

LAÍS MARIA RODRIGUES SILVA

**UTILIZAÇÃO DE BIOSÓLIDOS PARA A REGENERAÇÃO
NATURAL E PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DO SOLO DE
ÁREAS MINERADAS**

Dissertação 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 *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

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

T

S586d
2014 Silva, Laís Maria Rodrigues, 1990-
Utilização de biossólidos para a regeneração natural e para
a melhoria da qualidade do solo de áreas mineradas / Laís Maria
Rodrigues Silva. – Viçosa, MG, 2014.
vi, 44f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Física de solo. 2. Degradação ambiental. 3. Lodo
residual. 4. Condicionadores de solo. 5. Revegetação.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos.
Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas.
II. Título.

CDD 22 ed. 631.43


LAÍS MARIA RODRIGUES SILVA


**UTILIZAÇÃO DE BIODÉTRITOS PARA A REGENERAÇÃO
NATURAL E PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DO SOLO DE
ÁREAS MINERADAS**

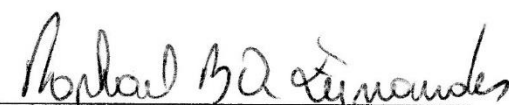
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 30 de julho de 2014.


Emanuelle Mercês Barros Soares


Carlos Nick Gomes


Igor Rodrigues de Assis
(Coorientador)


Raphael Bragança Alves Fernandes
(Orientador)

“A amizade multiplica as alegrias e divide as tristezas”

Francis Bacon

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço aos meus pais e irmãos, que além do apoio, força e exemplo, em momentos foram até estagiários;

À Universidade Federal de Viçosa por todas as oportunidades ofertadas;

Ao Departamento de Solos, minha segunda casa em Viçosa, pela oportunidade de estagiária, bolsista e pelo mestrado;

Ao professor Raphael, que sem sua ajuda, apoio e compreensão, esta dissertação jamais teria saído;

Aos servidores do DPS, principalmente ao Cláudio, Seu Sebastião, Carlos Fonseca, Júlio, Paulo e Luciana, pela ajuda, aprendizado e apoio;

Aos amigos, que sempre tinham um ombro amigo, em especial Sarah e Lets;

À Thuany e Júlio pela ajuda com o experimento;

Aos melhores vizinhos do mundo, do prédio Alvorada;

Ao Octávio, pelo amor;

À professora Ana Augusta e ao professor Igor, pela orientação e acesso apoio no projeto;

Ao professor Calor Nick, pela ajuda imprescindível na estatística;

À empresa Vale S/A, pela disponibilidade de materiais para o estudo;

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos;

E, à todos que de alguma forma, seja com um abraço ou sorriso, ou uma “mãozinha”, foram parte essencial para a confecção desse estudo

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
CAPÍTULO 1	6
INTRODUÇÃO	7
MATERIAL E MÉTODOS	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
CONCLUSÕES	20
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
CAPÍTULO 2	24
INTRODUÇÃO	25
MATERIAL E MÉTODOS	27
RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
CONCLUSÕES GERAIS.....	41
RECOMENDAÇÕES FINAIS.....	42
ANEXO	43

RESUMO

SILVA, Laís Maria Rodrigues, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2014. **Utilização de biossólidos para a regeneração natural e para a melhoria da qualidade do solo de áreas mineradas.** Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes. Coorientadores: Igor Rodrigues de Assis e Ana Augusta Passos Rezende.

A produção mineral destaca-se como um dos ramos mais desenvolvidos da economia brasileira, com grande geração de divisas para o país. No entanto, essa atividade é muito impactante ao meio ambiente, promovendo grande transformação da paisagem. Disto resulta a necessidade de intervenções para se buscar melhorar o ambiente após o término da mineração. O crescimento da população e da produção de esgotos também é um fenômeno crescente. Estes materiais quando recebem o tratamento adequado são chamados de lodos de esgotos e, se houver a etapa de tratamento biológico, são denominados de biossólidos. Desde que atenda a legislação vigente, os biossólidos podem ser dispostos no solo como condicionadores. Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a utilização de biossólidos como condicionadores da qualidade física e química de um estéril de mineração de ferro e seu efeito sobre a regeneração da vegetação natural quando da utilização de diferentes inóculos. Dois biossólidos foram utilizados, um de origem têxtil e outro doméstico. Um primeiro experimento avaliou, após um mês de incubação, o efeito de cinco doses de biossólidos (5, 10, 20, 50, 100 t ha⁻¹, base seca) mais um adicional, correspondendo à omissão de biossólidos, nas características químicas e físicas do estéril de mineração de ferro. No segundo experimento, que teve duração de sete meses, avaliou-se em casa de vegetação a revegetação e o efeito das mesmas doses dos dois biossólidos associadas a três fontes de inóculos (serapilheira, topsoil e controle) sobre características físicas do estéril. Os resultados dos dois experimentos permitiram concluir que a adição de biossólidos melhorou as características químicas do estéril, com destaque para o biossólido têxtil que foi submetido à caleação em seu processo de desague. O topsoil foi a fonte de inóculo que proporcionou melhores índices biológicos de revegetação. Com exceção da macroporosidade, nenhum outro atributo físico foi influenciado pela adição de biossólidos e inóculos, o que foi associado ao curto período de avaliação. A macroporosidade foi reduzida com a adição de biossólido têxtil associado com o uso do topsoil, o que foi relacionada à alta retenção de água desse resíduo orgânico.

ABSTRACT

SILVA, Laís Maria Rodrigues, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2014. **Use of biosolids for natural regeneration and improving soil quality of mined areas.** Adviser: Raphael Bragança Alves Fernandes. Co-advisers: Igor Rodrigues de Assis and Ana Augusta Passos Rezende.

The mining industry stands out as one of the most developed sectors of national economic and is responsible for part of the positive balance of Brazil's trade. However, mining activity can cause a potential impact on the environment because promotes great landscape transformations. For this reason, interventions are required aiming to restore disturbed areas after mining activities. Another environmental impact is related in urban areas to the growth of population with the corresponding increase of sewage production. When appropriate treated wastewaters can be converted in sewage sludge and, after a biological treatment can be produced biosolids. According to Brazilian environmental laws, biosolids can be disposed in soils as conditioners. Considering above aspects, this study aimed to evaluate the use of two biosolids on physical and chemical quality of an iron ore mined overburden and its effect on the regeneration of natural vegetation when associated with two different inocula of seeds. Biosolids used were from a textile industry and domestic wastewater treatment unit. In a first experiment, we evaluated the effect after one month of doses of both biosolids (5, 10, 20, 50, 100 t ha⁻¹, dry basis) on the chemical and physical characteristics of an iron ore mined overburden. In a second experiment, we evaluated after seven months the natural revegetation and the effects of the same doses of both biosolids associated to three sources of seeds inocula (litter, topsoil, and control) on physical characteristics of the overburden. Results of both experiments indicated the use of biosolids improved chemical characteristics of iron ore mined overburden, especially the textile biosolid, which received lime during wastewater treatment process. Topsoil was the inoculum that provided better natural revegetation considering biological indexes evaluated. All physical attributes except macroporosity were not affected by biosolids and inocula application, which was related to the short evaluation period. Macroporosity was reduced after textile biosolids addition associated to topsoil inoculum, which was related to the high water retention of this organic residue. Topsoil was the best inoculum source in the natural revegetation of the iron ore mined overburden.

INTRODUÇÃO GERAL

A produção mineral é considerada uma atividade estratégica para o desenvolvimento do setor industrial de um país. No Brasil, a exploração mineral sistemática em grande escala iniciou na década de 1960, tendo as empresas mineradoras acumulado sucessos e insucessos na descoberta de jazidas (REIS *et al.*, 2007).

A mineração é uma das atividades mais impactantes e transformadoras da paisagem, podendo modificar o relevo e o tipo de solo, remover a vegetação, e poluir cursos d'água e solos, além de poder afetar a qualidade do ar. Desta maneira, são diversos os impactos que a atividade minerária impõe ao ambiente, muitos deles negativos. Por outro lado, a atividade pode também ser responsável por impactos positivos, como captação de recursos financeiros, geração de empregos e renda, e desenvolvimento de tecnologias e o progresso de algumas regiões. Dada as intervenções que impactam o ambiente, existe a necessidade legal de recuperação da área minerada após o término da atividade (HERRMANN, 2010), quando do fechamento da mina.

Os procedimentos técnicos legais durante a etapa de fechamento da mina são abordados em um documento denominado Plano de Recuperação de Área Minerada – PRAD (HERRMANN, 2010), previamente preparado e devidamente aprovado pelo órgão ambiental competente. Neste documento devem ser abordados os usos prévios e futuros da área a ser minerada, bem como os objetivos da recuperação, que podem ser i) em nível básico, que visa mitigar possíveis efeitos maléficos à população; ii) em nível parcial, com o intuito de habilitar a área para alguns usos e; iii) recuperação completa, visando restaurar a área, com reconstituição da topografia e vegetação (GRIFFITH, 1980).

Após a exaustão da mina, ocorre o retorno do estéril ao sítio minerado como uma das primeiras etapas de recuperação da área. A partir dessa recomposição, inicia-se a etapa de revegetação. No entanto, o estéril é considerado um material inerte do ponto de vista da sustentação de plantas e, por isso, uma das alternativas é a adição de material orgânico visando

a melhoria das condições físicas e químicas do material, de forma a torná-lo um substrato mais adequado ao crescimento de plantas. Uma possibilidade recente que tem sido considerada é a utilização de lodos de esgoto e biossólidos visando à melhoria das qualidades físicas e químicas de substratos (EPSTEIN, 2003). A utilização de material orgânico proveniente do tratamento de esgotos no processo de recuperação de áreas degradadas tem levado a resultados satisfatórios (GODOI *et al*, 2008; MIRANDA *et al*, 2011).

As práticas de geração e disposição final de lodos de esgotos no Brasil não contam com dados consistentes, sendo a melhor forma para se estimar tais valores a estimativa indireta com base no uso de informações do número de pessoas beneficiadas por sistemas de tratamento de esgotos. O lodo representa somente cerca de 1 a 2 % do esgoto tratado, porém os custos envolvidos relacionados à ele podem alcançar 60 % do total da operação de tratamento (VON SPERLING & ANDREOLI, 2006). Quando tratado e processado, o lodo de esgoto recebe o nome de biossólidos e adquire características que permitem a utilização agrícola desse produto (BARBOSA & TAVARES FILHO, 2006).

Após a geração, o biossólido deve ser disposto em local adequado e em condições de segurança. Essa disposição pode ser no solo, visando assim seu uso benéfico via o reaproveitamento agrícola, desde que atendidas o exigido na legislação ambiental.

A disposição de resíduos de atividade humana e animal no solo com a finalidade de melhorar a fertilidade é uma prática antiga (LOPES & GUILHERME, 2007). Resíduos de natureza orgânica quando incorporados ao solo interagem com as partículas minerais e passam a compor a matéria orgânica do solo (MOS), proporcionando uma série de efeitos benéficos, como melhorando a flocculação das partículas e aumentando a estabilidade dos agregados (BRAIDA *et al.*, 2011); aumentando a capacidade de troca catiônica do solo, e constituindo-se como fonte de nutrientes devido ao processo de mineralização, entre outros (CORRÊA *et al*, 2010).

