

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO NA
VERMICOMPOSTAGEM E COMO SUBSTRATO
PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Pinus elliottii*
Engelm**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Guilherme Karsten Schirmer

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO NA
VERMICOMPOSTAGEM E COMO SUBSTRATO PARA A
PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Pinus elliottii* Engelm**

por

Guilherme Karsten Schirmer

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

Orientadora: Prof^ª Dra. Zaida Inês Antonioli

Santa Maria, RS, Brasil

2010

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO NA VERMICOMPOSTAGEM E
COMO SUBSTRATO PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Pinus
elliottii* Engelm**

elaborada por
Guilherme Karsten Schirmer

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

Rodrigo Josemar Seminoti Jacques, Dr (UFSM)
(Co-orientador)

Rodrigo Ferreira da Silva, Dr (UFSM-CESNORS)

Santa Maria, 24 de fevereiro de 2010

*"Se amanhã você quiser ser um grande profissional,
comece hoje sendo um grande aprendiz."*

(Inácio Dantas)

DEDICO em especial à Elisete e Anália, minha mãe e avó, sem este suporte não chegaria a lugar algum.

OFEREÇO à minha namorada Luciane, desde o início de minha vida acadêmica ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

À Deus.

Aos meus pais Vilmar e Elisete e ao meu irmão Filipe pelo apoio e confiança depositada em mim.

À minha namorada Luciane pelo amor, carinho e companheirismo e pelo seu apoio mesmo nas horas mais difíceis.

À toda a minha família e à família da minha namorada pelo incentivo, em especial a minha avó materna pela ajuda sempre que necessário.

À UFSM, ao PPGCS e ao Departamento de Solos e os seus professores, pelo conhecimento adquirido.

À professora Zaida Inês Antonioli, pela orientação, ensinamentos, amizade e confiança depositada em mim.

Ao professor Rodrigo Jacques pelas idéias e sugestões durante o curso e pela amizade.

À professora Vetúria Lopes de Oliveira e à Universidade Federal de Santa Catarina pelo estágio concedido e doação de isolados de fungos ectomicorrízicos.

A Capes, pela Bolsa de Estudo concedida.

Aos bolsistas e amigos do Laboratório de Microbiologia Agrícola e Biologia do Solo, pelos momentos de trabalho, amizade e diversão, em especial a meu irmão Filipe Karsten Schirmer, Daniel Pazzini, Sabrina Dahmer e Matheus Pontelli.

A aluna de graduação em Zootecnia Mariângela Facco de Sá e a professora Valéria Maria Lara Carregar por viabilizarem as análises microbiológicas em seu laboratório.

Aos amigos e colegas de laboratório, Ricardo Benfica Steffen, Gerusa Pauli Kist Steffen, Antônio Carlos Bassaco, Manuelli Lupatini, e todos que de alguma forma participaram da elaboração deste trabalho, pelo companheirismo e amizade de sempre.

À banca examinadora deste trabalho, composta pelos professores Rodrigo Josemar Seminoti Jacques, Rodrigo Ferreira da Silva e Zaida Inês Antonioli, pelas considerações e sugestões.

Aos colegas Marciel Redin, Stefen B. Pujol, Alexandre Doneda, Marcelo Sulzbacher e Eduardo Lorensi pelo apoio, companheirismo e incentivo em todos os momentos do curso.

Aos amigos de curso pela amizade, pelas sugestões de trabalho, discussões, grupo de estudos e verdadeiro companheirismo.

Aos amigos, de longe em especial à Andrea Hentz de Mello.

Aos funcionários do Departamento de Solos e do PPGCS, Flávio Vieira da Silva, Tarcísio Durgante Uberti, pela ajuda nos momentos de dificuldade, pela amizade e pelos momentos de descontração.

Agradeço as demais pessoas que, mesmo não citadas, contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho.

Muito obrigado!

"Quando chegar ao cume da sua própria montanha, siga subindo."

(Koan Zen)

"Terminado o jogo, o rei e o peão voltam a mesma caixa."

(Provérbio Italiano)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria, RS.

UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO NA VERMICOMPOSTAGEM E COMO SUBSTRATO PARA A PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Pinus elliottii* Engelm

AUTOR: GUILHERME KARSTEN SCHIRMER

ORIENTADORA: ZAIDA INÊS ANTONIOLLI

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 24 de fevereiro de 2010.

O crescimento populacional urbano causa um aumento consideravelmente a quantidade de resíduos sólidos e líquidos produzidos pelo homem. Uma alternativa viável para o aproveitamento destes resíduos seria sua aplicação no meio agrícola. O lodo de esgoto doméstico pode se enquadrar como um destes resíduos. No município de Santa Maria/RS, uma estação de tratamento de esgoto coleta e trata um esgoto predominantemente doméstico. Embora este resíduo possa ser utilizado na agricultura, pode conter organismos patogênicos como coliformes e helmintos, atrair vetores e possuir odor desagradável. No presente trabalho teve-se por objetivos: 1) estudar a viabilidade da utilização do processo de vermicompostagem como pós-tratamento do lodo de esgoto; 2) avaliar o uso do lodo de esgoto, puro ou em misturas, como substrato para produção de mudas de *Pinus elliottii* micorrizadas. No primeiro estudo analisou-se o efeito do lodo de esgoto na reprodução das minhocas da espécie *Eisenia andrei*, além de avaliar a ação das minhocas sobre a população de nematóides e coliformes fecais presentes no resíduo, num período de 21 semanas. O segundo estudo testou-se, em casa de vegetação, o uso do lodo de esgoto como substrato de crescimento para mudas de pinus inoculadas com o isolado ectomicorrízico UFSC Sc 124, onde ao final de 80 dias avaliaram-se as fitomassas seca da parte aérea e raiz, altura, diâmetro de colo, índice de qualidade de Dickson e percentual de colonização micorrízica. A utilização do lodo de esgoto foi viável como substrato para multiplicação de minhocas da espécie *Eisenia andrei*. A presença de minhocas no lodo de esgoto reduziu a população de nematóides de vida livre presentes no resíduo. A quantidade de coliformes fecais no lodo de esgoto reduziu, permanecendo dentro dos parâmetros estabelecidos por lei, entretanto não foi verificada influência das minhocas no processo. A utilização do lodo de esgoto em mistura com turfa fértil proporcionou crescimento satisfatório das mudas de *P. elliotti*, inoculadas com o isolado de fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124, nas condições em que o experimento foi conduzido. O lodo de esgoto melhorou as condições físicas do substrato F, aumentando a qualidade das mudas de *P. elliotti*. O uso do lodo de esgoto como substrato para multiplicação de minhocas e produção de mudas de *P. elliotti* micorrizadas é viável.

Palavras-chave: Resíduo sólido, higienização, produção florestal.

ABSTRACT

Master Dissertation in Soil Science
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brazil

USE OF SEWAGE SLUDGE IN VERMICOMPOSTING AND AS SUBSTRATE FOR *Pinus elliottii* Engelm SEEDLINGS PRODUCTION

AUTHOR: GUILHERME KARSTEN SCHIRMER

ADVISOR: ZAIDA INÊS ANTONIOLLI

Date and Place of Defense: Santa Maria, February 24, 2010.

The urban population growth causes an increase in solid and liquid waste quantity produced by man. A viable alternative to use of these wastes would be its application in agricultural sector. The sewage sludge can fall as one of these residues. In Santa Maria/RS, a wastewater treatment plants collection a predominantly domestic sewage. Although this residue can be used in agriculture, may contain pathogens such as coliforms and helminth, attract vectors and have an unpleasant odor. In the present work had as objectives: 1) study the feasibility of using the vermicomposting process as treatment of sewage sludge, 2) evaluate the use of sewage sludge, pure or in mixtures, as a substrate to *Pinus elliottii* mycorrhizal seedling production. In first study examined the effect of sewage sludge in reproduction of earthworms *Eisenia andrei*, and evaluate the effect of earthworms on population of nematodes and faecal coliforms present in residue, over a period of 21 weeks. The second study was tested in greenhouse, the use of sewage sludge as substrate for growing pine seedlings inoculated with isolate UFSC ectomycorrhizal Sc 124, where the end of 80 days evaluated the dry matter of shoot and root, height, collar diameter, Dickson index quality and percentage colonization. The use of sewage sludge was acceptable as a substrate for multiplication of earthworms *Eisenia andrei*. The presence of earthworms in sewage sludge reduced the population of free-living nematodes present in residue. The amount of fecal coliform in sewage sludge reduced, remaining within the parameters established by law, however there was no effect of earthworms in the process. The use of sewage sludge mixed with peat fertile satisfactory growth of *P. elliottii* seedlings, inoculated with the ectomycorrhizal fungus UFSC Sc 124, the conditions under which experiment was conducted. Sewage sludge improved the physical conditions of the substrate F, increasing the quality of seedlings of *P. elliottii*. The use of sewage sludge as substrate for multiplication of earthworms and production of *P. elliotti* mycorrhizal seedlings is feasible.

