnico do seu potencial de uso ou por falta de disponibilidade do produto no mercado.

Os pós de rochas, rejeitos de indústrias mineradoras (Theodoro et al., 2006; Rezende, 2006), encontram-se dentre os resíduos minerais com potencial de uso na agricultura. No ano de 2013, o Brasil produziu 10.500.000 t de rochas ornamentais, comercializadas no mercado interno e externo, sendo os granitos, mármore, mármore travertino, quartzitos maciço e foliado, ardósias, basalto, gnaisse folheado, esteatito, calcário laminado e arenito conglomerático plaqueado, as principais rochas comercializadas (Chiodi Filho, 2014). Estima-se em torno de 70% a perda entre o

momento que o material é retirado da pedreira até a obtenção dos produtos finais. Destes, 40% são perdas na preparação dos blocos e das placas nas pedreiras e nas operações de serraria (Almeida, 2001). Do montante de resíduos, problemáticos, em termos ambientais, têm sido aqueles gerados nas serrarias (efluentes de serrarias), constituídos basicamente de finos (pó) das rochas, que contaminam diretamente os rios, poluem visualmente o ambiente e acarretam doenças pulmonares na população (Silva, 1998; Campos et al., 2009).

Entretanto, estes resíduos são fontes de nutrientes para as plantas e podem auxiliar na redução da dependência de importação de fertilizantes inorgânicos utilizados na agricultura (Theodoro et al., 2006). O uso de pós de rocha é uma alternativa ambiental e economicamente viável para melhorar a sustentabilidade da agricultura brasileira (Leonardos et al., 2000), pois os mesmos podem aumentar a disponibilidade de nutrientes, a reserva nutricional do solo e a resistência das plantas à estresses bióticos e abióticos, devido à melhoria do seu estado nutricional (Melamed et al., 2007).

Alguns trabalhos avaliaram o uso de pós de rocha, como fertilizantes. Escosteguy & Klamt (1998), ao adicionarem pó de basalto obtiveram pequenos aumentos nos teores de nutrientes disponíveis no solo. Arbieto (2005), avaliou o efeito da adição de pó de rocha como fonte de K, e observou que o granito supriu 40 % do K e o fonolito e a flogopita foram capazes de suprir 66 % das necessidades de K da cultura de alface. Carvalho (2012) observou o crescimento das plantas do feijão e melhorias nas características químicas do solo utilizando do pó de gnaiss em condições de campo. Agricultores da Zona da Mata de Minas Gerais vêm utilizando pós de gnaiss com bons resultados na produção e na qualidade do café (Informação pessoal - Maria do Carmo Cupertino de Martins Soares - MG).

O gnaiss é a principal rocha encontrada na Zona da Mata mineira. É uma rocha de origem metamórfica, possui uma composição de minerais diversa, com predominância de k-feldspato, quartzo, mica (biotita) e anfibólios (Bigarella et al., 1994). Os minerais que compõem o gnaiss são ricos em nutrientes como silício, potássio, cálcio, ferro e zinco. Portanto, o uso destas rochas ser uma alternativa a ser utilizada como fonte de potássio, contribuindo para a redução da dependência externa brasileira por este nutriente.

Porém, a disponibilização dos nutrientes nos pós de rochas é lenta. Esta baixa solubilidade dos minerais pode ser interessante por um lado, pois proporciona um efeito

residual prolongado, diminui as perdas por lixiviação e favorece a ação de longo prazo do insumo aplicado (Harley & Gilkes, 2000; Leonardos et al., 2000; van Straaten, 2006). Por outro lado, algumas culturas de ciclo curto, como o feijão, exigem uma disponibilidade mais rápida dos nutrientes. Para isto, é possível acelerar a disponibilidade dos nutrientes dessas fontes, associando-o à técnicas de fácil manejo, como a vermicompostagem, que aumentam a solubilização dos minerais, transformando o uso de pós de rochas em alternativa ambiental e econômica a ser utilizada pelos agricultores (Leonardos et al., 2000; Souza et al., 2013).

O vermicomposto é o produto da transformação dos resíduos orgânicos pelos microrganismos e minhocas (Aquino, 1994). O vermicomposto é um produto rico em matéria orgânica que contribui na reconstituição das estruturas físicas e biológicas do solo, atuando como um fertilizante natural, que neutraliza o pH do solo e eleva a concentração de nutrientes, aumentando a resistência das plantas contra pragas e doenças, podendo ser utilizado em qualquer tipo de cultura (Bidone, 1999; Soares et al., 2004).

O processo de vermicompostagem tem potencial de aumentar a solubilização dos pós de rochas (Souza et al., 2013). Os minerais, presentes no pó de rocha, ao passarem pelo trato intestinal das minhocas podem, devido a ação enzimática e a trituração dos materiais, sofrer intemperismo químico (Carpenter et al., 2007) e físico (Suzuki et al., 2003). Para isto, deve-se adicionar os pós de rochas aos resíduos orgânicos e ambos devem ser processados, concomitantemente, pelas minhocas (Souza et al., 2013).

A vermicompostagem é um processo de baixo custo que gera um produto com alto valor nutricional para as plantas (Hand et al., 1988). A associação aos pós de rochas aumenta ainda mais o valor nutricional dos vermicompostos e não necessariamente significa aumento de custos, uma vez que os agricultores podem utilizar os resíduos disponíveis em sua região, e em alguns casos, na própria propriedade. O uso dos pós de rochas associados à vermicompostagem pode diminuir a dependência de insumos externos, aumentando a autonomia dos agricultores e diminuindo o custo da produção (Theodoro et al., 2006; Rezende, 2006).

É crescente o número de pesquisas que avaliam a viabilidade técnica e econômica da utilização dos pós de rochas (Theodoro et al., 2013). No entanto, ainda

são poucas as pesquisas que estuda a associação dos pós de rochas ao vermicomposto. Dentre estas, ainda menos são aquelas que realizaram estudos de campo.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar, em condições de campo, a disponibilização de nutrientes presentes em pó de gnaiss após ser vermicompostado na promoção do crescimento, nutrição e acúmulo de metais pesados no milho e sua influência nas características químicas do solo. O estudo foi conduzido em uma propriedade de agricultura familiar e utilizou-se a minhoca Vermelha da Califórnia (*Eisenia andrei*) na vermicompostagem.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma propriedade de agricultura familiar, no município de Divino, localizado na mesorregião da Zona da Mata de Minas Gerais. O município é caracterizado pelo relevo ondulado, de poucas planícies, com altitude média de 950 metros e temperatura média anual de 20,4°C. Os solos são predominantemente de baixa fertilidade natural e predominam pequenas e médias propriedades (Resende & Resende, 1996).