A produção de biossólidos no Brasil tem experimentado uma crescente, tendo em vista o avanço de obras de saneamento básico e de tratamento de esgotos. Como indicado, uma alternativa viável seria a disposição desses produtos no solo, pois desta forma combinar-se-ia tanto um tratamento quanto uma forma de disposição final para os resíduos do tratamento de esgotos (EPSTEIN, 2003; VON SPERLING 2005). Por outro lado, o aproveitamento de lodos e biossólidos é muito restrito devido à alta probabilidade de conterem patógenos e ao risco ambiental envolvido. A Resolução CONAMA 375/2006 (CONAMA, 2006) regulamenta no país a disposição para uso agrícola em solos de resíduos oriundos de atividade humana. A referida norma estabelece critérios tanto para a natureza dos lodos e biossólidos, como para as áreas adequadas para recebê-los, considerando neste último caso, o tipo de solo, uso e proximidade de população e fauna, de forma a buscar garantir a sanidade do meio ambiente.

Dada as compreensíveis restrições para o uso agrícola de lodos e biossólidos, seu uso na recuperação de áreas degradadas pode-se constituir em uma alternativa viável que harmonize a necessidade de material orgânico para a recuperação e a destinação adequada desses resíduos.

Neste sentido, áreas que sofreram algum tipo de distúrbio geralmente apresentam dificuldade de se recomporem sozinhas, havendo a necessidade da intervenção humana (PILLON *et al.*, 2010). A vegetação é a porção mais sensível aos distúrbios e, por isso, é o componente mais usado para se avaliar o grau de degradação da área. Por sua vez, ao mesmo tempo, a vegetação constitui uma forma de proteção do ambiente (GRIFFITH, 1980), sendo componente fundamental no projeto de recuperação. Como a mineração é uma atividade extremamente agressiva ao meio ambiente, a revegetação pode-se tornar uma prática onerosa. Assim, a aplicação de biossólidos nessas áreas apresenta-se como uma alternativa viável tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, por serem eles um substrato rico em matéria orgânica, capaz de promover o rejuvenescimento do solo (NETO, 2010), melhorando a estrutura e aumentando a capacidade de retenção de água (ALVES, 2007), bem como ofertando importantes nutrientes para a nutrição de plantas.

Outra técnica utilizada para recuperação de áreas degradadas é através da revegetação. Normalmente são utilizadas espécies de rápido crescimento, que sejam capazes de melhorar o solo, depositando matéria orgânica e reciclando nutrientes (FRANCO, 1991). A deposição de folhas e o crescimento das raízes das espécies pioneiras estabilizam o solo, aumentam a atividade biológica do mesmo e criam condições favoráveis para o estabelecimento de outras espécies mais exigentes (FRANCO *et al.*, 1992).

A fonte de sementes para a revegetação pode ser advinda de fragmentos remanescentes de mata próximos à área degradada. Essas podem estar na serapilheira ou no conjunto de material orgânico mais o solo superficial (topsoil). A utilização de algum desses materiais como inóculos vegetais é eficiente tanto no ponto de vista biológico quanto econômico (ARAÚJO *et al.*, 2001).

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo geral avaliar a utilização de biossólidos como condicionadores da qualidade física e química de estéril de mineração de ferro, bem como avaliar seu papel conjuntamente com a utilização de serapilheira e topsoil para a revegetação de áreas mineradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 375/2006** - "Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências". 32p., 2006 Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>>. Consultado em 07 de junho de 2013.

EPSTEIN, E. **Land application of sewage sludge and biosolids**. EUA. 206p. 2003.

FRANCO, A.A. Revegetação de solos degradados. In: **Workshop sobre recuperação de áreas degradadas**, Anais, I, UFRRJ, Itaguaí - RJ. p. 133-157. 1991.

FRANCO, A.A., DIAS, L.E.; FARIA, S. M.; CAMPELLO, E.F.C. e SILVA, E.M.R. Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de recuperação e manutenção da vida do solo: Um modelo tecnológico. In: **Simpósio sobre Estrutura, Funcionamento e Manejo de Ecossistemas**, UFRRJ, Resumo. Itaguaí, CNPAB/EMBRAPA. 13p. 1992

GRIFFITH, J. J. Recuperação Conservacionista de Superfícies Mineradas: Uma Revisão de Literatura. Sociedade de Investigações Florestais. **Boletim Técnico nº2**. 51 p. 1980..

- HERRMANN, H. Recuperação socioambiental de áreas mineradas. In: **Recuperação de áreas mineradas**. ALBA, J. M. F. (ed). EMBRAPA. 2ª ed. rev. Brasília, P. 123 – 146. 2010.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do Solo e produtividade agrícola. In: **Fertilidade do Solo**. NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V.H; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (eds). SBCS. Viçosa, MG. p.1-64. 2007.
- NETO, C. C. Potencialidades da xistoquímica para a agricultura. In: **Recuperação de áreas mineradas**. ALBA, J. M. F. (editor). EMBRAPA. 2ª ed. rev. Brasília, p. 13 – 30. 2010. p.
- PILLON, C. N.; MIURA, A. K.; ALBA, J. M. F. Agricultura no contexto da recuperação de áreas mineradas. In: **Recuperação de áreas mineradas**. ALBA, J. M. F. (ed). EMBRAPA. 2ª ed. rev. Brasília, p. 31 – 46. 2010.
- REIS, E.; BICHO C. P.; MELO E. Exploração mineral – tendências tecnológicas. In: FERNANDES, F. R. C.; MATOS, G. M. M. de M.; CASTILHOS, Z. C.; LUZ, A. B. (eds.). **Tendências tecnológicas Brasil 2015: Geociências e Tecnologia Mineral**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 23-34. 2007.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG. v.1. 3 ed. 243p. 2005.
- MIRANDA, L. P. M.; TARSITANO, M. A. A.; ALVES. M. C.; RODRIGUES, R. A. F. Custo para implantação de *Astronium fraxinifolium Schott* em área degradada utilizando adubos verdes e lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 4, p.475 – 780. 2011.
- GODOI, E. L.; BORGES, J. D.; LEANDRO, W. M. Índices de cobertura vegetal e fitomassa de *Stylosanthes guianensis* Cv Mineirão em área degradada, fertilizada com adubo mineral e bio sólido. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 1, p.21 – 26. 2008.
- CORRÊA, S.; SILVA, L. C. R.; BAPTISTA, G. M. M.; SANTOS, P. F. Fertilidade química de um substrato tratado com lodo de esgoto e com composto de resíduos domésticos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n.5, p.538 – 544. 2010.

CAPÍTULO 1

UTILIZAÇÃO DE BIOSÓLIDOS COMO CONDICIONADORES DE SOLO

UTILIZAÇÃO DE BIOSSÓLIDOS COMO CONDICIONADORES DE SOLO

INTRODUÇÃO

Segundo o último censo demográfico no Brasil, realizado em 2010, o país possui cerca de 200 milhões de habitantes (IBGE, 2014), o que corresponde a uma população em contínuo crescimento, com consumo também crescente de recursos naturais e de geração de resíduos. Esses resíduos necessitam de tratamento e disposição final adequados, visto que podem oferecer riscos à saúde humana e ao meio ambiente. Dentre esses resíduos, destacam-se os esgotos, que tem merecido das autoridades maior investimento quanto a sua coleta e tratamento, em iniciativas de saneamento básico.

A contribuição de cada brasileiro na produção nacional de esgotos varia de 80 a 200 L hab dia⁻¹ (ALEM-SOBRINHO, 2001), o que leva à geração de 16.000.000 a 40.000.000 m³ dia⁻¹. Essa grande quantidade de efluentes gerados diariamente necessita de tratamento adequado para não oferecer riscos à qualidade do meio ambiente e à saúde da população. As principais formas de tratamento consistem da retirada de água dos esgotos visando diminuir seu volume final, seguida da autodepuração do material para produtos que ofereçam menores riscos de contaminação (GONÇALVES *et al.*, 2006).

O produto final do tratamento é chamado de lodo ou biossólido de acordo com a Resolução CONAMA 375/2006. Esta norma estabelece uma série de critérios para a distinção entre os dois conceitos. Uma forma de disposição final que é estabelecida pela norma é a aplicação no solo, que pode ocorrer de várias formas, podendo ser superficial ou por incorporação, desde que se obedeça certos parâmetros de qualidade do material, doses e restrições de uso em certas áreas. Esta norma trata especificamente sobre biossólidos de origem doméstica e, na ausência de uma regulamentação que norteie o uso e reaproveitamento de

biossólidos de outras origens, a Resolução CONAMA 375/2006 tem sido usada como referência para outros tipos de biossólidos.

A utilização desses resíduos tem proporcionado bons resultados na agricultura, sendo qualificado como de alto potencial como condicionador de solo e ainda como promotor da fertilidade do solo (TRANNIN *et al.*, 2008). Barros *et al.* (2011) avaliaram o desempenho de plantas de milho em resposta à aplicação de biossólidos no solo, obtendo aumento de macronutrientes na parte aérea das plantas. Trannin *et al.* (2005) também avaliaram o desempenho da cultura de milho em resposta à adição de biossólidos, verificando aumento de 21 % da produção máxima com sua aplicação em relação ao observado com adubação mineral.

A melhora da fertilidade do solo com a adição de biossólidos tem sido relatada em diversos trabalhos (DEBOSZ *et al.*, 2002; OLIVEIRA *et al.*, 2002; TRANNIN *et al.*, 2005, 2008; BARROS *et al.*, 2011). Os atributos físicos também têm sido alterados positivamente com o incremento das doses de biossólidos no solo, sendo verificados aumento dos agregados maiores que 2 mm e da porosidade total e microporosidade com conseqüente redução dos valores de densidade do solo (TRANNIN *et al.*, 2008), além de redução da resistência do solo à penetração e aumento da capacidade de retenção de água e da condutividade hidráulica em meio saturado (AGGELIDES & LONDRA, 2000).

Apesar dos benefícios da utilização de biossólidos, alguns metais pesados podem estar contidos na sua composição (ABREU, 2001). Nos biossólidos de lodo de esgoto doméstico normalmente esperam-se pequenas concentrações de metais pesados, tendo em vista a própria natureza do resíduo, que normalmente ficam abaixo dos teores limites para sua utilização no solo (CONAMA 375/2006) e mesmo dos teores de fitotoxidez (BARROS *et al.*, 2011). Entretanto, algumas contaminações provenientes das próprias canalizações coletoras (ILHENFELDET *et al.*, 1999) ou mesmo derivados de compostos diversos lançados na rede de esgoto podem alterar este quadro.

Diante de um cenário de produção de biossólido e sua possibilidade de utilização na agricultura, sua disposição no solo vem crescendo como alternativa e técnica associada à recuperação de áreas degradadas (CAMPOS & ALVES, 2008). A adição desse material orgânico melhora as condições para o restabelecimento de áreas degradadas e o desenvolvimento de plantas (DEBOSZ *et al.*, 2002). A incorporação de biossólidos favorece a formação de agregados, facilitando a atividade microbiana e a penetração de raízes, além de aumentar a capacidade de retenção de água (TSUTIYA, 2001), o que é interessante na recuperação de áreas alteradas pela atividade antrópica.

Diante do exposto, o presente estudo objetivou avaliar o efeito da adição de diferentes doses de dois diferentes biossólidos aplicados em misturas com estéril de mineração, visando avaliar sua utilização como condicionador e melhorador da qualidade física e química desses substratos, que são um dos pontos de partida em projetos de recuperação da qualidade de um solo pós distúrbio da atividade minerária.

MATERIAL E MÉTODOS

Seleção e caracterização dos materiais

- Biossólido

Dois biossólidos foram selecionados para o estudo, um proveniente de lodo de esgoto doméstico (BD), produzido a partir de um reator tipo UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket, que se encontra em unidade fabril e que conta com cerca de 2500 funcionários, localizada no município de Congonhas, Minas Gerais, e o outro de origem industrial, produzido em uma unidade têxtil (BT), localizada no município de Cataguases, Minas Gerais, cuja as características e os parâmetros analisados conforme as exigências da Resolução CONAMA 375/2006 (CONAMA, 2006) são apresentadas no Quadro 1.