Keywords: Solid waste, higienization, forestry production.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Instalações da Estação de Tratamento de Esgotos de Santa Maria (ETESM), etapa de separação de detritos grosseiros (a), tratamento biológico nos tanques de aeração (b), separação de sólidos e líquidos no decantador (c) e processo de diminuição da umidade do lodo em leitos de secagem (d). Santa Maria – RS, 2008. (Foto: Guilherme Karsten Schirmer)	21
FIGURA 2 - Esquema do trabalho realizado sobre a utilização de lodo de esgoto como substrato para a multiplicação de <i>E. andrei</i> e produção de mudas de <i>Pinus elliottii</i> Engelm..	25
FIGURA 3 – Vegetação sobre o lodo de esgoto depositado em leitos de secagem na Estação de Tratamento de Esgotos de Santa Maria/RS. (Foto: Guilherme Karsten Schirmer)	32
FIGURA 4 – População de nematóides de vida livre obtidos nos tratamentos à base de lodo de esgoto com (LEcM) e sem (LEsM) minhocas da espécie <i>Eisenia andrei</i> , no início, 7 ^a , 14 ^a e 21 ^a semana do experimento. Diferença mínima significativa (DMS) em nematóides g ⁻¹ base seca de, 72,5 entre semanas e 53,7 entre tratamentos.....	46
FIGURA 5 – População de nematóides de vida livre obtidos nos tratamentos para multiplicação das minhocas da espécie <i>Eisenia andrei</i> , nos substratos a base de lodo de esgoto (LE), esterco bovino (EB) e casca de arroz (CA), no início, na 7 ^a , 14 ^a e 21 ^a semana do experimento. Diferença mínima significativa (DMS) em nematóides g ⁻¹ base seca, de 54,1 entre semanas e 57,7 entre substratos.	49
FIGURA 6 – Relação entre índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de <i>Pinus elliottii</i> e densidade seca dos substratos a base de lodo de esgoto (LE), Turfa fértil (TF), vermicomposto de esterco bovino (VEB) e substrato F (F). a) TF, b) LE:TF 1:3, c) LE:TF 1:1, d) VEB, e) LE:TF 3:1, f) LE, g) LE:F 3:1, h) LE:F 1:1, i) LE:F 1:3 e j) F.....	83
FIGURA 7 – Índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de <i>Pinus elliotti</i> em relação à porcentagem de lodo de esgoto nos substratos turfa fértil (a) e substrato F (b), aos 80 dias após transplante para tubetes em casa de vegetação.....	84

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Número de casulos, minhocas adultas, jovens e índice de multiplicação obtidos nos tratamentos à base de lodo de esgoto (LE), esterco bovino (EB) e casca de arroz (CA), na 21ª semana de experimento.	41
TABELA 2 – Biomassas frescas e secas de minhocas adultas, biomassa fresca e seca por minhoca adulta obtidas nos tratamentos à base de lodo de esgoto (LE), esterco bovino (EB) e casca de arroz (CA), na 21ª semana de experimento.	44
TABELA 3 – Biomassas fresca e seca de minhocas jovens, biomassa fresca e seca por minhoca jovem obtidas nos tratamentos à base de lodo de esgoto (LE), esterco bovino (EB) e casca de arroz (CA), na 21ª semana de experimento.	45
TABELA 4 – Análise de variância para os efeitos de minhocas da espécie <i>Eisenia andrei</i> na densidade de nematóides de vida livre durante a vermicompostagem de lodo de esgoto.	47
TABELA 5 – Análise de variância para o efeito dos substratos na densidade de nematóides de vida livre durante a vermicompostagem de lodo de esgoto.	50
TABELA 6 – Número mais provável de coliformes fecais (NMPCF) obtidos nos tratamentos à base de lodo de esgoto com (LEcM) e sem (LEsM) minhocas, casca de arroz (CA) e esterco bovino (EB), no início, 7ª e 14ª semana do experimento.	51
TABELA 7 – Características químicas dos substratos utilizados para multiplicação das minhocas, Início (I) e Final (F) do período de 21 semanas de ação das minhocas.	53
TABELA 8 – Características químicas dos substratos utilizados para produção de mudas de <i>P. elliotii</i>	72
TABELA 9 – Porcentagem Porosidade total (PT), sólidos, macroporosidade (MaP), microporosidade (MiP), água disponível (AD), água remanescente (AR), densidade seca (DS) e espaço de aeração (EA) dos substratos em relação ao volume.	75
TABELA 10 – Altura e diâmetro de colo das mudas de <i>Pinus elliotii</i> produzidas em substratos a base de lodo de esgoto, turfa fértil, vermicomposto de esterco bovino e substrato F, inoculados e não inoculados com fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124 (<i>Scleroderma citrinum</i>), aos 80 dias após transplante para tubetes em casa de vegetação.	77
TABELA 11 – Fitomassa seca da parte aérea (FSPA), raiz (FSR) e colonização micorrízica (CM) das mudas de <i>Pinus elliotii</i> crescidas em substratos a base de lodo de esgoto (LE), Turfa fértil (TF), vermicomposto de esterco bovino (VEB) e substrato F (F), inoculadas ou	

não com o fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124 (<i>Scleroderma citrinum</i>) aos 80 dias após transplante para tubetes em casa de vegetação.....	79
TABELA 12 – Índice de qualidade de Dickson (IQD) para mudas de <i>Pinus elliottii</i> crescidas em substratos a base de lodo de esgoto (LE), Turfa fértil (TF), vermicomposto de esterco bovino (VEB) e substrato F (F), inoculadas ou não com o fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124 (<i>Scleroderma citrinum</i>) aos 80 dias após transplante para tubetes em casa de vegetação.	82
TABELA 13 – Relação entre índice de qualidade de Dickson e quantidade de lodo de esgoto nos substratos turfa fértil e substrato F, para mudas inoculadas ou não com o fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124 (<i>Scleroderma citrinum</i>) aos 80 dias após transplante para tubetes em casa de vegetação.	85

RELAÇÃO DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Altura
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AD	Água disponível
Al	Alumínio
AR	Água remanescente
C	Carbono
Ca	Cálcio
°C	Graus Celsius
CL	Caldo Lactose
cm	Centímetros
cm ³	Centímetro cúbico
cmol _c dm ⁻³	Centimol carga por decímetro cúbico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CTC	Capacidade de troca catiônica
Cu	Cobre
CV	Coefficiente de variação
DAT	Dias após transplante
DC	Diâmetro de colo
EA	Espaço de aeração
EC	Caldo <i>Escherichia coli</i>
EPA	Environmental Protection Agency
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FEPAGRO	Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária
g	Gramas
g dm ⁻³	Gramas por decímetro cubico
ha	hectare
hPa	hectopascal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IQD	Índice de qualidade de Dickson
IM	Índice de multiplicação
K	Potássio
LE	Lodo de esgoto
MaP	Macroporosidade
mg dm ⁻³	Miligrama por decímetro cúbico
Mg	Magnésio
mg kg ⁻¹	Miligrama por quilogramas
min	Minutos
MiP	Microporosidade
mL	Mililitro
mm	Milímetros
MNM	Melin-Norkrans Modificado
FMSPA	Fitomassa seca parte aérea
FMSR	Fitomassa seca raiz
FMST	Fitomassa seca total
N	Nitrogênio
n°	Número
NMP	Número mais provável
NMPCF	Número mais provável de coliformes fecais
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
PT	Porosidade total
rpm	Rotações por minuto
RS	Rio Grande do Sul
Sc	Scleroderma
TF	Turfa fértil
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
USEPA	United States Environmental Protection Agency
v:v	Volume por volume
VEB	Vermicomposto de esterco bovino
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
Estudo I	
EFEITO DO LODO DE ESGOTO NA POPULAÇÃO DE MINHOCAS, NEMATÓIDES E MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS DURANTE PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM	30
1 RESUMO	30
2 INTRODUÇÃO	31
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 Substratos	34
3.2 Unidades experimentais	34
3.3 Etapa 1: Viabilidade do lodo de esgoto como substrato para produção de minhocas	35
3.3.1 Avaliações	35
3.4 Etapa 2: Influência da vermicompostagem na qualidade biológica e química do vermicomposto a base de lodo de esgoto.....	36
3.4.1 População de nematóides.....	36
3.4.1.1 Coleta das amostras	37
3.4.1.2 Extração e contagem de nematóides	37
3.4.2 Determinação da presença de coliformes fecais (<i>Escherichia coli</i>).....	38
3.4.2.1 Coleta das amostras	38
3.4.2.2 Determinação de coliformes fecais (<i>Escherichia coli</i>)	39
3.4.3 Qualidade química dos substratos.....	39
3.4.3.1 Coleta e preparo das amostras.....	39
3.4.3.2 Avaliações	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Etapa 1: Viabilidade do lodo de esgoto como substrato para produção de minhocas	41

4.2 Etapa 2: Influência da vermicompostagem na qualidade biológica e química do vermicomposto a base de lodo de esgoto.....	46
4.2.1 População de nematóides.....	46
4.2.2 Presença de coliformes fecais (<i>Escherichia coli</i>)	51
4.4 Qualidade química dos substratos.....	53
5 CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
Estudo II	
LODO DE ESGOTO COMO SUSTRATO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Pinus elliottii</i> Engelm INOCULADAS COM FUNGO ECTOMICORRÍZICO.....	62
1 RESUMO	62
2 INTRODUÇÃO	63
3 MATERIAL E MÉTODOS	66
3.1 Localização do experimento.....	66
3.2 Substratos de produção das mudas	66
3.3 Unidades experimentais	66
3.4 Isolado ectomicorrízico	67
3.5 Sementes.....	67
3.6 Cultivo das mudas	68
3.7 Caracterização química dos substratos.....	68
3.8 Caracterização física dos substratos.....	68
3.9 Avaliações	69
3.9.1 Altura e diâmetro do colo das mudas	70
3.9.2 Fitomassa seca de raiz e parte aérea das mudas	70
3.9.3 Colonização micorrízica	70
3.9.4 Índice de qualidade de mudas	71
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4.1 Parâmetros químicos dos substratos	72
4.2 Parâmetros físicos dos substratos	73
4.3 Altura e diâmetro de colo.....	77

4.4 Fitomassa seca da parte aérea, raiz e colonização micorrízica	78
4.5 Índice de qualidade das mudas	81
5 CONCLUSÕES	86
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

1 INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento populacional urbano favorece inevitavelmente o aumento na cadeia produtiva agrícola e industrial, devido ao maior consumo de produtos agrícolas e industrializados, aumentando consideravelmente a quantidade de resíduos sólidos e líquidos produzidos pelo homem. Isto se constitui em um dos principais problemas ambientais enfrentados pela humanidade, que se agrava principalmente, pela reduzida disponibilidade de áreas aptas para sua disposição final (LANGE et al., 2002). Uma alternativa viável para o aproveitamento destes resíduos seria sua aplicação no meio agrícola (ANDREOLI et al., 1998).

O esgoto doméstico pode se enquadrar como um destes resíduos (ALVES et al., 1999), onde em muitos casos não recebe prévio tratamento antes de ser lançado em cursos d'água. No Brasil, segundo dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do ano de 2000 (IBGE, 2002), 52,2 % dos municípios possuem serviço de esgotamento sanitário, porém apenas 20,2 % destes coletam e tratam o esgoto.

Os esgotos sanitários são considerados tratados quando recebem, antes de serem lançados nos cursos d'água receptores, pelo menos o tratamento secundário, que consiste em remover o material grosseiro, da matéria orgânica particulada e de parte da matéria orgânica dissolvida do efluente (IBGE, 2004), basicamente separando a fração sólida da líquida. Com a implantação de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), grande quantidade de lodo é gerada, gerando um resíduo que ainda pode concentrar grande parte dos contaminantes orgânicos, inorgânicos e organismos patogênicos contidos no esgoto bruto. Entretanto, esse sólido remanescente do processo de tratamento também é rico em matéria orgânica, macro e micronutrientes (MELO; MARQUES, 2000), que se manejado corretamente pode tornar-se um ótimo fertilizante orgânico (MELO et al., 1994; VANZO et al. 2001).