A experimentação foi realizada com a participação da família dos agricultores e estudantes da Universidade Federal de Viçosa na construção coletiva do minhocário e no cultivo agroecológico.



Fig. 1. Agricultores (Divino, MG) e estudantes da Universidade Federal de Viçosa durante a experimentação participativa – construção do minhocário tipo Campeiro de bambu para produção do vermicomposto, utilizado no experimento.



Fig. 2. Agricultores (Divino, MG) e estudantes da Universidade Federal de Viçosa durante a experimentação participativa – Avaliação do vermicomposto e escolha da área para montagem do experimento com milho.

2.1. Obtenção e caracterização do pó de gnaïsse

O pó gnaïsse utilizado no experimento foi obtido a partir do subproduto de pedreiras da região e apresenta como componentes o quartzo, k-feldspato, plagioclásio, anfibólios, biotita, rutilo e apatita (Carvalho, 2012). Os materiais foram secos ao ar e peneirados, sendo utilizado o material passado na peneira de malha de 0,212 mm e retido na de malha de 0,106 mm de abertura. Para a caracterização química das rochas, uma subamostra foi seca em estufa a 65 °C por 72 horas, moída e passada totalmente pela peneira de malha de 0,053 mm de abertura. Os macroelementos foram analisados por espectrometria de fluorescência de raios-X e, espectrofotometria de absorção atômica após digestão nitroperclórica para a análise dos outros elementos conforme Silva (2009). A caracterização química da rocha utilizada encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do pó de gnaïsse.

Macroelementos ¹ (%)							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO
54,7	14,8	12,3	6,1	2,4	2,5	1,1	0,2
Microelementos ² (mg Kg ⁻¹)							
	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb	
	11	148	4,4	2,3	14,3	9,8	

¹Análise química quantitativa total por espectrometria de fluorescência de raios-X;

²Análise química por ICP após digestão nitroperclórica e determinação segundo Silva (2009).

2.2. Vermicompostagem utilizando esterco bovino

Para o preparo dos vermicompostos, foi utilizado esterco bovino semi curtido. O esterco foi homogeneizado e padronizado quanto à umidade e granulometria. Uma amostra composta do esterco homogeneizado foi acondicionada em sacos de papel e colocada em estufa (65 °C) de circulação forçada de ar por 72 h. Uma vez seco, o material foi pesado, moído, acondicionado em sacos de polietileno devidamente identificados e armazenados até o momento das análises. Uma amostra composta deste material foi submetida à digestão nitroperclórica e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), segundo Silva (2009) (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização química do esterco bovino.

pH	C/N	N	P	K	S	Ca	Mg	Mn	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb
H ₂ O				g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
7,6	16	11	8	20	2,5	8	3,5	162	17	86	9,5	0,4	21,6	10

Utilizou-se a minhoca da espécie *E. andrei*. Os organismos foram previamente incubados em uma mistura (esterco), uma semana antes da montagem do experimento para que os restos do substrato do local de origem fossem eliminados. As minhocas foram colocadas no fundo do minhocário e, sobre elas, o esterco bovino. Foi adicionado 1 L de minhocas (aproximadamente 1200 minhocas) para cada 100 kg.

Construíram-se quatro minhocários do tipo Campeiro com dimensões de aproximadamente 0,80 m de largura, 1,20 m de comprimento e 0,30 m de altura segundo metodologia proposta por Schiedeck et al. (2007), sendo dois minhocários sem adição de pó de rocha e dois com adição de pó de rocha. O pó de gnaiss (G) utilizado foi adicionado ao esterco na dose de 20% (m/m).

Após 90 dias, os vermicompostos produzidos foram homogeneizados e caracterizados quimicamente (Tabela 3). Para tal, o material seco foi moído e submetido às análises químicas onde foram determinados os teores de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, Ni, Cd Cr, Pb, após digestão nitroperclórica (Silva, 2009). Os teores de P foram determinados colorimetricamente (Braga & Defelipo, 1974), os de K por fotometria de emissão de chama e os demais elementos por espectrofotometria de absorção atômica (Silva, 2009).

Tabela 3. Caracterização química dos vermicompostos ao final de processo de vermicompostagem enriquecido com os pós de gnaïsse (VcG) à 20 %, ou não enriquecido (Vc).

	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
	..... g kg ⁻¹ .....				..... mg kg ⁻¹	
Vc	7,3	23,2	12,3	2,6	373,0	91,3
VcG	7,7	35,4	19,6	3,8	389,0	106,2
	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb
	..... mg kg ⁻¹					
Vc	15,9	63,6	4,3	nd ¹	4,5	5,9
VcG	27,3	71,3	7,8	nd	16,9	7,7
LMT ²	SL ³	SL	70,0	3,0	200,0	150,0

¹ Não detectado: Concentrações menores do que limite de quantificação do método utilizado. ² Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos, Instrução Normativa 27 de 05/06/2006 do Ministério da Agricultura (BRASIL, 2006). ³ Sem limite estabelecido pela instrução normativa.

2.3. Avaliação do crescimento e análises químicas das plantas

O experimento foi montado em um Latossolo Vermelho-Amarelo (Tabela 4) e utilizando o milho variedade Asteca como planta teste. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, com três tratamentos e cinco repetições. As dimensões das parcelas foram: 3,0 x 2,7 m (três linhas com três metros de comprimento cada). Os tratamentos foram vermicomposto - (Vc); vermicomposto enriquecido com pó de gnaïsse (VcG) e um tratamento controle sem fertilização. Os tratamentos Vc e VcG foram aplicados na dose correspondente à 20 t ha⁻¹ de material seco. Não foi realizada adubação adicional antes ou durante o cultivo. O plantio foi manual, sendo cinco plantas/metro linear e com espaçamento entre fileiras de 0,90 cm. A área é tradicionalmente cultivada com milho, sendo que o agricultor faz correção com calcário de dois em dois anos e fertiliza o solo com NPK (4:14:8) e sulfato de amônio anualmente.

Tabela 4. Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo da propriedade da agricultura família em Divino – MG.