O biossólido têxtil teve cal hidratada adicionada à sua composição como uma forma de tratamento desse resíduo pela própria unidade geradora.

Quadro 1 - Caracterização dos biossólidos utilizados no presente estudo

	Unidade	Biossólido Doméstico	Biossólido Têxtil	CONAMA VMP ¹
N-Total	g kg ⁻¹	8,765	13,312	-
P	g kg ⁻¹	4,61	6,55	-
K	g kg ⁻¹	1,33	4,53	-
Ca	g kg ⁻¹	5,52	10,74	-
Mg	g kg ⁻¹	1,38	2,61	-
S	g kg ⁻¹	19,7	2,77	-
Cu	mg kg ⁻¹	447	332	1500
Mo	mg kg ⁻¹	5,3	4,5	50
Se	mg kg ⁻¹	<1*	<1*	1000
Zn	mg kg ⁻¹	1,5	0,15	2800
Ni	mg kg ⁻¹	35	38	420
Na	g kg ⁻¹	0,32	1,59	-
Cr	g kg ⁻¹	2,77	87	1000
As	mg kg ⁻¹	<1*	1	41
Ba	mg kg ⁻¹	119	101	1300
Cd	mg kg ⁻¹	<0,1*	<0,1*	39
Pb	mg kg ⁻¹	47	4	300
Hg	mg kg ⁻¹	0,36	<0,05*	17
Sólidos totais	dag kg ⁻¹	88,7	87,4	-
Sólidos voláteis	dag kg ⁻¹	36,8	60,6	-
COT ²	dag kg ⁻¹	20	34	-
Helmintos	Ovo/g de ST	<0,25*	<0,25*	<0,25
Vírus	UFP/g de ST**	Ausente	Ausente	<0,25
Salmonella	P/A em 10 g de ST***	Ausente	Ausente	Ausente
Coliformes	NMP/g de ST****	Ausente	Ausente	Ausente

¹VMP: Valor Máximo Permitido.

²COT: Carbono Orgânico Total

*: menor do que o limite de quantificação

**UFP/g de ST: Unidade Formadora de Placa por grama de Sólidos Totais.

***P/A em 10 g de ST: Presença ou Ausência em 10 gramas de Sólidos Totais.

****NMP/g de ST: Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais.

- Estéril

O estéril utilizado, escolhido para representar o substrato de uma área degradada, foi proveniente de uma mineração de ferro da Unidade Fábrica, localizado no município de Congonhas, MG, de propriedade da empresa Vale S/A.

O estéril foi submetido à análise granulométrica e classificado como Areia Franca, pela sua composição predominantemente formada por partículas de areia (150 g kg⁻¹ de areia grossa; 630 g kg⁻¹ de areia fina; 170 g kg⁻¹ de silte e 50 g kg⁻¹ de argila). Embora apresentasse pouca argila em sua composição, grande parte (41 g kg⁻¹) foi recolhida como argila dispersa em água, o que representa um índice de dispersão de 82 %.

Ensaio

O ensaio foi conduzido a partir de misturas efetuadas entre os dois biossólidos e o estéril de mineração, nas doses correspondentes à aplicação de 5, 10, 20, 50 e 100 t ha⁻¹, em base seca, e o tratamento controle com omissão de biossólidos. A quantidade de estéril utilizada em cada unidade experimental foi de 3,0 kg.

Os biossólidos foram previamente secos ao ar e levados a estufa de 60°C por 16 horas e, na sequência, triturados até atingirem granulometria aproximada de 0,105 mm. O estéril foi todo peneirado em malha de 2 mm e o material passante pela malha foi misturado para garantir sua homogeneização. As frações maiores que 2 mm (150 g kg⁻¹) não foram utilizadas.

As misturas foram homogeneizadas e, na sequência, foram incubados em potes plásticos durante o período de um mês. O ensaio foi montado em delineamento em blocos ao acaso (DBC), em esquema fatorial de (2 x 5) + 1, correspondendo a dois diferentes biossólidos aplicados ao estéril em cinco doses, além do tratamento controle, com três repetições. No total foram, portanto, conduzidas 33 unidades experimentais.

Finalizado o período do ensaio, todas as misturas, bem como amostras extras correspondendo aos dois bio sólidos e ao estéril utilizados foram submetidos às seguintes análises:

a) análises químicas de rotina: pH em água; acidez potencial (H+Al); teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} trocáveis; Na^+ , K^+ e P disponíveis; P remanescente (P-rem) e S. As análises foram efetuadas de acordo com Defelipo & Ribeiro (1997). A capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) foi calculada pela soma dos cátions e a capacidade de troca catiônica total (CTCt) foi estimada pela soma da CTCe e da acidez potencial;

b) caracterização recomendada para condicionadores do solo, conforme as instruções normativas IN 17 (SDA/MAPA, 2007) e IN 31 (MAPA, 2008), sendo analisadas a densidade atual, pelo método da proveta; a condutividade elétrica; o pH e a capacidade de troca catiônica (CTC).

c) equivalente de umidade, segundo Donagemma *et al.* (2011).

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância com o software R. O efeito das doses aplicadas dentro de cada um dos bio sólidos foi avaliado mediante análise de regressão, sendo a escolha do modelo baseada na significância dos coeficientes e na natureza do fenômeno avaliado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade atual

A alta densidade atual (Da) do estéril em comparação aos dois bioossólidos é devida à natureza dos constituintes desses materiais, sendo o primeiro mineral e os demais orgânicos (Quadro 2). A partir disto, esperava-se que, quando misturados ao estéril, ambos os bioossólidos diminuíssem a densidade da mistura. Entretanto, isto só foi verificado para o bioossólido têxtil (BT) (Figura 1a), que é o menos denso dos dois bioossólidos. De todos os modos, a redução da densidade da mistura com a adição de doses crescentes BT não foi muito expressiva em termos práticos, uma vez que correspondeu a pouco mais de $0,1 \text{ g cm}^{-3}$ na comparação entre a maior e menor dose aplicadas.

Muitos trabalhos relatam a diminuição da densidade do solo com o uso de bioossólidos (DEBOSZ *et al.* 2002; GARDNER *et al.*, 2012; SHIRALIPOUR *et al.* 1992; TRANNIN *et al.* 2008), contudo, no presente estudo isto somente foi verificado para um dos bioossólidos (BT). OS tempos de incubação e materiais se diferiram entre os estudos. Os estudos acima citados tiveram um maior tempo de condução e se tratavam de solo propriamente dito, que apesar de em alguns casos se encontrarem degradados, ainda possuía estrutura. O estéril de mineração utilizado não apresentava qualquer agregação, de forma que os tempos de incubação curto não proporcionou efeito significativo.

Quadro 2 - Características físicas e químicas dos materiais utilizados

	Densidade kg dm^{-3}	pH	Equivalente de umidade kg kg^{-1}	CTC $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	CE dS cm^{-1}
Estéril	2,09	6,5	0,088	21,4	0,16
Bioossólido doméstico	0,82	3,9	0,296	45,1	41,33
Bioossólido têxtil	0,64	6,3	0,726	138,8	63,60

CTC: capacidade de troca catiônica; CE: condutividade elétrica

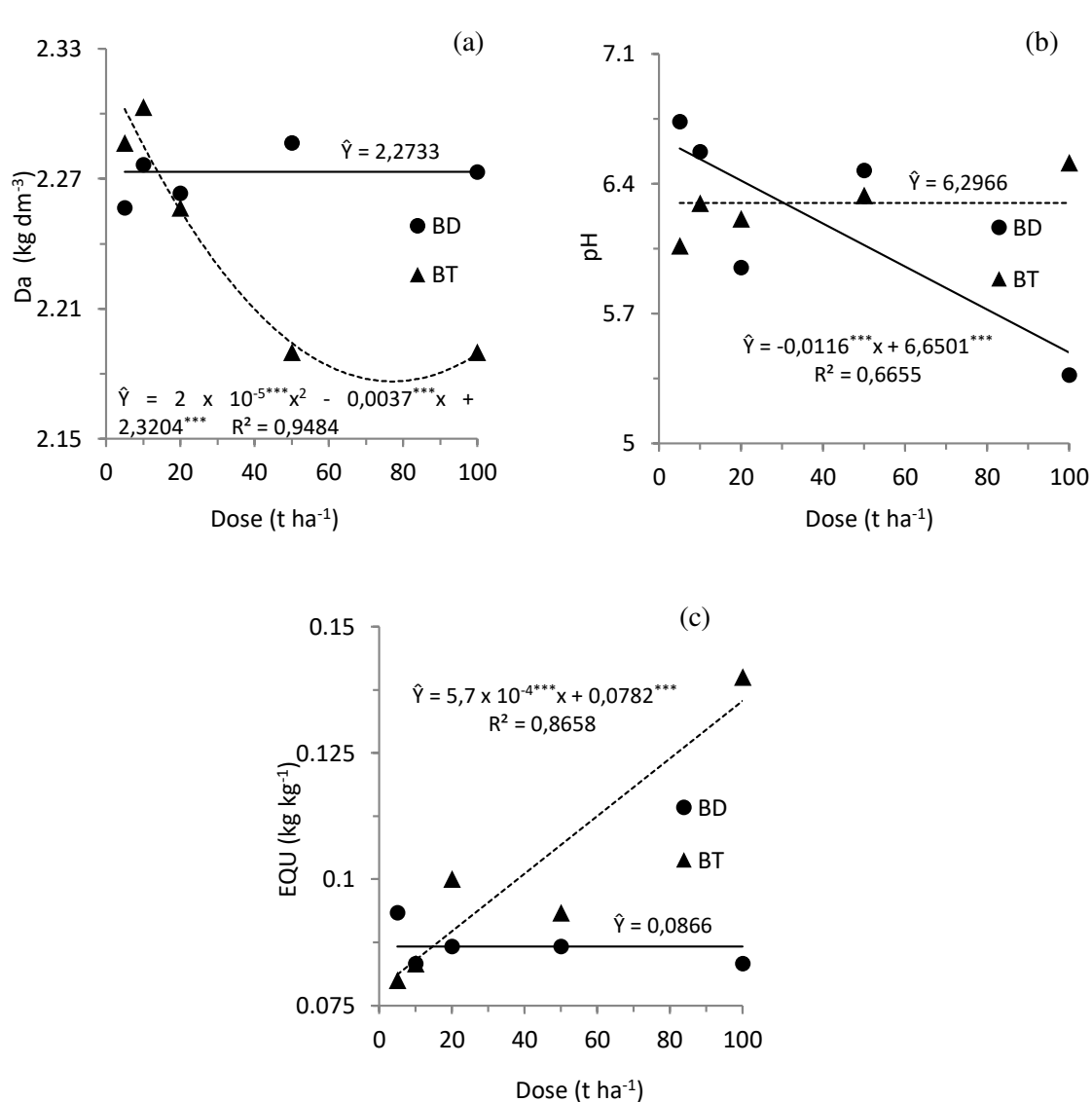


Figura 1 - Densidade atual (Da), pH e equivalente de umidade (EQU) de misturas de estéril de mineração com diferentes doses de biossólidos têxtil (BT) e doméstico (BD).

Diferentemente do procedimento executado para amostras de solo, a determinação da densidade atual, como preconizada nas normas do MAPA para condicionadores e substratos, é realizada na umidade em que o material se encontra, após o equilíbrio com a umidade atmosférica. Cada material apresenta teores diferentes de água neste equilíbrio.