A utilização desse material para uso agrícola é normatizada por lei, prescrita pela resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2006), que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Além da resolução CONAMA nº 375, a Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 10004 (2004) estabelece uma classificação para resíduos sólidos, que os enquadra em duas classes, podendo

ser enquadrados como classe I considerados perigosos e classe II não perigosos, para esta segunda classificação são divididos em inertes (B) e não inertes (A).

Resíduos classe I apresentam fortes restrições quanto a seu uso agrícola, por possuírem características tais como: patogenicidade, reatividade, corrosividade, inflamabilidade e toxicidade. Estes são oriundos principalmente de materiais advindos do setor industrial, que geralmente apresentam teores de metais elevados quando comparados com lodos de origem doméstica (SILVEIRA et al., 2003). Outro exemplo de resíduos potencialmente perigosos são os hospitalares, devido à presença de agentes patogênicos (LUZ; GUIMARÃES, 1972; FERREIRA, 1995).

O lodo, quando proveniente de ETEs destinadas a tratamento de esgoto doméstico, são enquadrados como resíduos classe II A ou até mesmo B, que permite seu uso com maior segurança na agricultura. Isto é possível desde que o resíduo seja avaliado quanto ao seu valor agrônomico, e sejam respeitados os limites de uso, determinando os potenciais impactos de sua aplicação sobre atributos do solo, para que atenda critérios técnicos e de segurança à saúde humana e ambiental, estabelecidos para o uso agrícola deste tipo de material (TRANNIN et al., 2008).

No município de Santa Maria/RS, uma ETE administrada pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), coleta o esgoto predominantemente doméstico de parte da cidade. Emprega o sistema de lodo ativado para o tratamento do esgoto bruto. Este método de tratamento baseia-se em duas etapas: Primeiramente a separação de materiais mais grosseiros (Figura 1a.), com posterior envio do material para tanques de aeração (Figura 1b.), onde o efluente passa por um tratamento biológico, que permite o contato íntimo da matéria orgânica com os microrganismos por várias horas, na presença de oxigênio e agitação, levando a sua decomposição. Após o material é conduzido para o decantador (Figura 1c.), onde a fração sólida é separada da líquida e esta é descartada no corpo d'água receptor. Parte dos sólidos voltam para o tanque de aeração, e o excesso é descartado em leitos de secagem (Figura 1d.), formando assim o lodo de esgoto.



Figura 1 – Instalações da Estação de Tratamento de Esgotos de Santa Maria (ETESM), etapa de separação de detritos grosseiros (a), tratamento biológico nos tanques de aeração (b), separação de sólidos e líquidos no decantador (c) e processo de diminuição da umidade do lodo em leitos de secagem (d). Santa Maria – RS, 2008. (Foto: Guilherme Karsten Schirmer)

Diariamente são geradas grandes quantidades de lodo com aproximadamente 20 toneladas em base úmida (KLUSENER FILHO et al., 2009) que em varias ocasiões permanece recirculando em excesso no sistema de tratamento biológico por não poder ser descartado nos leitos de secagem, que permanecem sobrecarregados pelo não reaproveitamento deste material para uso agrícola, e isso acaba reduzindo a eficiência do processo de tratamento, gerando um lodo com baixa qualidade (VON SPERLING et al., 2001).

Embora o lodo ainda possa ser utilizado na agricultura, pode conter organismos patogênicos como coliformes e helmintos, atrair vetores e possuir odor desagradável (EPA, 1994), que dificulta o seu manuseio. Em alguns casos pode-se passar por uma terceira fase de tratamento do lodo produzido, chamado de pós-tratamento ou higienização (CORRÊA et al., 2007).

Entre os processos de higienização podem ser citados, a calagem e a compostagem. A primeira visa elevar o pH e temperatura do material, promovendo sua estabilização e desinfecção, reduzindo o problema do odor. O processo aumenta a porosidade do produto final e o efeito residual do cálcio no solo é benéfico atuando como condicionador, elevando o pH, o que é favorável para solos ácidos (ANDREOLI et al., 1998). Já a compostagem é um processo de tratamento biológico onde vários grupos de microrganismos agem sobre o material, inicialmente microrganismos termófilos fazem com que a temperatura do meio se mantenha entre 55 – 65°C por vários dias, reduzindo os microrganismos patogênicos no lodo. Em seguida, a temperatura decresce gradualmente à do ambiente e desenvolve-se um período de maturação ou humificação que dura cerca de 60 dias. O processo gera um produto final úmido, escuro, de odor semelhante ao de bolor, possibilitando fácil manuseio, denominado composto (FERNANDES et al., 1996).

Uma variante da compostagem é a vermicompostagem de resíduos orgânicos, que envolve a ação das minhocas sobre o resíduo orgânico (ANTONIOLLI et al., 2002), em conjunto aos microrganismos. Durante o processo as minhocas exercem uma função mais mecânica, triturando o material, sendo os microrganismos presentes naturalmente em seus intestinos responsáveis pela ação bioquímica sobre o resíduo (BIDONE; POVINELLI, 1999). Este processo apresenta vantagens quando comparado a compostagem, pois diminui o tempo para obtenção do húmus, minimizando as perdas de nutrientes, além de possibilitar a obtenção de um material mais homogêneo (NDEGWA; THOMPSON, 2001).

Dentre as espécies de minhocas utilizadas na vermicompostagem em cativeiro de resíduos orgânicos, destacam-se as exóticas *Eisenia fetida* Savigny (1826) e *E. andrei* Bouché (1972) que habitam ambientes ricos em material orgânico, não sobrevivendo em solos tropicais como as espécies nativas. Estes organismos podem ser utilizados também na alimentação de animais, como iscas para a pesca, e ainda produzirem um húmus de qualidade (STEFFEN, 2008). Além disso, características como, crescimento rápido, elevada prolificidade, resistência e adaptabilidade às condições de cativeiro justificam sua utilização na atividade da minhocultura (AQUINO; NOGUEIRA, 2001).

Os produtos do tratamento de águas servidas como o lodo de esgoto, e produtos da higienização deste lodo, via compostagem e vermicompostagem, podem ser úteis no meio agrícola como visto anteriormente. Além disso, uma forma eficiente de utilizá-lo é como substrato na produção de mudas florestais (MAIA, 1999; CALDEIRA et al., 2001). Existe uma grande demanda por produtos florestais no mundo, crescente a cada ano, seja para produção de matéria prima para indústria moveleira, com uso de madeira serrada, chapas, aglomerados, ou para outros fins como celulose e papel, resinas e óleos essenciais, bem como para preservação ambiental.

O Brasil, possui 5,74 milhões ha com plantações florestais, sendo 1,82 milhões com áreas de pinus, o que demonstra a importância econômica desta espécie exótica (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, 2007). Nesse contexto, o pinus surge como uma das principais essências florestais, devido ao seu potencial produtivo, grande número de espécies que proporcionam adaptabilidade a diversas condições climáticas (SHIMIZU, 2008), além de seu produto prestar-se para a maioria das aplicações do mercado.

Porém, para possibilitar este incremento de produtividade, se faz necessário o uso de insumos em grandes quantidades, tanto na produção de mudas, com gastos na aquisição de substratos comerciais (GOMES et al., 1991), como após o transplante, devido à necessidade de adubações (VALERI et al., 1993), pela baixa disponibilidade de nutrientes nos solos onde são realizados os plantios. Com isso os custos de produção são onerados, além de caracterizar um problema de custo ambiental. Por isso, torna-se importante a utilização de insumos alternativos e o desenvolvimento biotecnológico visando incremento sustentável na produção de pinus.

Um fator importante na produção de pinus é sua dependência quanto à relação mutualística entre planta e fungos ectomicorrízicos (MOLINA; TRAPPE, 1984; MIKOLA, 1973). Onde o fungo se beneficia da simbiose por receber da planta carboidratos formados durante a fotossíntese assim como outras moléculas sintetizadas no metabolismo vegetal, por outro lado, a planta beneficia-se pelo aumento da absorção de nutrientes inorgânicos como fósforo (P), nitrogênio (N) e potássio (K) (GLOWA et al., 2003; SMITH; READ, 1997), além de maior aproveitamento de água, conferindo maior resistência à seca (DUDDRIDGE et al., 1991), à acidez por serem mais tolerantes à presença de alumínio, maior tolerância a condições de toxidez do solo, temperaturas elevadas e proteção do sistema radicular contra patógenos (SMITH; READ, 1997; MARX; CORDELL, 1989).

Com isso, contribuem para o estabelecimento e desenvolvimento das plantas após transplante (MELLO, 2006), mesmo em solos com baixos teores de nutrientes como os

utilizados para produção florestal em geral (MARK; CORDELL, 1989), demonstrando o grande potencial biotecnológico destes microrganismos na produção de mudas florestais.

A vista do exposto, o trabalho buscou estudar a utilização do lodo de esgoto gerado na ETESM como substrato para multiplicação de minhocas da espécie *E. andrei*, caracterizando-o química, física e biologicamente, utilizando a vermicompostagem como tratamento de higienização do material, assim como avaliar o aproveitamento do lodo como substrato para produção de mudas de *Pinus elliottii* Engelm micorrizadas (Figura 2).