P	K	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	SB ¹	CTC ²	V ³	m ⁴
(mg dm ⁻³)		..... (cmol _c dm ⁻³)					(%)	
2,2	93,0	3,6	1,4	0,0	5,2	7,5	69	0,0
pH	MO ⁵	P-rem ⁶	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb
H ₂ O	(dag kg ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	..... (mg kg ⁻¹)					
6,2	3,1	28,6	1,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0

¹ Somatório dos cátions básicos Ca, Mg e K. ² Capacidade de troca catiônica potencial em pH 7,0. ³ Percentagem da CTC_{pH7,0} ocupada pelos cátions básicos. ⁴ Percentagem da CTCefetiva ocupada pelo Al³⁺. ⁵ Matéria orgânica do solo. ⁶ Fósforo remanescente em solução após agitação de 7,5 g de solo em 75 mL de uma solução com 60 mg L⁻¹ de P.

Após 65 dias do plantio, foram cortadas seis plantas por unidade amostral para avaliação do crescimento e nutrição das plantas. Os materiais vegetais foram lavados com solução de água + detergente (1 mL L⁻¹), água corrente e água destilada. Após a lavagem, o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel e colocado em estufa 65 °C de circulação forçada de ar por um período de 72 h. Uma vez seco, todo o material foi pesado, moído e, acondicionado em sacos de polietileno, devidamente identificados, e armazenado até o momento das análises. As amostras da parte aérea foram submetidas à digestão nitroperclórica (Silva, 2009) e as concentrações de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, Ni, Cd Cr e Pb foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Silva, 2009).

2.4. Avaliação das alterações do solo

Para avaliação das alterações nas características químicas do solo, foram realizadas amostras compostas, formadas por 15 amostras simples, coletadas na profundidade de 0 a 20 cm e próximas às linhas de plantio, em cada unidade experimental. As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm de abertura. As avaliações do pH, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Cd, Cr e Pb no solo pós-cultivo foram determinadas segundo Braga & Defelipo (1974) e Silva (2009), sendo utilizado o extrator Mehlich1 para análise de P, K, micronutrientes e metais e o extrator KCl 1mol/L para análise de Ca e Mg.

2.5. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias seguidas pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 5 % e a 10 % de probabilidade. Previamente, foi utilizado o teste de Jarque-Bera para verificar a normalidade dos resíduos e o teste de Bartlett para verificar a homogeneidade das variâncias.

3. RESULTADOS

3.1. Biomassa seca da parte aérea do milho

Os valores médios de biomassa seca da parte-aérea do milho ($F_{2,15} = 4,09$; $p = 0,06$), 65 dias após o plantio, diferiram entre os tratamentos (Fig. 1). A biomassa seca do milho (cultivado no solo fertilizados com vermicompostos enriquecidos com pó de gnaïsse (VcG) foi superior ao controle (sem fertilização) e similar ao solo fertilizado apenas com vermicomposto (Vc). Entretanto, as plantas em VcG apresentou 56 % a mais de biomassa em relação a Vc. O agricultor observou que as plantas cresceram mais em VcG.

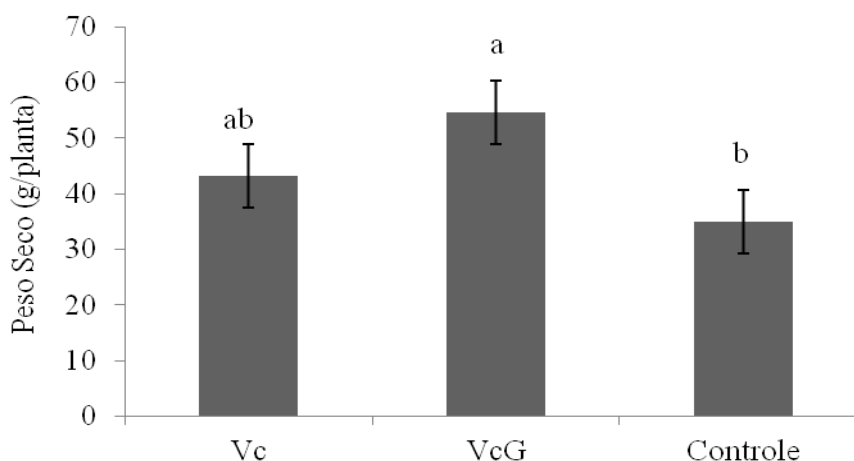


Fig. 3. Peso seco da parte aérea do milho ($n = 6$) aos 65 dias após o plantio nos tratamentos fertilizados com vermicomposto enriquecidos com pó de gnaïsse (VcG) a 20 %, ou não enriquecidos (Vc) e controle. Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si pelo teste de SNK ($p < 0,10$). Barras representam o erro padrão.

3.2. Análises químicas das plantas

As concentrações dos nutrientes P ($F_{2,8} = 11$; $p = 0,102$) e Fe ($F_{2,8} = 68$; $p < 0,001$) não diferiram entre os tratamentos. Já, as concentrações de K ($F_{2,8} = 11$; $p = 0,005$), Ca ($F_{2,8} = 11$; $p < 0,001$), Mg ($F_{2,8} = 31$; $p < 0,001$) e Mn ($F_{2,8} = 29$; $p < 0,001$), foram maiores nos tratamentos fertilizados com vermicomposto enriquecido com pó de gnaïsse em comparação com os demais tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5. Concentração dos nutrientes P, K, Ca, Mg, Fe e Mn na massa seca da parte aérea do milho fertilizado com vermicomposto enriquecido com o pó de gnaïsse (VcG) a 20 %, ou não enriquecidos (Vc) e controle. Médias ($n=5$, erro padrão) seguidas por uma mesma letra, para cada característica, não diferem entre si pelo teste de SNK ($p < 0,05$).

	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn
	..... g kg ⁻¹ .....			..... mg kg ⁻¹		
Vc	1,8 (0,01) ^a	13,8 (0,04) ^b	2,4 (0,04) ^b	1,7 (0,002) ^b	179,0 (1,67) ^a	35,47 (1,43) ^b
VcG	1,7 (0,01) ^a	15,5 (0,02) ^a	2,8 (0,04) ^a	2,3 (0,01) ^a	185,9 (3,02) ^a	44,17 (1,83) ^a
Controle	1,7 (0,01) ^a	14,6 (0,02) ^b	2,3 (0,09) ^b	1,6 (0,002) ^b	147,7 (2,05) ^a	33,73 (0,62) ^b

As concentrações de Cu ($F_{2,8} = 0,68$; $p = 0,534$) e Zn ($F_{2,8} = 0,44$; $p = 0,661$) na parte aérea do milho não diferiram entre os tratamentos. As concentrações de Ni ($F_{2,8} = 34,5$; $p < 0,001$), Cr ($F_{2,8} = 34,6$; $p < 0,001$) e Pb ($F_{2,8} = 169,3$; $p < 0,001$) foram superiores no milho cultivado com vermicomposto enriquecido com pó de gnaïsse em relação ao não enriquecido (Tabela 6). Estes valores estão acima dos valores máximos definidos pela legislação brasileira para cereais e hortaliças. Os limites máximos tolerados são 5 mg kg⁻¹ para Ni; 0,5 mg kg⁻¹ para Cd; 0,1 mg kg⁻¹ para Cr e 0,5 mg kg⁻¹ para Pb (ANVISA, 1965; 1998). No controle (sem fertilização), estes elementos não foram detectados. O cádmio, não foi detectado na massa seca da parte aérea do milho.