Esta recomendação de procedimento analítico justifica-se no caso de biossólidos, e igualmente é adotada para a quase totalidade dos condicionadores orgânicos, uma vez que o uso da secagem em estufa a 105-110 °C pode causar perda de material orgânico na forma de sólidos voláteis.

pH

Os valores de pH alcançados nas misturas apresentaram diferentes tendências com a adição das doses dos dois bio sólidos. Enquanto que o aumento das doses de BD diminuiu os valores de pH, não se verificou qualquer efeito com a adição de BT (Figura 1b). Os valores de pH dos materiais puros (Quadro 2) explicam essa tendência, dado o caráter mais ácido de BD, enquanto BT apresenta caráter mais alcalino e pH mais semelhante aos valores verificados nas misturas obtidas desse bio sólido com o estéril de mineração.

O baixo pH do BD pode ser atribuído, principalmente, à presença de ácidos orgânicos produzidos durante a decomposição da matéria orgânica (BROFAS *et al.*, 2000). Este fato pode ser contornado com a caleação, ou seja, aplicação de óxido de cálcio, sendo inclusive essa uma forma de tratamento do resíduo (EPSTEIN, 2003; GONÇALVES, 2006). Essa prática foi realizada no BT na etapa de desaguamento deste bio sólido, sendo a justificativa para seu alto valor de pH.

Equivalente de umidade

A determinação do equivalente de umidade (EQU) busca avaliar a capacidade de retenção de umidade do solo, sendo muito utilizada em solos como estimativa da capacidade de campo. Como esperado, o valor de EQU do estéril foi muito baixo quando puro ($0,088 \text{ kg kg}^{-1}$, Quadro 2) coerente com sua natureza mais grosseira (780 g kg^{-1} de areia).

Na avaliação das misturas bio sólidos e estéril de mineração, não se verificou efeito na retenção de umidade quando o BD foi utilizado (Figura 1c), apesar de o mesmo apresentar maior valor de EQU quando puro ($0,296 \text{ kg kg}^{-1}$). Por sua vez, a adição de doses crescentes de BT ($\text{EQU} = 0,726 \text{ kg kg}^{-1}$) foi suficiente para proporcionar o aumento na retenção de água nas misturas, com efeito mais pronunciado associado à maior dose aplicada (100 t ha^{-1}), que apresentar valor de EQU mais do que o dobro das demais doses.

É destacável a quantidade de água retida pelo BT, equivalente a quase 2,5 vezes mais

do que o verificado para o BD. Entretanto, merece destaque um possível problema nesta determinação, que é a possibilidade de ter havido volatilização de parte dos sólidos dos biossólidos no processo de secagem das amostras em estufa. Ainda que conduzido em temperatura de 60 °C, tais perdas não podem ser descartadas.

Devido ao curto período de incubação, a retenção de água no material se deu apenas por características de BT, e não por aumento de porosidade, como no estudo realizado por Yucel *et al.* (2015), durante um período de 24 anos, ou mesmo (GARDNER *et al.*, 2012), por três anos, com sucessivas aplicações de biossólidos ao longo do tempo.

Análises químicas e condutividade elétrica

O biossólido têxtil, por apresentar maiores concentrações de elementos químicos, sendo alguns deles nutrientes para plantas (Quadro 1), proporcionou aumento de nutrientes associados com a melhora da fertilidade de substratos.

A adição dos dois biossólidos no estéril de mineração proporcionou resposta positiva dos teores de K com o aumento das doses aplicadas dos resíduos orgânicos (Figura 2a). Esta resposta foi maior para o BT, por apresentar maior concentração deste elemento em sua constituição (Quadro 1). O menor efeito na adição de BD pode ser associado ao fato de que biossólidos domésticos, no geral, apresentam baixos teores de K, o que requer, quando do seu uso agrícola, complemento de adubação mineral para suprir este nutriente para culturas (SILVA *et al.*, 2002; SIMONETE *et al.*, 2003).

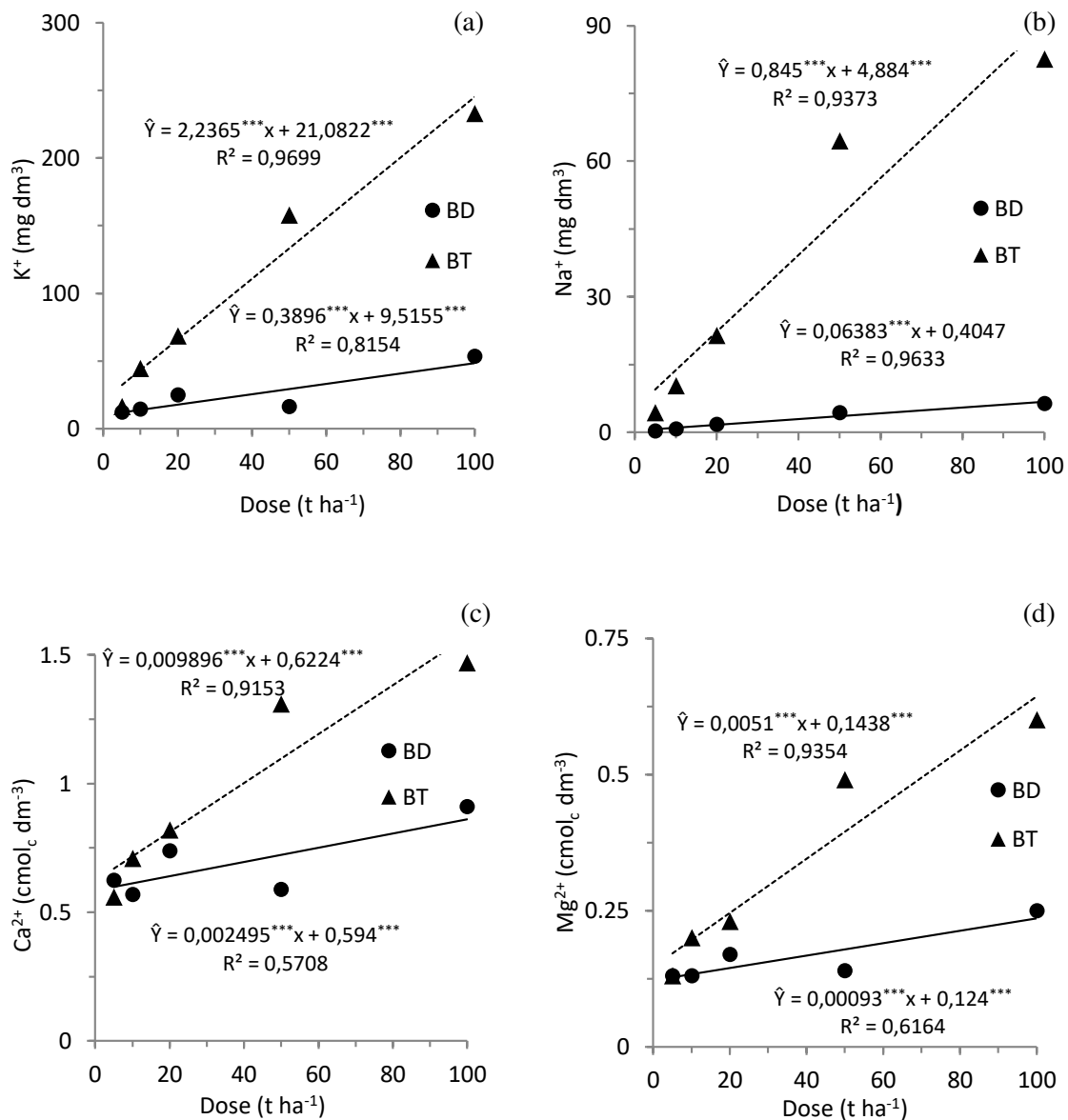


Figura 2 – Teores de potássio (K), sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) das misturas de estéril em função das diferentes doses aplicadas de biossólido têxtil (BT) e doméstico (BD).

O sódio é um elemento benéfico para algumas culturas (DECHEN & NACHTIGALL, 2007), porém em altas concentrações pode ocasionar o deslocamento de K do complexo de troca, além de poder comprometer a agregação do solo e prejudicar a germinação de plantas. Ambos biossólidos utilizados neste trabalho apresentam Na em sua composição (Quadro 1), o que acarretou respostas positivas deste elemento na mistura com o aumento das doses aplicadas (Figura 1b). Novamente o efeito foi mais expressivo com a adição de BT.

Apesar de seu efeito benéfico para algumas culturas e de não haver um valor limite máximo para esse elemento estabelecidos na IN CONAMA 375/2006 para a disposição de biossólidos no solo, os teores de Na no solo devem ser monitorados, uma vez que pode ser problemático para alguns atributos físicos do solo (OLIVEIRA *et al.*, 2002).

Os teores de Ca e Mg nas misturas avaliadas também exibiram respostas positivas com o aumento das doses dos dois biossólidos avaliados (Figuras 2c e 2d). A maior resposta verificada para os teores de Ca com o uso do BT pode ser explicada pela adição da cal virgem no processo de desaguamento, diferentemente do BD que teve tratamento diferente. Pelo fato de serem cátions bivalentes, Ca e Mg podem contribuir para com a floculação de argilas e auxiliar na redução dos efeitos dos altos teores de Na que podem ser alcançados por resíduos como o BT (Figura 2b). Incrementos dos teores de Ca e Mg são importantes ainda para a melhoria da fertilidade de substratos em processos de recuperação de áreas degradadas de mineração, uma vez que constituem macronutrientes essenciais para as plantas, componentes fundamentais em processos e técnicas de remediação.

A aplicação de doses crescentes de ambos os biossólidos aumentou os teores de P nas misturas obtidas do resíduo orgânico e o estéril de mineração (Figura 3a). Dada a maior concentração desse nutriente em BT (Quadro 1), os incrementos foram mais expressivos com o uso deste biossólido.

O P é outro macronutriente essencial para a nutrição das plantas, de forma que o incremento desse nutriente pela adição de biossólido é vantajoso, pois melhora a fertilidade do estéril em um processo de recuperação de área degradada pela mineração. O mesmo também pode ser comentado acerca do S, cujos teores também foram incrementados com o aumento das doses dos biossólidos. Entretanto, ao contrário dos outros nutrientes, o S encontra em maior teor no BD (Quadro 1), influenciando os resultados obtidos nos quais a resposta mais evidente foi associada a esse biossólido (Figura 3b). Apesar de ser um nutriente de extrema importância, cuidados devem ser tomados em relação a P quando utilizado a partir de biossólidos. Segundo

Yucel *et al.* (2015), deve-se ter cuidado em relação as doses, visto que os teores deste nutriente que em geral são tão altos podem levar a lixiviação.

A soma de bases (SB) é a soma dos cátions não ácidos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) quantificados nas amostras das misturas avaliadas. Assim a resposta positiva verificada para cada um desses elementos naturalmente traduziu-se também em resposta positiva para a SB. Como também os teores dos referidos elementos químicos são maiores em BT, o efeito desse bioestéreo no aumento da SB das misturas com estéreo também foi maior (Figura 3c).