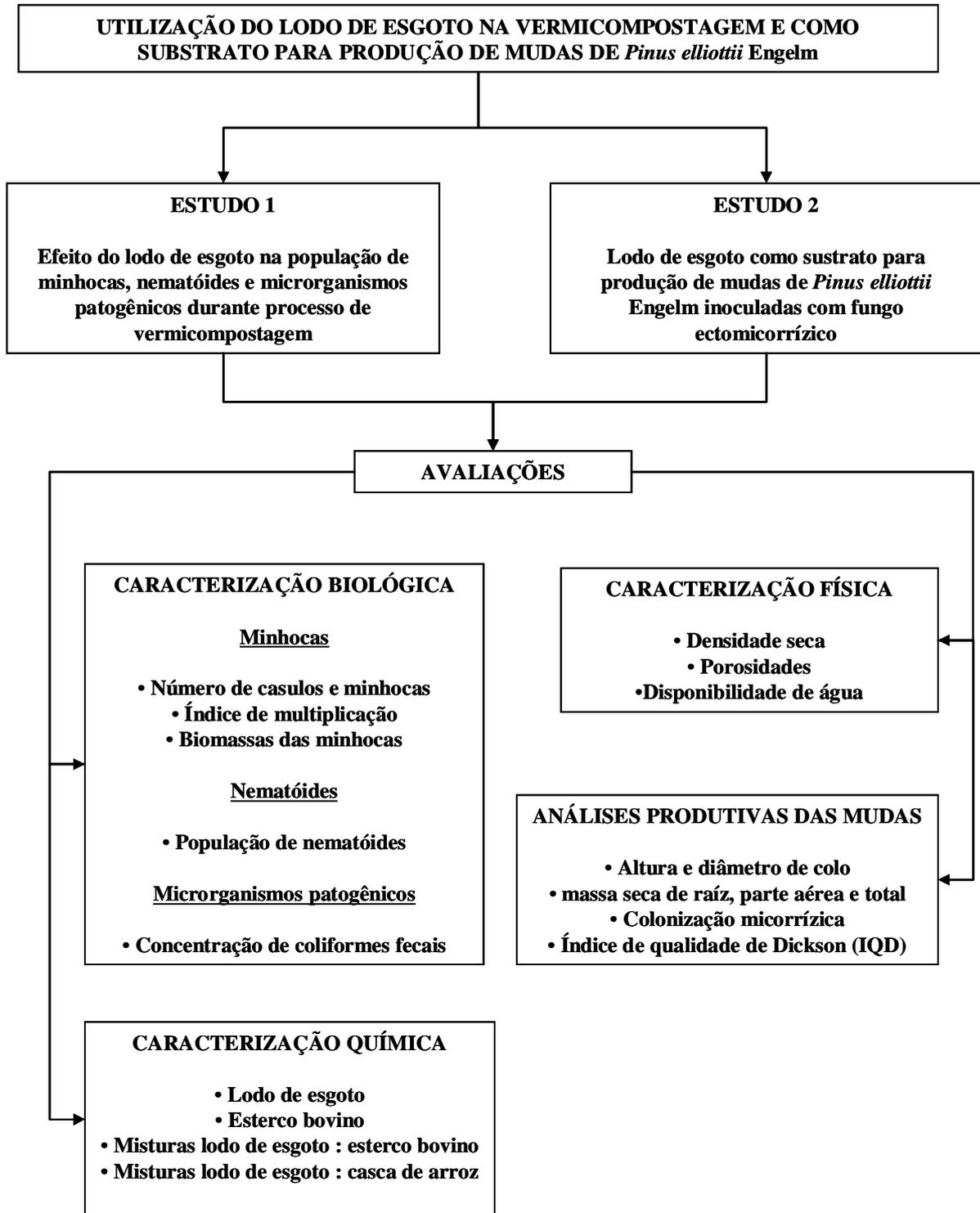


Figura 2 - Esquema do trabalho realizado sobre a utilização de lodo de esgoto como substrato para a multiplicação de *E. andrei* e produção de mudas de *Pinus elliottii* Engelm.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, W.L.; MELO, W.J.; FERREIRA, M.E. Efeito do composto de lixo urbano em um solo arenoso e em plantas de sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.729-736, 1999.
- ANDREOLI, C. V. et al. Gestão dos Biossólidos Gerados em Estações de Tratamento de Esgoto Doméstico. **Engenharia e Construção**, Curitiba, n. 24, 1998.
- ANTONIOLLI, Z. I. et al. **Minhocultura e vermicompostagem**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: Departamento de Solos, 2002. 24 p. (Boletim Técnico; 3).
- AQUINO, A. M.; NOGUEIRA, E. M. **Fatores limitantes da vermicompostagem de esterco suíno e de aves e influência da densidade populacional das minhocas na sua reprodução**. Seropédica: Embrapa agrobiologia, 2001. 10 p. (Documentos EMBRAPA; 147).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 20034.
- BIDONE, F. R. A; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos: EESC/ USP, 1999.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 375/2006, de 30 de agosto de 2006** – In: Resoluções, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br> Acesso em: 09. set. 2009.
- CALDEIRA, M. V. W. et al. Influência de vermicomposto na produção de mudas de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.1, n.3, p. 47-53, 2003.
- CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F.; CORRÊA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.4, p.420-426, 2007.
- DUDDRIDGE, J.A.; MALIBARI, A.; READ, D.J. Structure and function of mycorrhizal rhizomorphs with special reference to their role in water transport. **Nature**, Chicago, n. 287,p. 232-238, 1991.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **A plain english guide to the EPA part 503 biosolids rule.** Washington, DC : EPA, 1994. 176 p.

FERREIRA, J. A. Resíduos Sólidos e Lixo Hospitalar: Uma Discussão Ética. **Cad. Saúde Públ.**, Rio de Janeiro, v. 11 n. 2, p. 314-320, 1995.

FERNANDES, F. et al. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE-Belém com vista a seu uso agrícola. **Sanare**, Curitiba, v.5, n.5, p. 46-58, 1996.

GLOWA, K. R.; AROCENA, J. M.; MASSICOTTE, H. B. Extraction of potassium and/or magnesium from selected soil minerals by *Piloderma*. **Geomicrobiology Journal**, New York, v. 20, n. 2, p. 99-111, 2003.

GOMES, J. M. et al. Efeitos de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden, em Win-Strip. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 35-41, 1991.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**: 2000. Departamento de Populações e Indicadores Sociais, Rio de Janeiro, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores de desenvolvimento nacional**: 2004, Rio de Janeiro, 2004.

LANGE, L. C. et al. Estudo comparativo de metodologias para análise físico-químicas de resíduos sólidos urbanos. In: CASTILHOS JUNIOR, A. B. et al. **Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades**: Coletânea de trabalhos técnicos. Rio de Janeiro : RiMa ABES, 2002. 104 p.

LUZ, F. X. R.; GUIMARÃES, C. Resíduos hospitalares. **Revista saúde Publica**. v. 6, p. 405-426, 1972.

KLUSENER FILHO, L. C. Processo de Decisão: Disposição do Lodo da Estação de Tratamento de Esgotos de Santa Maria - RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25. 2009, Recife. **Anais...** Recife: ABES. Relação de trabalhos, 2009.

MAIA, C.M.B.F. **Uso de casca de Pinus e lodo biológico como substrato para a produção de mudas de Pinus taeda.** Boletim de Pesquisa Florestal, n.39, p.81-92, 1999.

MARX, D. H.; CORDELL, C. E. The use of specific ectomycorrhizal to improve artificial forestation practices. In: WHIPPS, J. M.; LUMSDEN, R. D. (eds). **Biotechnology of fungi for improving plant growth**. New York: Academic Press, 1989, p. 1-25.

MELO, W.J. et al. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um Latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.449-55, 1994.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. 312p.

MELLO, A. H. **Ocorrência, caracterização e eficiência de fungos micorrízicos em *Eucalyptus grandis* e *Acácia mearnsii***. 2006. 236 f. Tese (Doutorado em ciência Do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MIKOLA, P. Application of mycorrhizal symbiosis in forestry practices. In: MARKS, G.C.; KOZLOWSKI, T.T. (Ed). **Ectomycorrhizae, their ecology and physiology**. New York. 1973. p.383-411.

MOLINA, R.; TRAPPE, J. M. Mycorrhiza management in bareroot nurseries. In: DURYEY, M. L.; LANDIS, T. D. (eds). **Forestry nursery manual: production of barerrot seedlings**. Lancaster, 1984, p. 211-213.

NDEGWA, P. M.; THOMPSON, S. A. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and biconversion of biosolids. **Bioresourse Technology**. v. 76, p. 107-112, 2001.

SHIMIZU, J. Y. **Pinus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa florestas, 2008. 7 p.

SILVEIRA, M. L. A. et al. Biosolids and heavy metals in soils. **Scientia Agrícola**, Piracicaba. v.60, n.4, p.793-806, 2003.

SMITH, S. E.; READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. London: Academic Press, 1997, 605 p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. SBS – **Sociedade Brasileira de Silvicultura**. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/>>. Acesso em: 20 jun. 2008.

STEFFEN, G. P. K. **Substratos à base de casca de arroz e esterco bovino para a multiplicação de minhocas e produção de mudas de alface, Tomateiro e boca-de-leão.** 2008, 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com bio sólido industrial e cultivado com milho1. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande. v.12, n.3, p.223–230, 2008.

VALERI, S. V. et al. Composição química foliar e crescimento volumétrico de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden plantado em um Regossolo, **IPEF**, v. 29, 63-75, 1993.

VANZO, J.E.; MACEDO, L.S.; TSUTIYA, M.T. Registros da produção de bio sólido caso da ETE de Franca. In: TSUTIYA, M.T. et al. **Bio sólidos na Agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001.p.227-42.

VON SPERLING, M. et al. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistema de lodos ativados. In: CHERNICHARO, C.A.L. (Org.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. 1 ed. Rio de Janeiro: PROSAB/ABES, 2001, p. 279-331.

Estudo I

EFEITO DO LODO DE ESGOTO NA POPULAÇÃO DE MINHOCAS, NEMATÓIDES E MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS DURANTE PROCESSO DE VERMICOMPOSTAGEM

1 RESUMO

O reaproveitamento agrícola de lodos de esgoto produzidos em estações de tratamento de águas servidas além de evitar seu descarte em aterros sanitários, permite a redução na exploração de recursos naturais para produção de fertilizantes. Para isso este material deve atender a requisitos de segurança sanitária e ambiental previstos por lei. Dentre as formas de higienização de lodo de esgoto a compostagem e vermicompostagem surgem como uma alternativa de baixo custo e de fácil execução. Neste sentido o trabalho teve como objetivos: a) viabilizar a utilização do lodo de esgoto através da vermicompostagem; b) avaliar o efeito do uso deste, puro ou em misturas com esterco bovino e casca de arroz na multiplicação das minhocas e c) determinar a população de nematóides e coliformes fecais (*Escherichia coli*) no substrato. Determinou-se número de casulos, de minhocas jovens e adultas, índice de multiplicação, biomassas frescas e secas de minhocas, população de nematóides e número mais provável de coliformes fecais e caracterização química dos substratos. A reprodução de minhocas mostrou-se eficiente em materiais que continham o lodo de esgoto. Houve influência das minhocas na população de nematóides no lodo de esgoto, diminuindo sua densidade. Ocorreu redução na concentração de coliformes fecais, porém não se constatou efeito das minhocas no processo de higienização. Os parâmetros químicos avaliados pouco variaram do início para o fim do experimento, sendo mais evidentes nos tratamentos com maior quantidade de esterco bovino. O processo de vermicompostagem auxilia na higienização do lodo de esgoto. Assim como o lodo de esgoto pode ser utilizado como substrato para multiplicação de minhocas.