Tabela 6. Concentração dos metais pesados Cu, Zn, Ni, Cd, Cr e Pb na massa seca da parte da aérea do milho fertilizado com vermicomposto enriquecido com o pó de gnaïsse (VcG) a 20 %, ou não enriquecidos (Vc) e controle (solo). Médias (n=6, erro padrão) seguidas por uma mesma letra, para cada característica não diferem entre si pelo teste de SNK ($p < 0,05$).

	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb
	..... mg Kg ⁻¹					
Vc	4,9 (0,43) ^a	23,0 (0,63) ^a	4,0 (0,05) ^b	nd ¹	0,9 (0,02) ^b	3,7 (0,09) ^b
VcG	5,1 (0,23) ^a	29,9 (3,10) ^a	6,4 (0,05) ^a	nd	6,1 (0,09) ^a	5,6 (0,13) ^a
Controle	2,9 (0,28) ^a	22,6 (1,36) ^a	nd	nd	nd	nd

¹Não detectado pelo método utilizado.

3.3. Avaliação das alterações do solo

A concentração de nutrientes no solo foi influenciada pela aplicação dos tratamentos, principalmente pela aplicação do vermicomposto enriquecido com pó de gnaïsse. A adição do pó de gnaïsse ao processo de vermicompostagem resultou em maiores concentrações de P ($F_{2;8} = 138$; $p < 0,001$), K ($F_{2;8} = 12$; $p < 0,001$) e Ca ($F_{2;8} = 16$; $p < 0,001$) no solo após o cultivo do milho em relação ao vermicomposto não enriquecido e controle. A concentração de P foi a que mais aumentou (quatro vezes) no solo pós-cultivo (Tabela 7), em comparação ao solo antes do plantio (Tabela 4).

Não houve diferenças em relação à disponibilidade de Mg ($F_{2;8} = 11$; $p < 0,001$), Mn ($F_{2;8} = 4$; $p < 0,001$) e Fe ($F_{2;8} = 7$; $p < 0,001$) entre os tratamentos vermicompostados (Tabela 7). Houve aumento significativo no pH ($F_{2;8} = 12$; $p = 0,004$) do solo no tratamento com adição de pó de gnaïsse em relação aos demais tratamentos. Houve ainda um incremento nos teores de MO ($F_{2;8} = 8$; $p = 0,013$) nos tratamentos vermicompostados.

Tabela 7. Características químicas do solo após o cultivo do milho fertilizado com vermicomposto enriquecido com o pó de gnaïsse (VcG) a 20 %, ou não enriquecidos (Vc) e controle (solo). Médias (n=5, erro padrão) seguidas por uma mesma letra, para cada característica, não diferem entre si pelo teste de SNK ($p < 0,05$).

	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	..... mg kg ⁻¹ .....		..... cmol _c dm ⁻³	
Vc	5,6 (0,35) ^b	117,8 (12,69) ^b	3,3 (0,12) ^b	1,5 (0,03) ^a
VcG	10,6 (0,61) ^a	138,0 (14,55) ^a	3,6 (0,11) ^a	1,4 (0,05) ^a
Controle	2,8 (0,09) ^c	97,6 (17,55) ^c	3,0 (0,09) ^c	1,2 (0,04) ^b
	pH	MO ¹	Mn	Fe
	H ₂ O	dag kg ⁻¹	..... mg kg ⁻¹	
Vc	6,3 (0,08) ^b	4,4 (0,15) ^a	59,3 (3,92) ^a	51,8 (5,43) ^a
VcG	6,7 (0,07) ^a	4,1 (0,10) ^a	66,0 (2,86) ^a	55,6 (4,28) ^a
Controle	6,3 (0,04) ^b	3,4 (0,10) ^b	51,8 (2,72) ^a	59,8 (4,85) ^a

¹Matéria Orgânica.

Após o cultivo do milho, a concentração de Cu ($F_{2,8} = 7$; $p < 0,001$) no solo foi superior no tratamento com adição de pó de gnaïsse em comparação com os demais tratamentos. As disponibilizações de Zn ($F_{2,8} = 8$; $p < 0,001$), Ni ($F_{2,8} = 4,6$; $p = 0,099$), Cr ($F_{2,8} = 34,6$; $p < 0,001$) e Pb ($F_{2,8} = 169,3$; $p < 0,001$) não diferiram entre os tratamentos vermicompostados (Tabela 8). O cádmio não foi detectado no solo pós-cultivo. Todos dos elementos estão dentro dos Valores de Referência de Qualidade para solos no Estado de Minas Gerais (COPAM, 2011), que são de 21,5 mg kg⁻¹ para Ni; < 0,4 mg kg⁻¹ para Cd; 75 mg kg⁻¹ para Cr e 19,5 mg kg⁻¹ para Pb.

Tabela 8. Concentração média dos metais pesados Cu, Zn, Ni, Cd, Cr e Pb disponíveis no solo após o cultivo do milho fertilizado com vermicomposto enriquecido com o pó de gnaïsse (VcG) a 20 %, ou não enriquecidos (Vc) e controle (solo). Médias (n=5, erro padrão) seguidas por uma mesma letra, para cada característica, não diferem entre si pelo teste de SNK ($p < 0,05$).

	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb
	..... mg kg ⁻¹					
Vc	0,3 (0,06) ^b	3,0 (0,17) ^a	0,2(0,02) ^b	nd ¹	0,2 (0,02) ^a	0,4 (0,02) ^a
VcG	0,5 (0,04) ^a	3,0 (0,34) ^a	0,2(0,02) ^b	nd	0,2 (0,02) ^a	0,4 (0,02) ^a
Controle	0,3 (0,02) ^b	1,5 (0,30) ^b	nd	nd	nd	nd

¹ Não detectado pelo método utilizado.