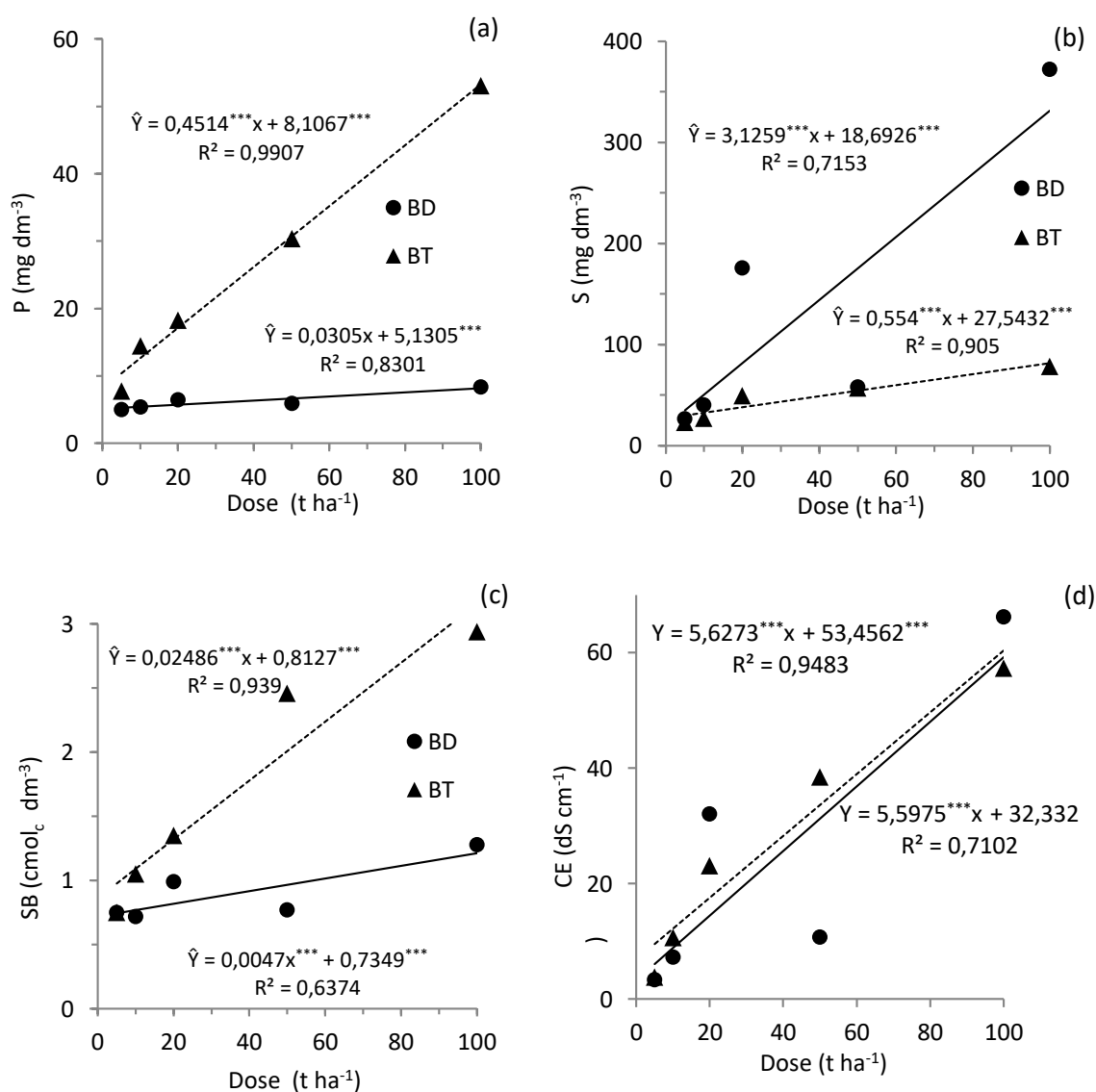


Figura 3 – Teores de fósforo (P); enxofre (S); somade bases (SB) e condutivada elétrica (CE) das misturas de estéreo em função das diferentes doses aplicadas de bioestéreo têxtil (BT) e doméstico (BD).

A condutividade elétrica (CE) é diretamente associada à presença de íons solúveis nas soluções de leitura formadas pelas misturas em contato com a água. Quanto maior os teores de íons (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) maior será a condutância de cargas elétricas. No entanto, apesar dos somatórios desses elementos serem superiores em BT, os resultados obtidos de CE para ambos os bio sólidos foram próximos (Figura 3d). Isto ocorre porque, sendo cátions solúveis, uma pequena dose é suficiente para elevar muito os valores de CE e, a partir de um certo valor, ainda que continue adicionando esses íons, os efeitos são diminuídos. Gardner *et al.* (2012) encontraram incremento da condutividade elétrica em solos tratados com bio sólidos. Este parâmetro deve ser monitorado, uma vez que pode gerar problemas para plantas e para a estrutura do solo.

Diversos trabalhos utilizando bio sólidos como fonte de nutrientes e condicionador de solo relatam a melhoria da fertilidade (DEBOSZ *et al.*, 2002; GARDNER *et al.*, 2012; TRANNIN *et al.*, 2008; YUCEL *et al.*, 2015). A física do solo também é alvo constante desses estudos, tendo na sua maioria respostas positivas quanto ao uso desses materiais (GARDNER *et al.*, 2012; TRANNIN *et al.*, 2008; YUCEL *et al.*, 2015). No entanto, os estudos citados contaram com longos períodos, variando de 3 a 24 anos. O período de um mês apresentou-se muito curto para a modificação de alguns parâmetros físicos, como a densidade do solo, que foi pouco afetada pelo uso de BT e não sofreu nenhuma alteração quando utilizado BD, uma vez que essa propriedade está diretamente relacionada ao aumento da porosidade total, que necessita de um longo processo de formação e o material incubado com o bio sólido ser estéril de mineração com predomínio da fração areia (78 %).

CONCLUSÕES

- A adição de bio sólidos altera positivamente os atributos físicos e químicos de estéril com vistas à sua utilização em processos e técnicas de recuperação de áreas degradadas pela mineração.

- A natureza e, principalmente, a composição do bioossólido afeta a intensidade das respostas, e o bioossólido têxtil foi mais efetivo na melhoria da qualidade física e química do estéril de mineração do que o bioossólido doméstico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C. A.; ABREU, M. F.; ANDRADE, J. C. Determinação de cobre, ferro, manganês, zinco, cádmio, cromo, níquel e chumbo em solos usando a solução de DTPA em pH 7,3. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. IAC, p.240-250. 2001..

AGGELIDES, S. M.; LONDRA, P. A. Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. **Bioresource Technology**. v. 71, p.253-259. 2000.

ALEM SOBRINHO, P. Tratamento de esgoto e produção de lodo. In: **Bioossólidos na agricultura**. SABESP, p. 7-40. 2001.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 4, p. 565 – 580. 2006.

BARBOSA, G. M.; TAVARES FILHO, J. BRITO, O. R.; FONSECA, I. C. B. Efeito residual do lodo de esgoto na produtividade do milho safrinha. (Nota). **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v. 31, p. 601 – 605. 2007.

BARROS, I. T.; ANDREOLI, C. V.; DE SOUZA, I. G.; COSTA, C. S. Avaliação agrônômica de bioossólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15. 630p. 2011.

BROFAS, G; MICHPOULOS, P.; ALIFRAGIS, D. Sewage sludge as an amendment for calcareous bauxite mine spoils reclamation. **Journal of Environment Quality**, v.29, p. 811-816, 2000.

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v. 32, p. 1389-1397. 2008.

CETESB - Companhia de Saneamento do Estado de São Paulo. **Aplicação de lodos de sistema biológico em áreas agrícolas**. Manual técnico. 32 p.1999.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Nº 375/2006** - "Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências". 32p., 2006 Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>>

DEBOSZ, K., PETERSEN, S. O., KURE, L. K., AMBUS, P. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. **Applied Soil Ecology**, v. 19, p. 237–248, 2002.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In.: **Fertilidade do Solo**. NOVAIS, R. F., ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F., FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. e NEVES, J. C. L. (eds). SBCS. p. 91-132. 2007.

DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo (Metodologia)**. 2 ed. Universidade Federal de Viçosa. 26p. 1997.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (eds). **Manual de métodos de análise do solo**. 2.ed. rev. Embrapa Solos. 230p. 2011 (Documentos, 132).

EPSTEIN, E. **Land application of sewage sludge and biosolids**. EUA. 206p. 2003.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. Produção e características dos biossólidos. In: **Uso e manejo de biossólidos na agricultura**. SANEPAR/PROSAB. 112p. 1999.

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. e MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. n. 34. p. 2267 – 2276. 1999.

GARDNER, W. C.; NAETH, M.; BROERSMA, K.; CHANASYK, D. S.; JOBSON, A. M. Influence of biosolids and fertilizer amendments on element concentrations and revegetation of copper mine tailings. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 92, n. 1, p. 89-102, 2012.

GJORUP, G. B. **Influência da carga permanente de pH e do alumínio trocável no teor de argila dispersa em água**. Dissertação de Mestrado. UFV. 41p. 1992.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; VON SPERLING, M. Remoção da umidade em lodos de esgotos. In: **Lodos de esgoto: tratamento e disposição final**. ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (eds). Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, p.159-259. 2006.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico de 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>> Acesso dia 08 de maio de 2014.

ILHENFELD, R. G.K. Higienização de lodos. In: **Uso e manejo de biossólidos na agricultura**. SANEPAR/PROSAB. Curitiba. 84p. 1999.

KIEHL, J. C. **Manual de edafologia**: Agronômica Ceres, 262p. 1979.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Instrução Normativa SDA Nº 31**. Altera os subitens 3.1.2, 4.1 e 4.1.2, do Anexo à Instrução Normativa SDA nº 17. 2008. Disponível em <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?jsessionid=c0a802ca30d60d9c484275fd4ba9ad15bd6b6a32f869.e3uQb3aPbNeQe34NaNeRaNaSa3v0?operacao=visualizar&id=17762>. Consultada em 12/05/2013.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Instrução Normativa SDA Nº 17**. Métodos analíticos oficiais para análise de substratos para plantas e condicionadores de solo. 2007. Disponível em <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?jsessionid=c0a802ca30d60d9c484275fd4ba9ad15bd6b6a32f>

869.e3uQb3aPbNeQe34NaNeRaNaSa3v0?operacao=visualizar&id=17762. Consultada em 12/05/2013.

MULUMBA, L. N.; LAL, R. Mulching effects on selected soil physical properties. **Soil and Tillage Research**, v. 98, n. 1, p. 106–111, 2008.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETTO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.26, p.505-519. 2002.

SHIRALIPOUR, A.; MCCONNELL, D. B.; SMITH, W. H. Physical and chemical properties of soils as affected by municipal solid waste compost application. **Aerobic Composting and Compost Utilization** , v. 3, n. 3–4, p. 261–266, 1992.

SILVA, J. E.; RESCL, D. V. S; SHARNA, R. D. Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal: efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**. v. 26, p.787 – 495. 2002.

SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C.F.A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 38: p. 1187-1195. 2003.

TEIXEIRA, W. G.; MACEDO, R. S.; MARTINS, G. C. **A cor do solo: Interpretando as cores do solo com a finalidade de monitorar processos de recuperação em áreas degradadas**. Embrapa - Amazônia Ocidental. 2p. 2009.

TRANNIN, I. C. D. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Chemical and physical attributes of a soil treated with an industrial biosolid and cultivated with corn. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 223–230, 2008.

TRANNIN, I. C.B., SIQUEIRA, J.O., MOREIRA, F. M. S. Avaliação agronômica de um biossólidos industrial para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 3, p.261-269. 2005.

TSUTIYA, M.T. Alternativas de disposição final de biossólidos. In: TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C.T.; MELFI, A. J.; MELO, W.J. e MARQUES, M. O. (eds). **Biossólidos na agricultura**. SABESP. USP, ESALQ. p. 133-180. 2001.