Palavras-chave: Tratamento de resíduos, higienização, organismos.

2 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos em centros urbanos, seja de grande ou médio porte, surge como um problema de ordem sanitária, econômica e ambiental, pois muitas vezes este material acaba por acumular-se no ambiente sem o adequado tratamento, não permitindo sua utilização para reciclagem. Segundo De Maria et al. (2007) grandes quantidades de águas servidas, produzidas em áreas de alta densidade demográfica, pode constituir-se no principal agente poluidor do ambiente, e seu tratamento torna-se, portanto, fundamental para minimizar esta situação.

Dentre os sistemas de tratamento de esgotos o que utiliza lodo ativado é o que apresenta maior eficiência, sem necessitar de ampla área de implantação, sendo o sistema mais empregado no mundo (BENTO et al., 2005). Desse tratamento resulta um resíduo sólido denominado lodo de esgoto, cujas possibilidades mais usuais para o seu aproveitamento ou descarte final são disposição em aterro sanitário, reutilização industrial, fabricação de tijolos e cerâmica, produção de cimento, incineração exclusiva e co-incineração com resíduos sólidos urbanos, disposição oceânica e recuperação de solos de uso agrícola ou florestal (BETTIOL; CAMARGO, 2000)

O reaproveitamento agroflorestal desse biossólido além de evitar seu descarte em aterros sanitários, permite a redução na exploração de recursos naturais para produção de fertilizantes (ANDREOLI et al., 1999). Esse potencial fertilizante e condicionador do solo se deve a presença de altos teores de matéria orgânica e nutrientes geralmente encontrados no lodo. Porém, para viabilizar seu uso agrícola é necessário que esse material atenda a legislação quanto à concentração de contaminantes inorgânicos e organismos patogênicos (SILVA et al., 2002).

Um problema de ordem fitossanitária que ainda carece de soluções mais eficientes é a presença de nematóides fitopatogênicos em solos agrícolas. Estes organismos possuem um alto poder destrutivo podendo causar perdas totais da lavoura (MARCHIORATO et al., 2002). A disseminação destes organismos se dá por diferentes meios, como sementes infectadas, pássaros, vento e o próprio homem (SILVA et al., 2006). O lodo de esgoto pode ser uma fonte de inóculo desses organismos, pois junto do resíduo sólido depositado nos leitos de secagem, inúmeras sementes também são carregadas e acabam germinado neste local (Figura 3), permitindo a ploriferação desta praga. Além disso, por permanecerem a céu aberto

no leitos, tornam-se locais de fácil acesso para seus disseminadores. Assim, quando este for usado como fertilizante em solos agrícolas pode causar sérios danos à lavoura, muitas vezes inviabilizando o ambiente para uso futuro.



Figura 3 – Vegetação sobre o lodo de esgoto depositado em leitos de secagem na Estação de Tratamento de Esgotos de Santa Maria/RS. (Foto: Guilherme Karsten Schirmer)

Outro grupo de nematóides de solo que também podem estar presentes no lodo de esgoto é o dos nematóides de vida livre (DOMINGUEZ et al., 2003). Estes grupos basicamente se distinguem pelo seu hábito alimentar, podendo ser bacteriófagos, fungívoros e predadores de outros nematóides. Estes são particularmente importantes, pois podem alterar a população de organismos patogênicos presentes no lodo, como os coliformes fecais, sendo tal relação muito pouco estudada até o momento.

Os processos de higienização do lodo surgem como alternativa para resolução desses problemas, atuando principalmente na redução da presença de patógenos como bactérias e helmintos. A compostagem vem se mostrando uma alternativa viável, de fácil execução e baixo investimento (CORRÊA, 2001). Trabalhos de pesquisa mostram seus benefícios quando utilizado como pós-tratamento de lodos de diferentes procedências, destacando-se lodo de esgoto residencial (DA SILVA et al., 2004; CORRÊA et al., 2007) e lodos industriais (MAEDA et al., 2006). Outra alternativa seria a vermicompostagem, que possibilita agregar

valor ao composto gerado, além de apresentar outro uso para o lodo, fazendo deste um substrato para multiplicação de matrizes.

A utilização de espécies exóticas predomina na atividade da minhocultura e dentre as empregadas, as mais eficientes na transformação de resíduos orgânicos são a *Eisenia andrei* Bouché (1972), conhecida como vermelha da Califórnia; *Eisenia fetida* Savigny (1826), igualmente chamada de vermelha da Califórnia, minhoca tigre e minhoca do esterco (STEFFEN, 2008), sendo criadas, na maioria das vezes, com resíduos orgânicos de origem animal (BROWN; JAMES, 2007), como o esterco bovino. Resíduos alternativos também vêm sendo utilizados como substrato para obtenção de vermicomposto ou para a multiplicação de minhocas, como o próprio lodo de esgoto (KHWAIRAKPAM; BHARGAVA, 2009; GUPTA; GARG, 2008; MABOETA; VAN RENSBURG, 2003).

Na cidade de Santa Maria – RS a Estação de Tratamento de Esgotos gerenciada pela CORSAN, faz uso do sistema de lodo ativado, produzindo um lodo de boa qualidade para uso agrícola, principalmente por se tratar de um resíduo predominantemente doméstico, não apresentando altos níveis de metais.

Com estas características químicas seu uso na minhocultura pode ser uma ótima alternativa, pois possibilitaria a produção de um composto melhor que o próprio produto original, e também poderá ser usado como substrato para a multiplicação de minhocas que podem ser comercializadas gerando uma renda extra.

O trabalho objetivou estudar a viabilidade do uso do lodo de esgoto produzido na ETESM como substrato para criação de minhocas da espécie *E. andrei*, e avaliar o efeito da vermicompostagem sobre a população de nematóides, coliformes fecais (*Escherichia coli*) e qualidade química do substrato.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho consistiu de 2 etapas, realizadas durante e ao final do período de multiplicação das minhocas nos substratos a base de lodo de esgoto. O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, RS, durante o período do fim do mês de maio a início do mês de outubro de 2009, num total de 21 semanas.

3.1 Substratos

Os substratos utilizados foram lodo de esgoto ativado, esterco bovino curtido e casca de arroz. O lodo de esgoto estava a aproximadamente um mês em leitos de secagem, sendo proveniente de tanques de decantação da Estação de Tratamento de Esgotos de Santa Maria (ETESM), administrada pela CORSAN (Compania Riograndense de Saneamento). O esterco bovino foi obtido de gado sob sistema de semi-confinamento, coletado em uma propriedade rural no município de Santa Maria/RS. A casca de arroz foi adquirida de um engenho de beneficiamento de grãos, utilizada *in natura*, sem qualquer tratamento prévio.

Para obtenção do lodo de esgoto, foram tomadas algumas precauções, onde procurou-se coletar o material em diferentes pontos e de toda a profundidade dos tanques de decantação, visando obter um material mais homogêneo possível.

3.2 Unidades experimentais

Após coleta os materiais foram homogeneizados, e efetuou-se a montagem dos tratamentos. Os recipientes utilizados foram potes plásticos pretos com capacidade de 14 litros, nos quais foram adicionados 8 litros de substrato, de forma isolada ou em misturas por volume (v:v), correspondente a cada tratamento, que foram os seguintes:

- Lodo de esgoto com minhocas (LEcM);
- Lodo de esgoto sem minhocas (LEsM);
- Lodo de esgoto : Esterco bovino – 1:1 (LE:EB 1:1);
- Lodo de esgoto : Esterco bovino – 3:1 (LE:EB 3:1);
- Lodo de esgoto : Casca de arroz – 3:1 (LE:CA 3:1);
- Esterco bovino (EB).

Realizada as misturas o material permaneceu 15 dias em casa de vegetação, para que houvesse estabilização da temperatura do esterco bovino e a umidade fosse a ideal, entre 60 – 70% (PAULUS et al., 2000) para a inoculação das minhocas. Foram inoculadas inicialmente 20 minhocas, adultas e cliteladas, da espécie *E. andrei* em cada recipiente, exceto o tratamento LesM. Utilizou-se sombrite para cobrir as unidades experimentais.

Após 43 dias realizou-se nova inoculação de minhocas, adicionando-se mais 10 indivíduos adultos por recipiente, excluindo o tratamento sem minhocas.

Para favorecer o desenvolvimento das minhocas foram efetuadas irrigações frequentes para manutenção da umidade, e como a realização do experimento ocorreu durante o inverno, onde ocorreram semanas com baixas temperaturas, utilizou-se um aquecedor no local da instalação do trabalho, na tentativa de manter a temperatura próxima da ótima para multiplicação das minhocas, entre 16°C e 22°C. Nestas condições o material permaneceu nos recipientes por um período de 21 semanas. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 6 tratamentos e 5 repetições, totalizando 30 unidades experimentais.

3.3 Etapa 1: Viabilidade do lodo de esgoto como substrato para produção de minhocas

3.3.1 Avaliações

Ao final do experimento foram realizadas as seguintes avaliações: contagem do número final de minhocas adultas ou cliteladas, jovens ou sem clitelo desenvolvido e casulos, biomassa fresca e seca dos indivíduos adultos e jovens, biomassa fresca e seca média por indivíduo, assim como o índice de multiplicação das minhocas.

A população final de minhocas foi obtida através de contagem manual. O material de cada unidade experimental foi colocado sobre uma lona, onde separaram-se minhocas jovens, adultas e os casulos presentes no substrato. Os indivíduos coletados em cada unidade experimental foram separados em frascos com água, onde permaneceram durante 24 horas para que o material presente em seu tubo digestivo fosse eliminado (GIRACCA, 2005). Posteriormente, foram secos em papel toalha e pesadas para a obtenção da biomassa fresca das minhocas. Após a pesagem, as minhocas foram mantidas em estufa a 75°C, em recipientes abertos, até obtenção de peso constante. As amostras foram retiradas da estufa, e pesadas para a obtenção da biomassa seca das minhocas.

Com base nestes dados foram calculados, biomassa fresca e seca média por indivíduo e o índice de multiplicação das minhocas. Para o cálculo da biomassa por indivíduo, dividiu-se a biomassa (fresca e seca) pelo número total de indivíduos (adultos e jovens), já para o cálculo do índice de multiplicação das minhocas, utilizou-se a fórmula $IM = P_f / P_i$, onde P_f = população final de minhocas e P_i = população inicial de minhocas, que corresponde ao número de matrizes inoculadas (STEFFEN, 2008). O número de minhocas jovens, adultas e casulos, bem como a biomassa de minhocas frescas e secas totais ou individuais foram transformados para raiz quadrada de $x+1$ e submetidos à análise de variância e teste de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Utilizou-se o programa estatístico SASM-Agri (CANTERI et al., 2001).