4. DISCUSSÃO

4.1. Biomassa seca da parte aérea do milho

O bom desenvolvimento (Fig. 3) apresentado pelas plantas de milho cultivadas nos tratamentos controle e com vermicomposto (Vc) pode ser atribuído a boa adaptação da variedade crioula de milho utilizada (asteca) e a boa condição do solo cultivado (Tabela 4) que, possui histórico de adubação de química e apresentou fertilidade inicial mediana (Tabela 4). Já o desenvolvimento melhor para as plantas cultivadas em solo fertilizado com vermicomposto enriquecido com pó de gnaïsse pode ser atribuído a maior disponibilização dos nutrientes presentes nos minerais da rocha (Carvalho, 2012); resultado semelhantes foram obtidos por Souza et al. (2013), que em experimento realizado em ambiente controlado, com a cultura do milho, observaram que a adição do pó de gnaïsse ao processo de vermicompostagem proporcionou um maior crescimento das plantas. Dessa forma, em condições de campo, o maior ganho de massa seca das plantas crescidas com vermicompostos enriquecidos com pós de gnaïsse aponta o potencial de uso da associação das práticas de rochagem com adubações orgânicas para a fertilização dos solos em condições de campo.

4.2. Avaliação da nutrição de plantas

A maior concentração de K, Ca, Mg e Mn na massa seca da parte aérea do milho cultivado no solo onde houve aplicação do vermicomposto enriquecido com pó de gnaïsse (Tabela 5), mostra que o uso do pó desta rocha contribuiu no suprimento destes elementos para a cultura do milho e portanto tem potencial de uso como fertilizante, como já sugerido por Martins et al (2008) e Carvalho (2012). Esse incremento deve estar associado com a maior disponibilização pelas minhocas dos nutrientes presentes no pó de gnaïsse. Lima et al. (2009) observaram maior disponibilização de Ca e Mg com a adição de pó de gnaïsse e de K e Mg com a adição de serpentinito e micaxisto durante o processo de compostagem.

A liberação do potássio presente nos minerais de rochas silicatadas ocorre, sobretudo, pela ação de ácidos orgânicos e inorgânicos produzidos pela atividade biológica (Harley & Gilkes, 2000). Segundo esses autores, a própria remoção do K-solúvel pela absorção microbiana favorece a liberação do potássio dos minerais,

aumentando o gradiente de concentração durante a reação de hidrólise dos minerais. Wang et al. (2000), em um experimento com a cultura do arroz realizado no norte da China, relacionaram o crescimento de algumas plantas com a oferta de potássio proveniente de minerais do gnaïsse.

O maior incrementos de Ca, Mg nas plantas no tratamento VcG (Tabela, 5), pode estar associada com a maior eficiência dos pós de rocha silicatadas que segundo Harley & Gilkes (2000), aumenta quando os níveis iniciais de nutrientes no solo são baixos.. Quanto ao Fe, não há deficiência destes nutrientes no solo utilizado e, portanto as plantas apresentaram resultados semelhantes (Tabela 5).

Além do incremento de nutrientes à planta com a adição de pó de gnaïsse ao processo de vermicompostagem, houve também incrementos dos metais pesados Ni, Cr e Pb. Dentre estes, o níquel é o único elemento recentemente identificado como essencial para as plantas superiores (Brown et al., 1987). No entanto, as maiores concentrações de Ni, Cr e Pb na parte aérea das plantas, cujo tratamento foi enriquecido com pó de gnaïsse não podem ser creditadas somente às concentrações destes elementos na rocha, mas também ao esterco (Tabela 2).

A presença de metais pesados em esterco depende da origem do material e está em função da alimentação animal (O'Neill, 1993). A presença de metais pesados em suplementos alimentares, como os sais minerais para bovinos levam à contaminação do esterco, vegetação, solo e água (Ponpe & Prevendar, 2002; Marçal et al., 2003; Marçal et al., 2004).

As concentrações de metais pesados no esterco são superiores às do pó de gnaïsse utilizado no experimento, mas estão dentro dos limites máximos tolerados de metais permitidos em fertilizantes orgânicos (Tabela 3). Porém, a concentração dos elementos Ni, Cr e Pb na parte aérea das plantas foram maiores do que os valores dos limites máximos de tolerância para alimentos definidos pela legislação brasileira (ANVISA 1965, 1996). Entretanto, deve-se considerar que a ANVISA toma como parâmetro o teor dos elementos no grão dos cereais e hortaliças, e não há na legislação específica, para a parte aérea de uma planta jovem de milho, como as avaliadas neste estudo.

4.3. Avaliação das alterações do solo

A maior disponibilização de P, K e Ca no solo, nos tratamentos vermicompostados (Tabela 7) em relação ao controle estão, provavelmente, relacionados aos teores destes elementos no pó de rocha e no esterco (Tabela 1 e 2).

Em relação ao P, o incremento de duas a quatro vezes na sua disponibilidade no tratamento VcG, em relação aos demais, pode ser em parte atribuído aos minerais fontes de P do gnaiss, dentre eles a apatita (Melo et al., 2009) e ao próprio esterco. Entretanto a adição da matéria orgânica também pode ter contribuído para melhorar a atividade biológica do solo (Arancón et al., 2006, Marinari et al., 2000), pois o aumento do P disponível no solo (tratamento Vc) foi maior do que a o P adicionado no vermicomposto. Os organismos desempenham papel fundamental na aquisição e transferência de nutrientes no solo (Richardson, 2001). Dentre estes, encontram-se microrganismos solubilizadores de fosfato, produtores de fosfatases; pode ter ocorrido também melhoria da absorção devido aos estímulos na associações micorrízicas e o estímulo ao crescimento das raízes (Jakobsen et al., 2005); pode estar também relacionado à ação competitiva do Si do gnaiss pelos sítios de adsorção de fosfato (Tavakolli et al., 2011; Castro & Crusciol, 2013). Estudos têm apontado algumas interações importantes entre o fósforo e silício. Segundo Baldeon (1995), ocorre aumento da disponibilidade do P do solo, em função da liberação de silicatos, pois o Si compete com os mesmos sítios de adsorção de P nos solos. O Si presente em escória de siderurgia foi considerado responsável pelo incremento dos níveis de P disponível do solo (Prado & Fernandes, 2001). A interação silício fósforo em um Cambissolo foi considerada responsável pelo maior ganho de fósforo pelas plantas, quando silício foi aplicado ao solo após adubação fosfatada (Carvalho et al., 2000).