VISSER, S. Management of microbial processes in surfasse mined land reclamation in western Canadá. In: TATE, R. L.; KLEIN, D. (eds) **A soil reclamation processes**. M. Dekker, p.203-341. 1995.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG. v.1. 3 ed. 428p. 2005.

YUCEL, D.; YUCEL, C.; AKSAKAL, E. L. Impacts of biosolids application on soil quality under alternate year no-till corn-soybean rotation. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 226, n. 6, 2015.

CAPÍTULO 2

REGENERAÇÃO DA VEGETAÇÃO E DINÂMICA DE ATRIBUTOS FÍSICOS EM SUBSTRATO DE MINERAÇÃO DE FERRO EM RESPOSTA À ADIÇÃO DE BIOSSÓLIDOS E FONTES DE INÓCULO

REGENERAÇÃO DA VEGETAÇÃO E DINÂMICA DE ATRIBUTOS FÍSICOS EM SUBSTRATO DE MINERAÇÃO DE FERRO EM RESPOSTA À ADIÇÃO DE BIODISSÓLIDOS E FONTES DE INÓCULO

INTRODUÇÃO

A exploração de jazidas minerais no Brasil encontra-se em fase de expansão, com conseqüente aumento de áreas degradadas decorrentes das práticas adotadas para a retirada do minério, como desmatamento, decapeamento e escavação (SALOMÃO *et al.*, 2007). A área é considerada degradada quando o ambiente é modificado por alguma intervenção humana ou submetido a processos erosivos intensos, que alteram suas características originais além do limite de recuperação natural dos solos, sendo necessária a intervenção humana para sua recuperação (BARBOSA & TAVARES FILHO, 2006). Assim, a degradação ambiental ocorre quando há perdas das características físicas, químicas e biológicas, levando a condições indesejáveis para o crescimento de plantas (DIAS & GRIFFITH, 1998).

O processo de recuperação de uma área degradada é lento e está relacionado à capacidade de restabelecimento do solo, principalmente, no tocante às suas características físicas. Para tanto, a adição de materiais orgânicos tem sido amplamente utilizada como alternativa à substituição da matéria orgânica retirada com o decapeamento do solo pela remoção do horizonte A (BEZERRA *et al.*, 2006; SAMPAIO *et al.*, 2012). A adição de material orgânico promove maior agregação entre as partículas do solo e a estabilização de agregados (TISDALL & OADES, 1982), incrementos gradativos do diâmetro dos poros (DE MARIA *et al.*, 2007), redução da densidade do solo (KITAMURA *et al.*, 2008), aumento da quantidade de macroporos (MELO *et al.*, 2004; CAMPOS & ALVES, 2008) e ainda proporciona melhoria da fertilidade de solos degradados (BEZERRA *et al.*, 2006).

Outro aspecto importante na recuperação de áreas fragilizadas é a inserção de espécies vegetais, componente essencial para a proteção do solo contra os processos erosivos e para a

recomposição da paisagem. No entanto, tem sido verificado que o *input* de nutrientes e/ou condicionadores é uma importante prática para dar suporte e garantir o potencial sucesso no processo de revegetação de uma área a ser recuperada (BEZERRA *et al.*, 2006).

Diferentes resíduos orgânicos têm sido utilizados em estudos de recuperação de áreas degradadas. Dentre esses, os bio sólidos, que são produto resultante do tratamento de esgotos, tem merecido especial atenção, por sua natureza orgânica e obrigatoriedade de disposição final adequada (CAMPOS & ALVES 2008).

O aumento da disponibilidade de nutrientes no solo decorrente da aplicação de bio sólidos apresenta potencial de incrementar o desenvolvimento de plantas e, conseqüentemente, o aumento da produtividade das culturas e da produção de biomassa. Dessa forma, os bio sólidos podem ser utilizados como complemento da adubação química, com isso, reduzindo os custos envolvidos na fertilização (BARBOSA & TAVARES, 2006). Campos & Alves (2008), Kitamura *et al.* (2008) e Barros *et al.* (2011) obtiveram melhores resultados na fertilidade do solo e no rendimento das culturas quando utilizaram doses de bio sólidos em substituição à adubação mineral.

A regeneração natural da vegetação é uma preocupação central na recuperação de áreas degradadas. Para que isso ocorra é necessária uma fonte de sementes e um ambiente favorável para a germinação e o crescimento de plantas. Nessa perspectiva, o uso da serapilheira associado ou não com a camada superficial de solo de fragmentos de mata próximos à área de distúrbio tem sido frequentemente utilizado (ALMEIDA, 2000). Ambos serapilheira e topsoil são considerados bancos de sementes ativos e capazes de manter as sementes dormentes por longos períodos até que haja condições para sua germinação (CABRAL & QUEIROZ, 2012). Como funções adicionais esperadas da serapilheira tem-se a proteção do solo contra a erosão e o fornecimento de matéria orgânica e nutrientes, que contribuem para a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo (ANDRADE *et al.*, 2003).

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito dos inóculos

serapilheira e topsoil como banco de sementes associados a doses de dois bio sólidos na revegetação de áreas mineradas e na melhoria dos atributos físicos de substrato constituído por estéril de mineração de ferro.

MATERIAL E MÉTODOS

Experimento

Para o estudo foram utilizados dois diferentes bio sólidos, um proveniente de indústria têxtil (BT) e outro doméstico (BD), cujas características são apresentadas no Quadro 1. As duas fontes de inóculos utilizadas foram serapilheira (SER) e serapilheira associada com 5 cm superficiais de solo (TOPSOIL), ambas coletadas em uma mata de vegetação secundária do município de Viçosa, MG. O estéril de mineração utilizado foi proveniente de uma indústria de mineração de ferro, localizada em Congonhas, MG, de propriedade da empresa Vale S/A. Amostras do estéril foram coletadas e passadas em peneira de 2 mm, material que foi usado no experimento. Subamostras desse material foram submetidas à análise granulométrica, resultando em 150 g kg⁻¹ de areia grossa; 630 g kg⁻¹ de areia fina; 170 g kg⁻¹ de silte e 50 g kg⁻¹ de argila. Ainda que com pouca argila em sua composição, grande parte desta fração foi recolhida como argila dispersa em água (41 g kg⁻¹), com um índice de dispersão de 82 %.

O experimento foi montado em casa de vegetação seguindo delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 2 x 5, sendo três fontes de inóculos (controle, SER e TOPSOIL) associados com dois bio sólidos (BD e BT) adicionados em cinco doses (5, 10, 20, 50 e 100 t ha⁻¹, base seca), com cinco repetições.

Quadro 1 - Caracterização dos biossólidos utilizados no presente estudo

	Unidade	Biossólido Doméstico (BD)	Biossólido Têxtil (BT)	CONAMA VMP ¹
N-Total	g kg ⁻¹	8,77	13,31	-
P	g kg ⁻¹	4,61	6,55	-
K	g kg ⁻¹	1,33	4,53	-
Ca	g kg ⁻¹	5,52	10,74	-
Mg	g kg ⁻¹	1,38	2,61	-
S	g kg ⁻¹	19,70	2,77	-
Cu	mg kg ⁻¹	342	447	1500
Mo	mg kg ⁻¹	4,5	5,3	50
Se	mg kg ⁻¹	<1	<1	1000
Zn	mg kg ⁻¹	0,15	1,51	2800
Ni	mg kg ⁻¹	35	38	420
Na	g kg ⁻¹	0,32	1,59	-
Cr	mg kg ⁻¹	2,77	87	1000
As	mg kg ⁻¹	<1	1	41
Ba	mg kg ⁻¹	119	101	1300
Cd	mg kg ⁻¹	<0,1	<0,1	39
Pb	mg kg ⁻¹	47	4	300
Hg	mg kg ⁻¹	0,36	<0,05	17
Sólidos totais	dag kg ⁻¹	88,7	87,4	-
Sólidos voláteis	dag kg ⁻¹	36,8	60,6	-
COT ²	dag kg ⁻¹	20	34	-
Helmintos	Ovos/g de ST	<0,25	<0,25	<0,25
Vírus	UFP/g de ST*	Ausente	Ausente	<0,25
Salmonella	P/A em 10 g de ST**	Ausente	Ausente	Ausente
Coliformes	NMP/g de ST***	Ausente	Ausente	Ausente

¹ VMP: Valor Máximo Permitido.

² COT: Carbono Orgânico Total

*UFP/g de ST: Unidade Formadora de Placa por grama de Sólidos Totais.

**P/A em 10 g de ST: Presença ou Ausência em 10 gramas de Sólidos Totais.

***NMP/g de ST: Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais.

As unidades experimentais foram formadas por caixas de isopor de 18,5 x 13 x 10,5 cm (2,4 dm³), que receberam inicialmente somente a mistura do estéril com as doses de biossólidos. Por ocasião da montagem do experimento e dentro de cada unidade experimental foi introduzido um anel volumétrico para avaliações físicas posteriores. As unidades foram então incubadas em casa de vegetação durante um mês, com irrigação diária. Finalizada a incubação, as unidades experimentais receberam ou não (controle) os inóculos em superfície, sem homogeneização. O ensaio foi conduzido durante seis meses após a introdução dos inóculos.

Avaliações

A partir da introdução dos inóculos, as unidades experimentais foram avaliadas diariamente para a identificação das plantas que germinaram. Ao final da condução do experimento, foi contabilizado o número total de indivíduos (NIND) e de espécies (NESP) que naturalmente emergiram nas caixas de isopor. Com estes dados, promoveu-se o cálculo do índice de Diversidade de Shannon (H') (BEGOSSI, 1996) para se avaliar o efeito dos biossólidos e inóculos.

Finalizado o cultivo, uma amostra indeformada de solo foi coletada com o auxílio de um anel volumétrico que, juntamente com a retirada do outro anel introduzido no início do experimento, foram encaminhados para laboratório para a avaliação da condutividade hidráulica em meio saturado (K₀), densidade do solo (Ds), macro (MA), micro (MI) e porosidade total (PT), segundo metodologia recomendada por DONAGEMMA *et al.* (2011).

Análises estatísticas

Na análise dos dados das variáveis dos atributos físicos do solo foi considerado o fatorial triplo indicado, formado pela interação entre inóculos e tipos e doses de biossólidos. Como não se avaliou a sobrevivência e o desenvolvimento das plantas, mas somente a sua emergência, na análise das variáveis relacionados às plantas, considerou-se apenas o efeito de inóculos. Dessa

forma, considerou-se para avaliação de NIND, NESP e H' que o experimento foi formado por duas fontes de inóculos e 50 repetições, totalizando 100 unidades experimentais.

A análise estatística foi conduzida por análise de variância, seguida de avaliação do teste de Tukey ($p < 0,05$) no caso das variáveis associadas com plantas. No caso dos atributos físicos os dados foram submetidos à análise de variância ($p < 0,10$), sendo previstos desdobramentos dentro das interações significativas entre inóculo e tipo e dose de biossólidos, seguido de análise de regressão em função das doses adicionadas do resíduo orgânico. Todas as análises de variância foram antecedidas de avaliação da homocedasticidade e da normalidade dos dados. Todas as análises estatísticas utilizaram o software R.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito dos tratamentos nos atributos físicos

A análise prévia dos resultados dos atributos físicos avaliados ao final do ensaio e obtidos a partir de anéis metálicos introduzidos antes e depois do período experimental não revelou diferenças significativas. Desta forma, optou-se por utilizar a média dos valores obtidos nestes dois momentos de introdução dos anéis e destinados à coleta de amostras indeformadas nas avaliações seguintes.