3.4 Etapa 2: Influência da vermicompostagem na qualidade biológica e química do vermicomposto a base de lodo de esgoto

3.4.1 População de nematóides

Determinou-se a influência das minhocas durante o processo de vermicompostagem sobre a população de nematóides dos substratos a base de lodo de esgoto.

3.4.1.1 Coleta das amostras

As amostras foram coletadas em quatro períodos, sendo o primeiro no início do experimento de multiplicação das minhocas, correspondendo ao “tempo zero”, e as demais coletas na 7^a, 14^a e 21^a semana.

Para obter uma amostragem representativa utilizou-se um mini-trado de alumínio de 35 cm de comprimento e 1,5 cm de diâmetro, que possibilitava coletar amostras de toda a profundidade dos recipientes. Coletaram-se três sub-amostras de diferentes pontos em cada unidade experimental, totalizando quinze sub-amostras por tratamento. Estas sub-amostras eram homogeneizadas e 190 gramas de amostra úmida eram levadas ao laboratório, onde realizou-se seu fracionamento em três partes de 50 gramas para obtenção de três repetições por tratamento, e os outros 40 gramas restantes utilizados para realização do cálculo de umidade das amostras.

3.4.1.2 Extração e contagem de nematóides

As extrações de nematóides foram realizadas segundo (JENKINS, 1964). O procedimento para extração de nematóides segundo o método de flutuação e centrifugação com solução de sacarose foi como segue: as amostras de 50 gramas de substrato foram colocadas em béqueres de 2 litros, a estes adicionou-se aproximadamente 1 litro de água e com auxílio de bastão de vidro o material foi homogeneizado e deixado decantar. O líquido sobrenadante foi vertido em peneiras com abertura de 1 mm e 0,037 mm, em seguida repetiram-se os procedimentos de adição de água, homogeneização, decantação e peneiramento. O material retido na peneira de 0,037 mm foi coletado com o auxílio de uma pisseta através de jatos de água em tubos de centrífuga e posteriormente centrifugado a 1750 rpm por 4 min. Posteriormente, o líquido sobrenadante foi descartado cuidadosamente e adicionado uma solução de sacarose (400 g de açúcar e 750 mL de água) e homogeneizado. O material foi então centrifugado novamente a 1750 rpm por 30 segundos. O sobrenadante foi vertido em uma peneira de 0,037 mm e efetuado lavagens com água corrente para eliminar a sacarose. O material retido na peneira foi recolhido em frascos plásticos para posterior contagem.

Para contagem dos nematóides, em cada período avaliado, utilizou-se uma alíquota de 1 mL do material recolhido das peneiras. Para obtenção desta alíquota o material foi agitado utilizando-se uma piteta de 10 mL, através de injeção de ar forçado no material por sopro. Realizada a homogeneização, a alíquota era inserida em câmara de Peters onde sob microscópio óptico efetuou-se contagem dos organismos.

Os resultados foram expressos em número de nematóides por grama de base seca das amostras dos substratos. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Utilizou-se o programa estatístico ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2002).

3.4.2 Determinação da presença de coliformes fecais (*Escherichia coli*)

As análises foram conduzidas no Laboratório de Pesquisas Microbiológicas (LAPEMICRO) do Departamento de Microbiologia e Parasitologia da Universidade Federal de Santa Maria/RS. Utilizou-se metodologia proposta pela USEPA (UNITED STATES, 1993) sugerida pelo CONAMA (BRASIL, 2006).

3.4.2.1 Coleta das amostras

Para as determinações de coliformes fecais (*Escherichia coli*) as amostras foram coletadas em diferentes períodos, constituindo do “tempo zero”, quando as minhocas foram inoculadas, na 7^a e 14^a semana de experimento. Conforme o item 3.4.1.1, sub-amostras foram coletadas de cada unidade experimental e homogeneizadas, deste foram retiradas 70 gramas, dos quais 30 gramas para determinação de coliformes fecais e os 40 gramas restantes para aferição da umidade.

O material coletado foi imediatamente depositado em um frasco de vidro autoclavado, contendo 270 mL de água peptonada 0,1% (1:10), para determinação de coliformes fecais.

3.4.2.2 Determinação de coliformes fecais (*Escherichia coli*)

De posse das amostras, cuja diluição inicial era de 10^{-1} , mais cinco diluições foram realizadas, colocando-se 1 mL do material mais concentrado, em tubos de ensaio com 9 mL de água peptonada, até chegar a uma diluição de 10^{-6} . Em seguida 1mL das diluições 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} , foram colocados em tubos de ensaio com 9 mL de caldo lactose (CL) com tubos Durham, estes eram incubados a 36°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$), por 24 horas.

Os resultados eram considerados positivos quando havia crescimento característico e produção de gás, este material foi então repicado para o meio de cultura caldo *Escherichia coli* (EC), e os negativos foram reincubados por mais 24 horas para se ter certeza do resultado do teste.

Para determinação de coliformes fecais foi retirado, com auxílio de alça de platina, uma quantidade de inóculo e transferido para três tubos de ensaio contendo o meio EC, sendo posteriormente incubados pelo mesmo período da etapa anterior, porém a 44°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$).

As leituras mostraram teste positivo quando havia presença de gás, que foram contados para posterior determinação do NMP (Número Mais Provável de coliformes fecais) resultados considerados negativos foram reincubados por mais 24 horas, para confirmação do resultado do teste.

3.4.3 Qualidade química dos substratos

Para avaliar a influência das minhocas sobre os substratos foram determinados alguns parâmetros químicos, no momento da inoculação das minhocas e ao final do experimento (21 semanas).

3.4.3.1 Coleta e preparo das amostras

Foram coletados 400 gramas de amostra em cada período, correspondendo a cada tratamento, utilizando procedimentos semelhantes ao do item 3.2.1.

Estas foram secas ao ar livre e moídas até obterem-se partículas de tamanho suficiente para transpor peneira de 2 e 0,177 mm. Posteriormente as amostras foram enviadas para o Laboratório de Rotina de Análises Químicas do Departamento de Solos, UFSM, onde foram realizadas as avaliações.

3.4.3.2 Avaliações

Foram determinadas as concentrações de N total, C, P, K, o pH em água e relação C/N, segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Etapa 1: Viabilidade do lodo de esgoto como substrato para produção de minhocas

Para a multiplicação de minhocas ao final de 21 semanas, apenas o tratamento exclusivamente formado por esterco bovino não proporcionou condições para o desenvolvimento e reprodução das minhocas da espécie *E. Andrei* (Tabela 1).

Tabela 1 – Número de casulos, minhocas adultas, jovens e índice de multiplicação obtidos nos tratamentos à base de lodo de esgoto (LE), esterco bovino (EB) e casca de arroz (CA), na 21ª semana de experimento.

Substratos	Número de casulos	Número de minhocas		IM ²
		Jovens	Adultas	
LE	177 a ¹	311 a	37 ab	11,63 a
LE:EB 1:1	94 ab	116 b	40 ab	5,19 b
LE:EB 3:1	103 ab	315 a	42 a	11,92 a
LE:CA 3:1	77 b	125 b	23 b	4,94 b
EB	0 c	0 c	4 c	- 0,13 c
CV (%)	23,35	24,32	14,16	16,73

¹ Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ² (IM) Índice de multiplicação = (População final / População inicial).

Com relação ao número de casulos os substratos lodo de esgoto (LE), lodo de esgoto: esterco bovino 3:1 (LE:EB 3:1) e lodo de esgoto: esterco bovino 1:1 (LE:EB 1:1) foram os que apresentaram os melhores resultados com 177, 103 e 94 casulos respectivamente, seguido do tratamento composto pela mistura de lodo de esgoto: casca de arroz 3:1 (LE:CA 3:1) com 77 casulos e com nenhum casulo o tratamento formado por esterco bovino (EB). Os mesmos padrões de resultados foram obtidos para o número final de minhocas adultas, onde os tratamentos LE com 37 minhocas, LE:EB 3:1 com 42, e LE:EB 1:1 com 40 se destacaram positivamente (Tabela 1), apresentando um aumento de até 40 % em relação ao número inicial

de matrizes. O oposto ocorreu com os tratamentos LE:CA 3:1 e EB que tiveram um número de minhocas adultas inferior ao do momento da inoculação inicial, com 23 e 4 minhocas adultas respectivamente.

Para o número de minhocas jovens o tratamento LE:EB 1:1 juntamente com LE:CA 3:1 foram inferiores aos substratos LE e LE:EB 3:1, apresentando menos da metade das minhocas encontradas nestes últimos, e igualmente ao que ocorreu com o número de casulos o substrato EB não apresentou nenhuma minhoca jovem (Tabela 1).

Para o índice de multiplicação das minhocas, que avalia a capacidade reprodutiva de matrizes em determinado ambiente, novamente os substratos LE e LE:EB 3:1 mostram-se superiores (Tabela 1), evidenciando que para os materiais utilizados neste trabalho a multiplicação de minhocas da espécie *E. andrei* foi favorecida quando os substratos eram constituídos predominantemente de lodo de esgoto.

Como as espécies *E. andrei* e *E. fetida* apresentam as mesmas características comportamentais quanto ao desenvolvimento e reprodução (ATIYEH et al., 2000), os dados aqui obtidos foram comparados com os dados encontrados na literatura para ambas espécies.

Os resultados obtidos quanto à capacidade reprodutiva desta espécie de minhoca em substrato constituído de esterco bovino puro difere da maioria dos encontrados em trabalhos com este mesmo material. Antonioli et al. (2009) também trabalhando com *E. andrei* e misturas de esterco bovino com casca de arroz com uma inoculação inicial de 6 matrizes em 4 litros de esterco, encontraram índice de multiplicação de 8,5 e 57 casulos em um período de sessenta dias. Em experimento de natureza semelhante Schiavon et al. (2007) também constataram um alto número de casulos em tratamento com esterco bovino puro, onde de 10 minhocas da espécie *E. fetida* inoculadas em 300 g do substrato coletaram-se 138 casulos em vinte e oito dias, demonstrando a eficiência reprodutiva desta minhoca neste material. Porém Aquino et al. (1994) ressaltam que embora o esterco bovino seja uma ótima fonte de alimento para minhocas destas duas espécies, este diverge muito com relação a sua constituição, que depende do regime alimentar dos bovinos, dificultando comparações entre experimentos. Outra razão para o insucesso do esterco bovino puro neste experimento decorre da possibilidade do material apresentar resíduos de vermífugos (DA SILVA et al. 2005), pois o esterco provém de animais jovens que geralmente recebem doses desse tipo de produto. Isso pode ter provocado a fuga ou até a morte das minhocas neste tratamento.