Este efeito no aumento da concentração e ou disponibilização de P no solo após a aplicação do vermicomposto e pó de gnaiss é muito importante, em especial quando considera-se a possibilidade iminente de escassez de adubos fosfatados (Malavolta, 2004). Este efeito além de apontar para o potencial do uso de resíduos como fertilizantes alternativos, caso do pó de rochas, aponta também para a necessidade de estimular processos que aumentem a disponibilização do P nativo do solo. Alguns solos tropicais possuem altos teores de P total, mas que não ser devido apenas

A vermicompostagem tem potencial de elevar o pH do solo, o que pode ser atribuído à excreção de carbonato de cálcio das glândulas calcíferas na faringe das

minhocas quando o material é ingerido (Lee 1985). Entretanto, o pH observado no solo pós-cultivo foi similar ao pH do tratamento controle (Tabela 4) e próximo da neutralidade (6,3), sugerindo que o solo, já corrigido, tamponou o efeito do vermicomposto (Soares et al., 2004). Já o vermicomposto enriquecido com o pó de gnaïsse elevou o pH do solo (6,7), assim como relatado por Theodoro (2000), Kiehl (2002) e Carvalho (2012), que também observaram incrementos no pH do solo quando utilizaram pó de rocha. Segundo Harley & Gilkes (2000), o aumento no pH deve-se ao consumo de H^+ pelos processos de hidrólise e ou dissolução dos minerais.

A disponibilidade de metais pesados no solo foi baixa (Tabela 8), não resultando em valores próximos dos Valores de Referência de Qualidade para solos não contaminados (COPAM, 2011). Esse resultado indica que o solo está imobilizando grande parte dos metais adicionados via vermicomposto, com ou sem pó de rocha. A disponibilidade e mobilização dos metais pesados são controladas por processos químicos e bioquímicos que são grandemente afetados pelo pH. De modo geral, o aumento do pH do solo diminui a disponibilidade dos metais por meio de reações de precipitação e pelo aumento da adsorção por colóides de carga variável (Shuman, 1998).

Além do pH, a matéria orgânica possui grande afinidade por metais pesados presentes no solo, esse comportamento é capaz de gerar sítios de adsorção, atuando via ligação iônica e/ou como agente quelante na solução do solo (Stevenson, 1994). Outros processos químicos como a elevação da capacidade de troca de cátions (CTC), o potencial de oxi-redução, complexação e a interação com outros elementos na solução do solo, também contribuem para a imobilização dos metais pesados no solo (Amaral Sobrinho et al., 2009; He et al., 2005).

5. CONCLUSÕES

O pós de gnaïsse vermicompostado possui potencial de utilização na agricultura enquanto fonte de nutrientes e promotor de melhorias nas características químicas do solo, pois eleva os teores disponíveis de P e K após sua aplicação no solo.

O incremento de metais pesados na parte aérea da planta fertilizada não pode ser atribuído apenas à rocha, mas também ao esterco. Não se pode avaliar se os teores destes metais estão acima dos valores de referência, pois estes não estão disponíveis

para a parte vegetativa do milho. Não foi detectado resíduo de metais pesados no solo após a realização do experimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e CAPES, pela bolsa concedida à M.E.P SOUZA. CNPq, FAPEMIG, MEC/SESu, ProExt suporte financeiro à pesquisa. Ao estagiário Pedro que colaborou com os trabalhos de laboratório e campo, os agricultores ajudaram no trabalho de campo.

6. REFERÊNCIAS

- Almeida, S.L. 2011. Aproveitamento de rejeito de pedreiras de Santo Antônio de Pádua – RJ para produção de brita e areia. 188f. Tese de Doutorado (Escola Politécnica), Universidade de São Paulo, São Paulo – SP.
- Amaral Sobrinho, N.M.B., Barra, C.M., Lã, O.R. 2009. Química dos metais pesados no solo. In: Melo, V.F. & Alleoni, L.R.F. (Eds). Química e Mineralogia do Solo: Aplicações. Viçosa, SBCS. 249-312 pp.
- Anda - Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2014. Principais indicadores do setor de fertilizantes. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/>>. Acesso em: 07 mar. 2013.
- Anvisa - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Decreto nº 55871 de 26 de março de 1965. <http://www.Anvisa.gov.br/legis/decretos/55871_65.html>. Acesso em: 02 fev. 2013.
- Anvisa - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 685 de 27 de agosto de 1998. <http://www.Anvisa.gov.br/legis/portarias/685_98.html>. Acesso em: 02 fev. 2013.
- Aquino, A.M., Almeida, L.D., Freire, R.L., De-Poli, H., 1994. Reprodução de minhocas (Oligoquetas) em esterco bovino e bagaço de cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 29(2), 161–168.
- Arancon, N.Q., Edwards, C.I, Bierman, P. 2006. Influences of vermicomposts on field strawberries: 2. Effects on soil microbiological and chemical properties. Bioresource Technology. 97, 831-840.
- Arbieto, E.A.M., 2005. Biodisponibilização de nutrientes de rochas por microrganismos do solo. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 81 pp.
- Azarmi, R., Sharifi, P., Satari, M.R. 2008. Effect of vermicompost on growth, yield and nutrition status of tomato (*Lycopersicum esculentum*). African Journal of Biotechnology. 14, 2397-2401.
- Baldeon, J.R.M. 1995. Efeito da ação alcalinizante e da competição entre silicato e fosfato na eficiência do termofosfato magnesiano e solos ácidos. Piracicaba, 1995. 88p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Bidone, F.R. A; Povinelli, J. Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. São Carlos: EESC/USP, 1999.