A análise dos tratamentos impostos considerando os dois inóculos e as cinco doses de dois tipos de biossólidos não revelaram efeitos das fontes de variação sobre os atributos físicos do solo considerados, salvo na interação tripla para o atributo macroporosidade ($p < 0,10$). A expectativa era de se obter melhorias nos atributos físicos do material incubado com os resíduos orgânicos, assim como observado por Trannin *et al.* (2008). Por outro lado, autores como Jorge *et al.* (1991), Debosz *et al.* (2002), Macedo *et al.* (2006) e Mulumba & Lal (2008) também não verificaram melhorias físicas em solos que receberam biossólidos ao avaliarem as mesmas variáveis mensuradas neste estudo, mesmo em maiores tempos de incubação.

No caso da macroporosidade, o desdobramento da interação tripla do efeito B x I x D

indicou redução desta variável com o aumento das doses do biossólido têxtil no estéril que recebeu o inóculo topsoil (Figura 1). Essa redução leva à obtenção de macroporosidade nula a partir de 50 t ha⁻¹ e é associada à grande capacidade de retenção de água do biossólido têxtil. Um ensaio de retenção dos dois biossólidos indicou equivalente de umidade de 0,30 e 0,73 kg kg⁻¹ para os biossólidos doméstico e têxtil, respectivamente. O equivalente de umidade é associado à “água que um solo pode reter contra uma força centrífuga de 1.000 vezes a força da gravidade por 30 min” (BRITO *et al.*, 2011). Dada sua grande capacidade de retenção, muito provavelmente o incremento das doses dos biossólidos não permitiu o esvaziamento dos macroporos, como esperado para solos, na mesa de tensão utilizada na avaliação da microporosidade e macroporosidade. A presença ainda de grande quantidade de biossólido têxtil na mistura com estéril mesmo após sete meses de experimento pode ser associada à sua maior recalcitrância.

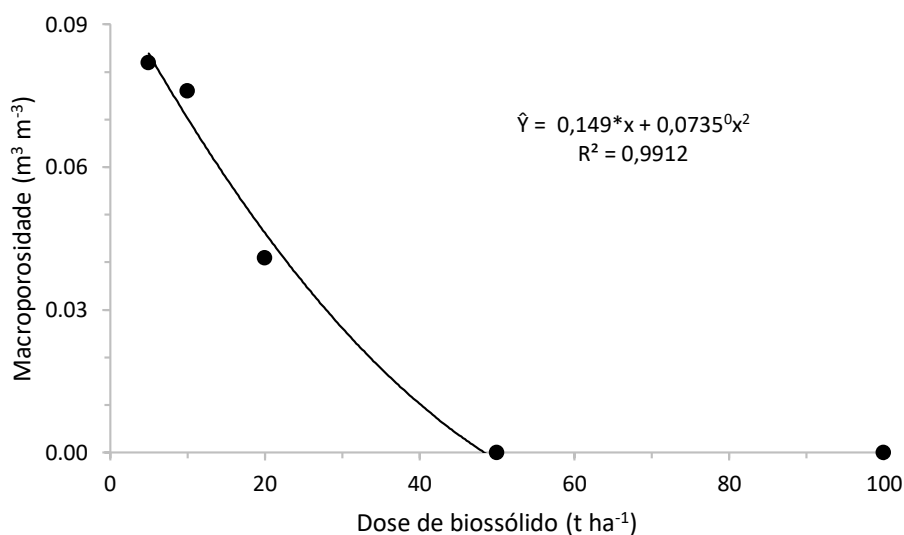


Figura 1 – Macroporosidade de estéril de mineração de ferro em resposta à adição de doses de biossólido têxtil que recebeu inóculo topsoil.

A ausência de efeito passados sete meses da adição de biossólidos e inóculos não era esperada. Com a adição do material orgânico seria esperado favorecimento da agregação pelo

rearranjo das partículas e aumento do espaço poroso, como indicado por Campos & Alves (2008) e Kitamura *et al.* (2008), como impacto na redução da densidade. A melhoria hipotetizada na estruturação com a adição de bio-sólidos afetaria também os demais atributos físicos, o que não se confirmou. Resultados de ausência de efeitos positivos da aplicação de bio-sólidos sobre a melhoria dos atributos físicos do solo também foram verificados em outros estudos (DEBOSZ *et al.*, 2002; MULUMBA & LAL, 2008). Ademais e com a adição dos inóculos, esperava-se também que com a consequente colonização de plantas, fosse verificado contribuição para o aumento da porosidade, o que também não se confirmou. Embora, como será mostrado à continuação, um número razoável de plantas tenha sido identificado, sua sobrevivência nas unidades experimentais não ultrapassou muitos dias após a germinação. Apenas algumas plantas mais agressivas conseguiram estabelecer em todo o espaço ocupado pelo estéril na unidade experimental (Figura 2).



Figura 2 – Visão geral do experimento ao final do período de sete meses indicando as plantas sobreviventes.

Ao pouco tempo de condução do experimento pode ser atribuído a ausência de efeitos da adição dos bio-sólidos sobre os atributos físicos do estéril de mineração. Como o substrato

era um material completamente sem estrutura e de textura arenosa, os sete meses podem não ter sido suficientes para que se verificasse algum efeito de agregação no estéril. Alguns autores relatam serem necessários, no mínimo, seis meses para que alguma resposta da aplicação de material orgânico seja verificada na porosidade de um solo degradado (CAMPOS, 2008; SAMPAIO *et al.*, 2012). Embora esse tempo limite tenha sido alcançado, o substrato utilizado não era um solo e, considerando ainda os teores de argila, possivelmente um tempo maior fosse requerido.

Os resultados obtidos indicam que o estéril apresenta condições físicas e químicas ainda adversas, mesmo quando grande quantidade de material orgânico é utilizada. Uma vez finalizado o estudo, notou-se que o desenvolvimento radicular das espécies que conseguiram se estabelecer nas unidades experimentais restringiu-se à camada do inóculo, sendo verificadas raízes na parte do estéril apenas no contato com as paredes do compartimento utilizado (Figura 3).



Figura 3 – Detalhe do desenvolvimento radicular restrito à camada superficial coincidente com a aplicação do inóculo topsoil, havendo crescimento de raízes na camada subsuperficial composta pelo resíduo nas proximidades da parede do compartimento.

Um fato interessante observado durante a desmontagem do experimento foi o surgimento de mosqueados em algumas das unidades experimentais. Mosqueados são

indicativos de solos com má drenagem (TEIXEIRA; MACEDO; MARTINS, 2009). O tempo curto e os altos teores de ferro presentes no estéril, aliados à ausência de estrutura do material, podem ter contribuído para situações pontuais de drenagem deficiente, o que pode levar à formação rápida desses mosqueados (Figura 4).



Figuras 4 - Mosqueados encontrados em algumas unidades experimentais após o final do experimento.

Efeito dos tratamentos no processo de revegetação

À regeneração espontânea das plantas foi afetada pela aplicação dos dois inóculos. Ainda que em condições de campo possa haver dispersão de sementes pelo vento e pela ação de animais, o que poderia incrementar ainda mais para o enriquecimento de espécies, os resultados obtidos em casa de vegetação, onde tais processos não ocorrem, indicam que a utilização dos inóculos como banco de sementes contribuíram para o aparecimento de plantas (Quadro 2).

O processo de sucessão vegetal é lento e algumas plantas dependem do ambiente introduzido por outras para permitir sua germinação ou ainda de condições específicas como estresses diversos. Esses fatores podem ter contribuído para o pequeno número de plantas identificadas ao final do presente experimento. Também há de se considerar que os resultados apresentados (Quadro 2) são a média de cada unidade experimental, que apresentava apenas

0,024 m² de área superficial. Em trabalhos de campo, a área monitorada é maior, o que proporciona mais chances para o aparecimento de espécies.

Quadro 2: Variáveis vegetacionais obtidas após aplicação dos inóculos serapilheira e topsoil

	Serapilheira	Topsoil
NIND	2,34 b	3,12 a
NESP	1,8 b	2,82 a
H'	2,44 b	4,1 a

NIND: número de indivíduos; NESP: número de espécies; H': índice de Shannon. Médias de 50 repetições. Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo Teste Tukey ($p < 0,05$).

Entre as duas fontes de inóculos utilizados, o topsoil apresentou melhores resultados de regeneração vegetal do que a serapilheira. O tratamento topsoil era formado pela aplicação de uma camada superficial de solo associado com serapilheira, combinação essa que foi mais favorável à germinação das sementes.

O número de indivíduos (NIND) representa o número de plantas surgidas em cada unidade experimental. Os resultados apontam maior germinação quando utilizado o topsoil como fonte de inóculo, o que pode ser explicado pelo fato dele contribuir para armazenamento de água, contribuindo para a melhoria das condições de germinação das sementes. Essa mesma explicação pode ser associada à verificação de maior número de espécies (NESP) no tratamento topsoil.

A utilização isolada do número de indivíduos e, ou do número de espécies pode mascarar o efeito de tratamentos em avaliações de regeneração vegetal. Um aumento no número quantitativo proporcionado por essas variáveis pode não ser acompanhado do desejado incremento na biodiversidade. Neste sentido, alguns índices têm sido considerados neste tipo de estudo, como o índice de Shannon (H'), que é associado com a estimativa da diversidade de plantas, com menores valores de H' associados à baixa diversidade (URAMOTO *et al.*, 2005).

Entretanto, uma limitação do presente estudo foi a pequena área superficial das unidades

experimentais, o que pode ter contribuído com a pequena biodiversidade obtida (Quadro 2) em comparação com estudos de campo.

Ainda que se tenham obtidos baixos valores de H' , dentre os inóculos avaliados, o topsoil contribuiu mais para a biodiversidade vegetal, muito em decorrência de ter também proporcionado maior número de plantas e de espécies. Todas as 23 espécies que foram identificadas durante a condução do experimento encontram-se no Quadro 3. A maioria das plantas que surgiram foram espontâneas (87 %), uma vez que dominam a fase inicial de sucessão vegetal em locais com algum tipo de distúrbio. Duas outras espécies identificadas foram árvores, o eucalipto que é uma planta exótica, e a embaúba, uma espécie considerada pioneira em processos de regeneração natural da vegetação. E uma terceira espécie, a alpínia, trata-se de uma planta ornamental. Essas três espécies não espontâneas seguramente decorrem do fato de as áreas de coleta dos inóculos ser uma mata secundária, onde propágulos dessas espécies podem estar presentes.

O índice de Shannon (H') diz respeito a abundância das espécies, sendo quanto maior o valor do índice, maior a diversidade florística. Neste caso, o inóculo TOP teve melhor desempenho que o SER, uma vez que teve também maiores valores para NIND e NESP. Os índices de Shannon obtidos para os dois inóculos (Quadro 2) estão dentro da faixa de variação normalmente verificadas na avaliação da diversidade de espécies em campo, que fica entre 1, 5 e 3,5 segundo Magurran (1988). Isto indica que ambos os inóculos foram capazes de propiciar fontes de propágulos em número razoável e adequado, com potencial para o estágio inicial de sucessão vegetal.