A mistura de materiais fibrosos com esterco animais é comumente utilizada para produção de matrizes de minhocas, trazendo benefícios inerentes à melhora da qualidade física do substrato, aumentando da aeração e reduzindo sua densidade o que pode favorecer a

multiplicação e o desenvolvimento das minhocas (STEFFEN, 2008; MIGDALSKI, 2001). No presente estudo o tratamento LE:CA 3:1 apresentou índice de multiplicação, número de minhocas jovens e casulos, menores em relação ao LE e as misturas LE:EB 3:1 (Tabela 1). Isto pode ter ocorrido devido ao fato de que o substrato com a casca de arroz proporcionou um ambiente favorável para uma rápida multiplicação, por consequência promoveu um consumo acelerado do alimento disponível promovendo maior biotransformação do resíduo antes do final do experimento. Assim a falta de alimento pode ter causado a morte de indivíduos e reduzido o índice de multiplicação (Tabela 1). Esse fato é interado por Aquino et al. (1994) que obteve resultados semelhantes quando comparou número de casulos, minhocas adultas e jovens aos sessenta e cento e vinte dias, obtendo sempre números inferiores com o passar dos dias, independente do substrato utilizado.

O melhor comportamento do LE e da mistura LE:EB 3:1 para os parâmetros de reprodução se deve a qualidade do substrato lodo de esgoto em relação aos demais testados, pois mesmo com a mistura do esterco bovino, esta proporção adotada foi satisfatória não influenciando negativamente nos parâmetros avaliados (Tabela 1). Ao contrario do material que recebeu casca de arroz esses não apresentavam característica de húmus de minhoca, concluindo-se que ainda havia alimento suficiente para as minhocas mesmo ao final de 21 semanas.

Os resultados obtidos para índice de multiplicação no LE e a mistura LE:EB 3:1, com 11,63 e 11,92 respectivamente, superam os encontrados por Steffen (2008) e Pereira et al. (2005) utilizando esterco bovino puro, com índices de multiplicação de 8,5 e 2,1 respectivamente, reforçando o potencial do lodo de esgoto para a criação de matrizes. Outro fator que pode ter contribuído para obtenção dos bons resultados neste trabalho foi a origem do lodo, que provém principalmente de águas servidas residenciais, livre de altos teores de metais pesados. O oposto do que ocorreu com lodos de esgoto de algumas regiões industrializadas que são, geralmente, ricos destes elementos e podem assim afetar o desenvolvimento pleno destes organismos desencadeado pela fuga ou morte de indivíduos (CESAR et al. 2008).

Para os parâmetros de produtividade, que englobam as biomassas frescas e secas do total de minhocas e por indivíduo, os resultados mostraram pouca variação entre tratamentos, principalmente para minhocas adultas, que alcançaram biomassas por minhoca sem diferenças significativas entre tratamentos, exceto para o EB que pelas razões expostas anteriormente não permitiu o crescimento das minhocas (Tabela 2).

Tabela 2 – Biomassas frescas e secas de minhocas adultas, biomassa fresca e seca por minhoca adulta obtidas nos tratamentos à base de lodo de esgoto (LE), esterco bovino (EB) e casca de arroz (CA), na 21ª semana de experimento.

Substrato	Biomassa de minhocas adultas		Biomassa por minhoca adulta	
	Fresca	Seca	Fresca	Seca
	----- g -----		----- g minhocas ⁻¹ -----	
LE	25,47 a ¹	4,61 a	0,679 a	0,120 a
LE:EB 1:1	25,15 a	4,09 a	0,628 a	0,101 a
LE:EB 3:1	21,64 a	3,37 a	0,531 a	0,084 a
LE:CA 3:1	13,15 a	2,07 a	0,536 a	0,084 a
EB	0,91 b	0,14 b	0,242 b	0,032 b
CV (%)	16,60	14,65	3,38	0,93

¹ Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados relativos a biomassas de minhocas jovens foram semelhantes aos encontrados para minhocas adultas, diferindo apenas entre os tratamentos LE:EB 3:1 e LE:CA 3:1, para suas biomassas frescas, onde o primeiro obteve uma biomassa fresca de 0,100 g e o segundo 0,041 g por indivíduo. Este resultado pode ser atribuído a um maior conteúdo de água nas minhocas do tratamento LE:EB 3:1 no momento da pesagem, já que para sua biomassa seca não houve diferença significativa entre tratamentos que continham lodo de esgoto na sua composição (Tabela 3).

Embora tenham ocorrido diferenças entre números de indivíduos adultos e na taxa de multiplicação das minhocas para o substrato LE:CA 3:1, com relação a biomassa por indivíduo tanto de adultos como jovens, não mostraram diferença significativa para com os tratamentos LE, LE:EB 3:1 e LE:EB 1:1 (Tabela 2 e 3). Demonstrando que com o decréscimo de indivíduos adultos os que restaram conseguiram se alimentar até o final das 21 semanas sem perda de biomassa quando comparado ao lodo e suas misturas (Tabela 2). Dados de Schiavon et al. (2007) mostraram que a mistura de esterco e casca de arroz crua na proporção 3:1, mesma utilizada no presente trabalho, proporcionaram um maior ganho de biomassa para as minhocas em um período de vinte oito dias. Contudo, segundo Dominguez et al. (2000) com o decorrer do processo de vermicompostagem ocorre o aumento populacional e conseqüentemente a diminuição de alimento pelo continuo consumo sem sua reposição, favorecendo a redução da biomassa dos indivíduos independente do substrato. Assim como a

qualidade nutricional das misturas com casca de arroz é inferior e permite um acesso mais fácil ao alimento devido a suas qualidades físicas (SCHIAVON et al. 2007), este material acaba proporcionando uma queda mais veloz e acentuada da biomassa conforme as minhocas se desenvolvem.

Tabela 3 – Biomassas fresca e seca de minhocas jovens, biomassa fresca e seca por minhoca jovem obtidas nos tratamentos à base de lodo de esgoto (LE), esterco bovino (EB) e casca de arroz (CA), na 21ª semana de experimento.

Substratos	Biomassa de minhocas jovens		Biomassa por minhoca jovem	
	Fresca	Seca	Fresca	Seca
	----- g -----		----- g minhocas ⁻¹ -----	
LE	16,00 ab ¹	2,10 ab	0,050 abc	0,007 ab
LE:EB 1:1	10,69 b	1,47 abc	0,074 ab	0,010 a
LE:EB 3:1	31,38 a	3,78 a	0,100 a	0,012 a
LE:CA 3:1	5,59 bc	0,79 bc	0,041 bc	0,006 ab
EB	0,00 c	0,00 c	0,000 c	0,000 b
CV (%)	28,21	19,66	1,24	0,21

¹ Médias seguidas das mesmas letras nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O lodo de esgoto gerado na estação de tratamento de esgoto de Santa Maria/RS fornece um material promissor para ser utilizado como substrato na multiplicação de matrizes da espécie *E. andrei*, seja na sua forma pura ou em misturas com esterco bovino e casca de arroz.

4.2 Etapa 2: Influência da vermicompostagem na qualidade biológica e química do vermicomposto a base de lodo de esgoto

4.2.1 População de nematóides

Não foram encontrados nematóides fitopatogênicos nos materiais amostrados, desse modo os organismos extraídos foram considerados como nematóides de vida livre.

Os resultados da avaliação do efeito das minhocas sobre a população de nematóides no substrato lodo de esgoto puro mostraram que sua presença não modifica a forma como a população de nematóides se altera ao longo do período avaliado de 21 semanas, porém reduz o número total de indivíduos presentes em cada data avaliada quando comparado ao controle sem minhocas (Figura 4).

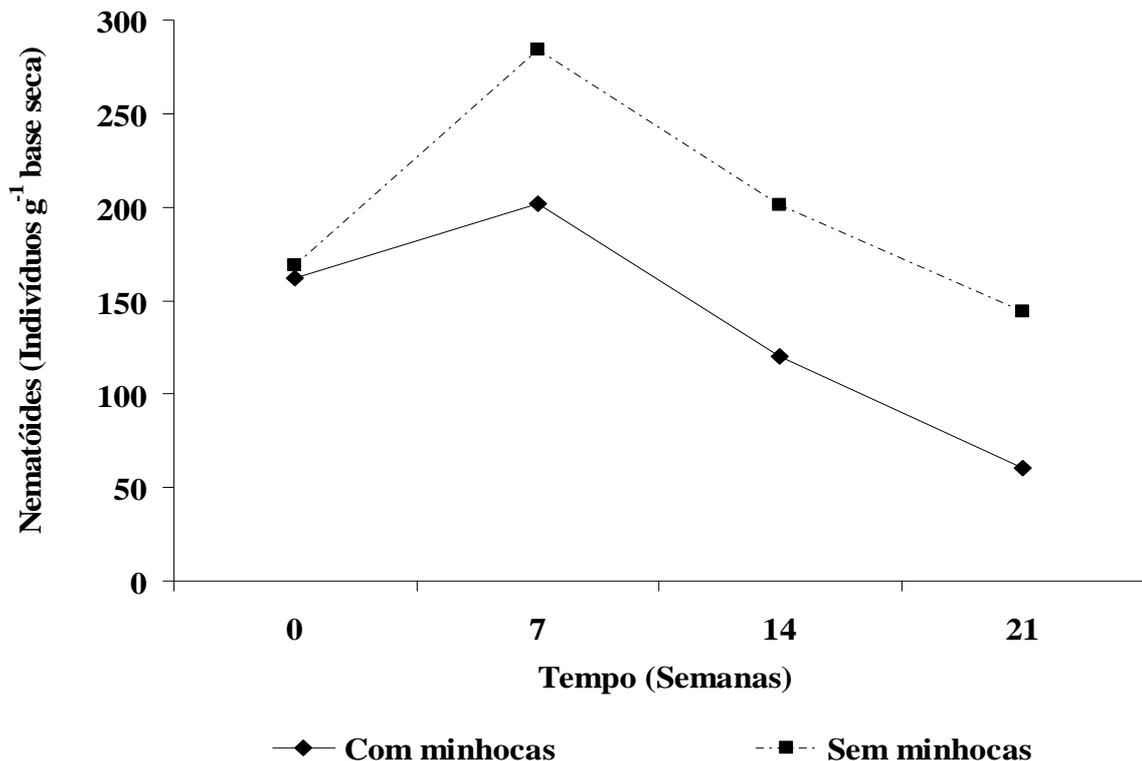


Figura 4 – População de nematóides de vida livre obtidos nos tratamentos à base de lodo de esgoto com (LEcM) e sem (LEsM) minhocas da espécie *Eisenia andrei*, no início, 7^a, 14^a e 21^a semana do experimento. Diferença mínima significativa (DMS) em nematóides g⁻¹ base seca de, 72,5 entre semanas e 53,7 entre tratamentos.