- Bigarella, J.J., Becker, R.D., Santos, G.F., Passos, E., Suguio, K., 1994. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis. Ed. UFSC. 423p.
- Borges, M.R., Coutinho, E.L.M. 2004. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido II – Disponibilidade. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 28, 557-568.
- Braga, J.M., Defelipo, B.V. 1974. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. Revista Ceres. 21,73-85.
- Brasil. 2006. Instrução Normativa nº 27, de 5 jun. 2006. Dispõe fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender os limites estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V desta Instrução Normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, BRASIL. Instrução Normativa nº 27, de 5 jun. 2006.
- Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral. 2009. Economia Mineral do Brasil. Brasília – DF. Cidade Gráfica e Editora Ltda. 764p
- Brown, P.H., Welch, R.M., Cary, E.E. 1987. Nickel: A Micronutriente Essencial for Higher Plants. Plant Physiology.85, 801 – 803.
- Bull, L. T.1993. Nutrição mineral do milho. In Bull, L.T., Cantarella, H. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Potafós. Piracicaba, SP. p. 63-45.
- Campos, A.R., Castro, N.F., Vidal, F.W.H., Borlini, M.C. 2009. Tratamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais e de revestimento, visando mitigação de impacto ambiental. In: Anais do VII simpósio de rochas ornamentais do nordeste. pp. 9-19.
- Carpenter, D., Hodson, M.E., Eggleton, P., Kirk, C., 2007. Earthworm-induced mineral weathering: preliminary results. European Journal of Soil Biology, 43, 176-183.
- Carvalho, A.M.X. 2012. Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico. 116f. Tese de doutorado (Solos e Nutrição de Plantas - Departamento de Solos), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- Carvalho, R., Furtini Neto, A.E., Santos, C.D. dos, Fernandes, L.A., Curi, N., Rodrigues, D.C. 2001. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 36, 557-565.
- Castro, G.S.A.; Crusciol, C.A.C. 2013. Effects of superficial liming and silicate application on soil fertility and crop yield und rotation. Geoderma, 195-196: 234-242.
- Chaboussou, F. 1980. Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos. A teoria da trofobiose. Porto Alegre: Editora LPM. 253p.
- Chiodi Filho, C. 2014. Síntese das exportações brasileiras de rochas ornamentais em 2013. ABIROCHAS, São Paulo, Informe 01/2014.
- Copam - Conselho Estadual de Política Ambiental. 2011. Resolução nº 166, de 29 de junho de 2011. Altera o Anexo I da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 2 de 6 de setembro de 2010, estabelecendo os valores de referência de qualidade dos solos. Diário do Executivo – “Minas Gerais”, de 27 julho. 2011.
- Escosteguy, P.A.V., Klamt, E., 1998. Basalto moído como fonte de nutrientes. Revista Brasileira de Ciência do Solo 22, pp.11-20.
- Gliessman, Stephen. R. 2000. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: editora UFRGS, 2000.
- Hand, P., Hayes, W.A., Frankland, J.C., Satchell, J. E. 1998. The vermicomposting of cow slurry. Pedobiologia. 31, 199-209, 198.

- Harley, A.D., Gilkes, R.J. 2000. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: A geochemical overview. *Nutrient Cycling Agroecosyst.* 56, 11-36.
- He, Z.L., Yang, X.E., Stoffella, P.J. 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology.* 3, 125–140.
- Hinsinger, P., Barros, O.N.F., Benedetti, M.F., Noack, Y., Callot, G. 2001. Plant-induced weathering of a basaltic rock: Experimental evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65, 137–152.
- Jakobsen, I., Leggett, M.E., Richardson, A.E. 2005. Rhizosphere microorganisms and plant phosphorus uptake. In: Sims, J.T., Sharpley, A.N. (Ed.). *Phosphorus, agriculture and the environment.* Madison. 437- 494 pp.
- Kiehl E. J., 2010. *Novo Fertilizantes Orgânicos - Revisto E Atualizado.* Editora Degaspari. 248p.
- Kiehl, E.J. 2002. *Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto.* Piracicaba. 171 p.
- Lee, K.E. 1985. *Earthworms: their ecology and relations with soils and land use.* London: Academic. 411 pp.
- Leonardos, O.H., Theodoro, S.C.H., Assad, M.L., 2000. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian viewpoint. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 56, 3-9.
- Lima, C.C., Mendonça, E.S., Silva, I.R., Silva, L.H.M., Roig, A. 2009. Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.* 13, 334-340.
- Malavolta E. 204. O fósforo na planta e interações com outros elementos. In: Yamada T, Abdalla SRS, organizadores. *Fósforo na agricultura brasileira.* Piracicaba: Potafos. 35 – 98 pp.
- Mantovani, J.R., Cruz, M.C.P., Ferreira, M.E., Alves, W.L. 2004. Extratores para avaliação da disponibilidade de metais pesados em solos adubados com vermicomposto de lixo urbano. *Pesquisa agropecuária brasileira.* 39- 371-378.
- Marçal W.S., Buture, I.O., Carvalho, M.C., Fortes, M. S., Silva, R.A. 2004. Níveis de chumbo e cádmio em suplementos minerais para bovinos comercializados em Londrina. *Semina: Ciências Agrárias.* 25, 359-364.
- Marçal W.S., Villegas-Navarro, A., Nascimento, M.R.L., Guerra, A.P., Fujihara, C.J., Bruschi, A.B.M. 2003. Bovinos e equinos como bioindicadores da poluição ambiental. *Revista Brasileira de Ciência Veterinária.* 10, 16-20.
- Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., Grego, S. 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology* 72, 9-17.
- Martins, E.S., Oliveira, C.G., Resende, A.V., Matos, M.S.F. 2008. Agrominerais - Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: da Luz, A.B., Lins, F.F. (Eds.). *Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações.* 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. pp 205-223.
- Melamed, R., Gaspar, J.C., Miekeley, N., 2007. *Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais.* CETEM/MCT, Série Estudos e Documentos. 72 pp.
- Melo, V.F., Castilhos, R.M.V., Pinto, L.F.S. 2009. Reserva mineral do solo. In: Melo, V.F., Alleoni, L.R.F. (Eds). *Química e Mineralogia do Solo - Parte I.* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo . 695p.
- O'Neill, P. 1993. *Environmental chemistry.* London: Chapman & Hall. 267p.