Quadro 3: Plantas identificadas após a adição das fontes de inóculos topsoil e serapilheira

Nome popular	Nome científico	Número de indivíduos total	
		Topsoil	Serapilheira
Alpínia ¹	<i>Alpinia purpurata</i>	4	1
Assa-peixe	<i>Vernonia polysphaera</i>	1	6
Bucho-de-rã	<i>Physalis sp</i>	4	9
Corda-de-viola	<i>Ipomoea grandifolia</i>	2	3
Embaúba ²	<i>Cecropia pachystachya</i>	3	0
Erva-canudo	<i>Hyptis atrorubens Poit</i>	8	11
Eucalipto ²	<i>Eucalyptus spp</i>	1	0
Leiteiro	<i>Euphorbia heterophylla L.</i>	5	1
Macela	<i>Achyrocline satureioides</i>	3	4
Maria Pretinha	<i>Solanum americanum</i>	16	19
Melão de São Caetano	<i>Momordica charantia L.</i>	6	6
Picão	<i>Bidens pilosa</i>	5	2
Dinheiro-em-penca	<i>Pilea nummeilariifolia</i>	7	6
Quebra-pedra	<i>Phyllanthus niruri L.</i>	30	32
Saco de bode	<i>Physalis Angulata</i>	3	1
Samambaia	<i>Pleopeltis pleopeltifolia</i>	7	13
Serralhas	<i>Sonchus oleraceus L</i>	3	0
Solanun	<i>Solanum lycocarpum</i>	2	0
Tiririca	<i>Cyperus rotundus</i>	6	15
Trapoeraba	<i>Commelina erecta</i>	2	1
Trevo	<i>Trifolium repens L</i>	0	1
Urtiga	<i>Urtica dioica L</i>	8	13

¹ espécie ornamental. ² espécies arbóreas.

CONCLUSÕES

No estágio inicial da recuperação e revegetação de áreas mineradas, o uso dos inóculos serapilheira e topsoil associados com doses de bio sólidos doméstico e têxtil não é capaz de melhorar a qualidade física de estéril de mineração de ferro.

A utilização de serapilheira e, em especial, do topsoil, como bancos de sementes garante a revegetação de estéril de mineração de ferro, bem como favorece a diversidade de vegetais presentes nessas áreas degradadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. G.; TAVARES, S. R. L.; COUTINHO, H. L. C. Contribuição da serapilheira para a recuperação de áreas degradadas e para manutenção da sustentabilidade de sistemas agroecológicos. **Informe Agropecuário**, v.24. n. 220, p. 55 – 63. 2003.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 4, p. 565 – 580. 2006.

BARROS, I. T.; ANDREOLI, C. V.; DE SOUZA, I. G.; COSTA, C. S. Avaliação agrônômica de bio sólidos tratados por diferentes métodos químicos para aplicação na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15. 630p. 2011.

BEGOSSI, A. Use of ecological methods in Ethnobotany: diversity indices. **Economic Botany**, v.50, p. 280-289. 1996.

BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L.; PEREZ, D.V.; ANDRADE, A. G.; MENEGUELLI, N. A. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 469 – 476. 2006.

BRITO, A.S.; LIBARDI, P.L.; MOTA, J.C.A.; MORAES, S.O. Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p. 1939-1948. 2011.

CABRAL, M. A.; QUEIROZ, S. E. E. Uso do banco de sementes do solo como indicativo para recuperação de áreas degradadas. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 12, p.43 – 48. 2012.

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1389-1397. 2008.

DE MARIA, I. C.; KOCSSIS, M. A.; DECHEN, S. C. F. Agregação do solo em uma área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, v. 66, p. 291 – 298. 2007.

DEBOSZ, K., PETERSEN, S. O., KURE, L. K., AMBUS, P. Evaluating effects of sewage

sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. **Applied Soil Ecology**, v. 19, p. 237–248, 2002.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (eds). **Manual de métodos de análise do solo**. 2.ed. rev. Embrapa Solos. 230p. 2011 (Documentos, 132).

GARDNER, W. C.; NAETH, M.; BROERSMA, K.; CHANASYK, D. S.; JOBSON, A. M. Influence of biosolids and fertilizer amendments on element concentrations and revegetation of copper mine tailings. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 92, n. 1, p. 89-102, 2012.

GOLDBERG, S. C.; FORSTER, H. S. Flocculation of reference clays and arid-zone soil clays. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.54, p. 714-718. 1990.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 405 – 416. 2008.

MARCIANO, C. R. MORAES, S. O.; OLIVEIRA, F. C.; MATIAZZO, M. E. Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidráulica de um Latossolo Amarelo saturado e não-saturado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 1 – 9. 2001.

MAGURRAN, A. E. **Ecological diversity and its measurement**. Cambridge, Cambridge University Press. 179 p., 1988.

MELO, V. P.; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z. M.; CEMTURION, J. F.; MELO, W. J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólidos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 67 – 72. 2004.

MULUMBA, L. N.; LAL, R. Mulching effects on selected soil physical properties. **Soil and Tillage Research**, v. 98, n. 1, p. 106–111, 2008.

OBBARD, J.P.; SAUERBECK, D. R.; JONES, K. C. *Rhizobium leguminosarum* bv. *Trifolii* in soils amended with heavy metal contaminated sewage sludges. **Soil Biology and Biochemistry**, v.25, p. 227 – 231. 1993.

PAVINATO, P. S.; ROSOLIM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo – decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 911 – 920. 2008.

SALOMÃO, R. P.; ROSA, N. A.; MORAIS, K. A. C. Dinâmica da regeneração natural de árvores em áreas mineradas na Amazônia. **Ciências Naturais**. Belém, v. 2, n. 2, p. 85 – 139. 2007.

SAMPAIO, T. F.; GUERRINI, I. A.; BACKES, C.; HELIODORO, A.; RONCHI, H. S.; TANGANELLI, K. M.; CARVALHO, N. C.; OLIVEIRA, F. C. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeitos nas características físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.1637 – 1645. 2012.

SHIRALIPOUR, A.; MCCONNELL, D. B.; SMITH, W. H. Physical and chemical properties of soils as affected by municipal solid waste compost application. **Aerobic Composting and Compost Utilization** , v. 3, n. 3–4, p. 261–266, 1992.

SOUZA, M. D.; LIGO, M. A. V.; SKORUPA, L. A.; PIRES, A. M. M.; FILIZOLA, H. F.

Atributos físicos e químicos de área degradada tratada com lodo de esgoto. Embrapa Meio Ambiente. 6p. 2011. (Circular Técnica, 21)

TEIXEIRA, W. G.; MACEDO, R. S.; MARTINS, G. C. **A cor do solo: Interpretando as cores do solo com a finalidade de monitorar processos de recuperação em áreas degradadas.** Embrapa - Amazônia Ocidental. 2p. 2009.

TRANNIN, I. C. D. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Chemical and physical attributes of a soil treated with an industrial biosolid and cultivated with corn. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 223–230, 2008.

TISDALL, J. M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **European Journal of Soil Science**, v. 3, p. 141 – 163. 2004.

TRINDADE, A. V.; DIAS, A. C. P.; JUCKSCH, I. Efeito de resíduos urbanos e de fungos micorrízicos arbusculares no crescimento de capim-gordura *Melinis minutiflora* e cedro *Cedrela fissilis* em rejeito de mineração. **Revista Árvore**, v. 21, p. 575 – 582. 1997.

URAMOTO, K., WALDER, J. M. M. ZUCHI, R. A. Análise quantitativa e distribuição de espécies de *Anastrepha* (Diptera: Tephretidae) no Campus Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 33 – 39. 2005.

YUCEL, D.; YUCEL, C.; AKSAKAL, E. L. Impacts of biosolids application on soil quality under alternate year no-till corn-soybean rotation. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 226, n. 6, 2015.

CONCLUSÕES GERAIS

- A adição dos bio sólidos doméstico e têxtil contribui para com a melhoria da fertilidade de estéril de mineração de ferro. O bio sólido têxtil aumenta a retenção de água no mesmo estéril.
- O tempo de sete meses é curto para se verificar efeitos dos bio sólidos doméstico e têxtil nas características físicas do estéril de mineração de ferro.
- O uso do topsoil com fonte de inóculo supera o uso da serapilheira na revegetação de áreas mineradas.

RECOMENDAÇÕES FINAIS

Uma vez finalizado o presente trabalho, os resultados obtidos permitiram elencar as seguintes recomendações que, embora não tenham sido objeto de estudo, podem ser consideradas em estudos futuros:

- A disposição de biossólidos em solo apresenta potencial de melhoria das características físicas e químicas de estéril de mineração de ferro, ficando sua maior eficiência dependente da caleação executada no momento de seu deságue.
- À caleação foi atribuída a melhor qualidade do biossólido têxtil em comparação ao biossólido doméstico, o que determinou seu melhor desempenho pela correção do pH do estéril.
- Apesar de não se ter avaliado o desenvolvimento das plantas que emergiram, a utilização do biossólido têxtil associado à adição de topsoil aparentemente constitui combinação interessante para ensaios de campo com vistas à avaliação *in loco* da recuperação de áreas degradadas de mineração.
- Embora tenha se sobressaído em todas as avaliações efetuadas, o biossólido têxtil apresenta uma característica que pode ser um empecilho à sua disposição no solo. Os altos teores de Cr pode ser um fator limitante para sua utilização, em face dos valores máximos permitidos pela IN CONAMA 375/2006 que, embora regulamente o uso de biossólido doméstico, é frequentemente utilizada com referência nestes assuntos.

ANEXO

Capítulo 1

Quadro de Anova do experimento que considerou a aplicação de diferentes doses de dois biossólidos (doméstico e têxtil) em estéril de mineração de ferro.

FV	GL	QM				
		Ds	pH	EQU	CE	P
Blocos	2	0,000493 ns	0,05350 ns	0,00001 ns	445,6144 ns	8,6858
Biossólidos	1	000507**	0,03267ns	0,0012*	4989,0677***	1931,6025***
Dose	4	0,003442***	0,3061***	0,0007**	328204,9364***	580,2713***
Bio vs Dose	4	0,005462***	0,7146***	0,001**	7737,3351***	446,4411***
erro	18	0,000375	0,0311	0,000158	189,2338	6,3026
Total	29					
Dose/BD	4	0,00041 ns	0,9385***	0,00005 ns	189257,9462***	5,7305
Dose/BT	4	0,008493***	0,08221 ns	0,0017***	146684,3253***	1020,9819***
erro	18	0,000375	0,0311	0,0001	189,2338	6,3026

*** significativo (p<0,001), ** significativo (p<0,01), * significativo (p<0,05).

Ds: densidade do solo; EQU: equivalente de umidade; CE: condutividade elétrica

Capítulo 2

Quadro de Anova do experimento que considerou o uso de dois inóculos (serapilheira e topsoil) em associação com a aplicação de diferentes doses de dois biossólidos (doméstico e têxtil) em estéril de mineração de ferro.

FV	GL	K ₀	Ds	PT	Mi	Ma
Bloco	4	2 x 10 ⁻⁶	0.05*	0.0043*	0.0036	0,0003
Inóculo (I)	2	4.6 x 10 ⁻⁷	0.0048	0.0003	0.353	0,0008
Biossólido (B)	1	1.9 x 10 ⁻⁵	0.011	0.0009	0.0574	0,0002
Dose (D)	4	3 x 10 ⁻⁶	0.016	0.0012	0.011	0,0008
B x I	2	6.8 x 10 ⁻⁷	0.014	0.0.001	0.018	0,0000
B x D	4	2 x 10 ⁻⁶	0.047	0.0035	0.0065	0,0004
I x D	8	3 x 10 ⁻⁶	0.0242	0.0018	0.0148	0,0008
B x I x D	8	2 x 10 ⁻⁶	0.0279	0.0021	0.0072	0,0009 ^o
Erro	116	3 x 10 ⁻⁶	0.0195	0.0015	0.0083	0,0005
Total	149					

^o significativo (p<0,1)

K₀ = condutividade hidráulica em meio saturado; PT: porosidade total; Mi: microporosidade, Ma: macroporosidade