- Ponpe, G.J., Prevendar, C. 2002. Cadmium in tissues of roe deer (*Capreolus capreolus*). *Veterinarski Arhiv*. 72, 303-310.
- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A., Cochrane, K., Howden, M., Iqbal, M.M., Lobell, D., Travasso, M.I. 2014. Food Security and Food Production Systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Disponível em: < <http://www.ipcc-wg2.gov>>. Acesso em 09 de maio de 2014.
- Prado, R.M., Fernandes, F.M. 1999. Efeito do calcário e da escória de siderurgia na disponibilidade de fósforo no latossolo vermelho-escuro e na areia quartzosa. *Revista de Agricultura*. 74, 235-242.
- Resende, A.V., Machado, C.T.T., Martins, E.S., Sena, M.C., Nascimento, M.T., Silva, L.C.R., Linhares, N.W. 2006. Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. *Espaço & Geografia*. 9, 135-161.
- Resende, S.B., Resende, M. 1996. Solos dos mares de morros: ocupação e uso. In: Alvarez, V. V.H.; Fontes, L.E.F.; Fontes, M.P.F. (Eds). *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa: SBCS, UFV. 930p.
- Richardson, A.E. 2001. Prospects for using soli microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Australian Journal of Plant Physiology*. 28, 897-906.
- Schiedeck, G., Schwengber, J.E., Gonçalves, M.M., Schiavon, G.A., Cardoso, J.H. 2007. Minhocário Campeiro de Baixo Custo para Agricultura Familiar. Embrapa Clima Temperado. Comunicado Técnico, 171.1-4.
- Shuman, L.M. 1998. Effect of organic waste amendments on cadmium and lead in soil fractions of two soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 29,2939-2952.
- Silva, F.C. Manual de análises químicas de solos plantas e fertilizantes. 2ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.
- Silva, S.A.C. 1998. Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito Estudo do Potencial de Aplicação na Fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES.
- Soares, J.P., Souza, J.A., Cavalheiro, E. T. G. 2004. Caracterização de amostras comerciais de vermicomposto de esterco bovino e avaliação da influencia do pH e do tempo na adsorção de Co (II), Zn (II), AND Cu(II). *Química nova*. 27, 5-9.
- Souza, M.E.P., Carvalho, A.M.X., Deliberali, D.C., Jucksch, I., Brown, G.G., Mendonça, E.S., Cardoso, I.M. 2013. Vermicomposting with rock powder increases plant growth. *Applied Soil Ecology*. 69, 56-60.
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus Chemistry: genesis, composition, reactions*. 2. ed. New York: John Wiley. 496 p.
- Suzuki, Y., Matsubara, T., Hoshino, M., 2003. Breakdown of mineral grains by earthworms and beetle larvae. *Geoderma* 112, 131-142.
- Tavakkoli, E., English, P., Guppy, C.N. 2011. Interaction of silicon and phosphorus mitigate manganese in a highly weathered soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42: 503-513.
- Theodoro, S.H., 2000. Fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. Tese de doutorado, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasil.

- Theodoro, S.H., Leonardos, O., Rocha, E.L., Rego, K.G. 2006. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. *Espaço & Geografia*. 9, 263-292.
- Theodoro, S.H., Martins, E.S., Fernandes, M.M., Carvalho, A.M.X. (Eds). 2013. Congresso Brasileiro de Rochagem. Anais do II Congresso Brasileiro de Rochagem. Poços de Caldas. 399p
- van Straaten, P. (2006) Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.78, n.4, p.731-747.
- Wang, J.G., Zhang, F.S., Zhang, X. L., Cao. Y.P. Release of potassium from Kbearing minerals: Effect of plant roots under P deficiency. 2000. In: Hinsinger, P. (Ed.) *Nutrient cycling in agroecosystems*. Kluwer Academic Publishers. 45-52.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo participativo permitiu atender os anseios dos diferentes atores envolvidos na experimentação com vermicompostagem, facilitando interação entre os agricultores, estudantes e pesquisadores, o que implicou em um aprendizado mútuo. Isto permitiu aos agricultores conhecerem, usarem a técnica e divulgá-las para os seus familiares, vizinhos e outros estudantes.

A vermicompostagem pode ser melhorada se enriquecida com os pós de rochas, rejeitos de indústrias mineradoras, em especial os que estão disponíveis na região como é o caso do pó de gnaïsse e esteatito na Zona da Mata de Minas Gerais. Estes resíduos minerais possui potencial de uso na agricultura. Porém, os pós de rochas podem ser ricos em metais pesados, o que pode inviabilizar o seu uso na agricultura, pois há risco de que estes metais também sejam disponibilizados no solo e absorvidos pelas plantas, por isto precisam ser avaliados.

Em condições de laboratório os testes realizados com adição dos pós de esteatito e gnaïsse ao substrato para a obtenção de vermicompostos não afetam o desenvolvimento das minhocas. A adição do pó de gnaïsse mostrou que esse resíduo pode ser utilizada como fonte de enriquecimento do vermicomposto, pois melhora a qualidade química do adubo orgânico, o desenvolvimento das plantas e não disponibiliza altos teores de metais pesados. No entanto, para estudos futuros, sugere-se pesquisas mais detalhadas, envolvendo a recomendação o uso de pó de esteatito na agricultura, por ter disponibilizado às plantas uma fração expressiva dos altos teores totais de Ni e Cr.

Em condição de campo, a utilização de pó de gnaïsse vermicompostado favoreceu a disponibilidade de nutrientes para as plantas de milho e promoveu melhorias nas características químicas do solo e na disponibilização de nutrientes. Além da baixa disponibilização de metais pesados.

Dessa forma, o uso da vermicompostagem enriquecida com o pó de gnaïsse, também em teste de campo, mostrou-se como uma alternativa de manejo da fertilidade do solo, visto que promoveu alterações desejáveis nas características químicas do solo.

ANEXO: Capítulo I

Construção do minhocário

Material

Segundo Schiedeck et al., (2007),

- 10 estacas de bambu com 50 cm;
- 6 varas de bambu com 1,0 m;
- 28 varas de bambu com 1,40 m;
- Pedacos de sombrite ou forro de café para forração interna
- Coberturas de palha para proteção contra a chuva (ex: folha de bananeira).
- Marreta para cravar a estaca ao solo

1) Os bambus devem ser colocados intercalados um sobre o outro de forma que suas pontas se cruzem cerca de 5 cm. Para guarnecer as pontas, deve ser fixada uma estaca de cada lado da cruz formada na junção. Os bambus devem ser empilhados até atingirem a altura de 30 cm, embora esse limite possa ser maior conforme a necessidade.

2) Forrar o interior do minhocário com sombrite ou forro de café para forração interna, para, ao mesmo tempo, conter o alimento e as minhocas e permitir a drenagem da água da chuva que por ventura venha a cair em seu interior. Para reduzir ao máximo o efeito do impacto da gota da chuva sobre o minhocário, deve ser colocada uma cobertura de palhas e também construir uma tampa com ripas de bambus cortadas ao meio e revesti-la com lona plástica. Na Figura 4, no capítulo 1, é apresentada a sequência de montagem do minhocário campeiro de bambu.

3) Considerando as dimensões especificadas, adicionar aproximadamente 1200 minhocas (1 L) e 3 carrinhos de mão de esterco fresco semi-curtido (cerca de 90 kg).