Na primeira avaliação o lodo de esgoto que receberia as minhocas, e o controle sem minhocas apresentavam, 161 e 168 nematóides g^{-1} base seca, respectivamente. Na segunda análise, depois de sete semanas do início do experimento, a contagem para os dois tratamentos indicaram um crescente aumento na população, sendo mais pronunciado na ausência das minhocas com incremento de 68 % da densidade inicial de nematóides, contra apenas 25 % na presença das minhocas (Figura 4). Na terceira contagem, na 14ª semana, ambos os tratamentos apresentaram decréscimo no número de nematóides, porém no tratamento com minhocas a redução foi 11 % mais eficiente na comparação com o controle sem minhocas que indicou 29% na queda da população. O mesmo padrão continuou na amostragem final que promoveu redução populacional nos dois tratamentos, entretanto na presença das minhocas restaram 60 nematóides g^{-1} de base seca, cerca de 58% de nematóides a menos que o tratamento sem minhocas que continha 144 nematóides g^{-1} de base seca (Figura 4).

A densidade de nematóides foi significativamente inferior para a presença de minhocas nos períodos avaliados, porém não houve interação significativa ($p > 0,05$) entre o tempo e minhocas, indicando que as minhocas não tiveram grande efeito na redução dos nematóides ao longo do período avaliado (Tabela 4).

Tabela 4 – Análise de variância para os efeitos de minhocas da espécie *Eisenia andrei* na densidade de nematóides de vida livre durante a vermicompostagem de lodo de esgoto.

Fatores	F - crítico	F - calculado	p
Tempo	5,29 (1%)	20,79	< 0,001
Minhocas	8,53 (1%)	25,24	< 0,001
Tempo x Minhocas	3,23 (5%)	2,20 ¹	> 0,100

¹ Não significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro

Os resultados encontrados neste estudo discordam dos obtidos por Dominguez et al. (2003), que trabalhando com lodo de esgoto e minhocas da mesma espécie, constataram forte interação entre os fatores minhoca e tempo. Entretanto o experimento realizado por estes autores foi conduzido em ambiente totalmente controlado a nível de temperatura, e com uma densidade de minhocas superior a utilizada no presente trabalho. Isso pode explicar a falta de interação neste estudo (Tabela 5). Provavelmente devido à influência do ambiente, pois o

experimento foi conduzido na estação de inverno, com prolongados períodos de temperaturas abaixo da faixa considerada ideal para atingir um bom desenvolvimento e taxa de reprodução para as minhocas, que varia de 18 a 25°C (ANTONIOLLI et al. 2002). Embora se tenha feito uso de um aquecedor no local a massa de substrato ainda permanecia com temperaturas bem abaixo da faixa ótima. Diferente do que comumente ocorre com nematóides de vida livre no solo que suportam temperaturas mais baixas entre 5 e 10°C mantendo seu crescimento populacional (VENETTE; FERRIS, 1997). A outra hipótese é a densidade inicial de minhocas, que não foi suficiente para promover a total transformação do lodo em vermicomposto e conseqüentemente permitiu fornecimento de alimento suficiente para multiplicação dos nematóides durante o período avaliado.

Contudo as minhocas foram significativamente eficientes em reduzir a densidade de nematóides quando comparado ao controle sem minhocas, mantendo o número destes em média 1,83 vezes menor que o controle durante todo período avaliado, mesmo nas primeiras 7 semanas em que foi verificado aumento na população de nematóides (Figura 4). Estes dados corroboram com o encontrado por Dominguez et al. (2003) que no período das 6 primeiras semanas de avaliação constataram um aumento na população de nematóides bacteriófagos em lodo de natureza semelhante, com e sem minhocas, e nas contagens seguintes quedas na população em ambos os tratamentos, porém mais acentuadas na presença das minhocas, chegando a 20 vezes mais redução na 13ª semana no tratamento com minhocas.

As contagens realizadas nos diferentes substratos contendo minhocas mostraram que todos tiveram comportamento semelhante ao demonstrado no lodo de esgoto, exceto o tratamento constituído de lodo de esgoto e casca de arroz (LE:CA 3:1) e esterco bovino puro (EB) (Figura 5).

O substrato constituído exclusivamente de esterco bovino (EB) apresentou em todas as contagens densidade de nematóides abaixo dos demais tratamentos, isto pode ter ocorrido pela mesma razão discutida anteriormente para multiplicação e desenvolvimento das minhocas neste material, onde resíduos de vermífugos podem ter influenciado na multiplicação dos nematóides, ou pelo fato do material naturalmente conter uma densidade destes organismos menor que o lodo de esgoto (DOMINGUEZ et al. 2003). As misturas LE:EB 1:1 e 3:1 foram as formas que apresentaram maior amplitude entre as três primeiras avaliações (Figura 5), isto pode ter ocorrido pela maior dificuldade de multiplicação inicial das minhocas nestes substratos devido a presença do esterco bovino. O grande aumento pode ser ocasionado pelo lodo de esgoto que serviu como fonte de inóculo de nematóides, entretanto nas contagens seguintes, manteve o mesmo comportamento do tratamento LE, que pode ser explicado com

base nos resultados encontrados para o número de minhocas, semelhantes entre estes substratos.

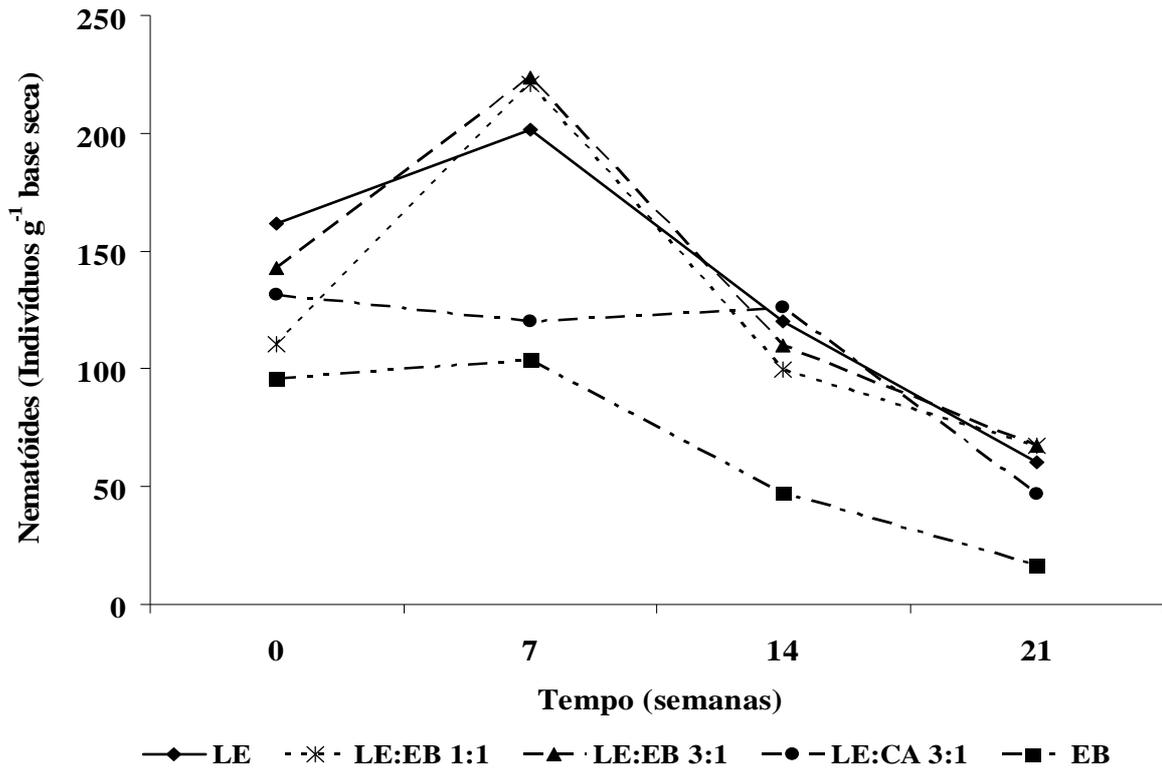


Figura 5 – População de nematóides de vida livre obtidos nos tratamentos para multiplicação das minhocas da espécie *Eisenia andrei*, nos substratos a base de lodo de esgoto (LE), esterco bovino (EB) e casca de arroz (CA), no início, na 7^a, 14^a e 21^a semana do experimento. Diferença mínima significativa (DMS) em nematóides g⁻¹ base seca, de 54,1 entre semanas e 57,7 entre substratos.

Ao contrario do que ocorreu na interação tempo x minhocas, a análise de variância para interação entre o tempo e os substratos foi significativa ($p = 0,002$), indicando influência dos diferentes substratos ao longo do período avaliado (Tabela 6). Esta interação deve-se principalmente ao que ocorreu no substrato LE:CA 3:1.

Tabela 5 – Análise de variância para o efeito dos substratos na densidade de nematóides de vida livre durante a vermicompostagem de lodo de esgoto.

Fatores	F - crítico	F - calculado	p
Tempo	4,31 (1%)	64,34	< 0,001
Substratos	3,82 (1%)	16,73	< 0,001
Tempo x Substratos	2,67 (5%)	3,26	= 0,002

O tratamento LE:CA 3:1 mostrou-se particularmente diferente dos demais, que também obtiveram sucesso na multiplicação das minhocas, no que diz respeito a influência na densidade populacional de nematóides de vida livre (Figura 5). Este proporcionou a manutenção do número de nematóides desde a primeira contagem até a 14ª semana, não permitindo o crescente aumento encontrado no demais substratos do início do experimento até a 7ª semana. Provavelmente a melhora das condições físicas do substrato pela presença da casca de arroz, proporcionou maior velocidade na taxa de reprodução das minhocas (STEFFEN, 2008; MORSELLI; VALENTE, 1997). Este número maior de minhocas refletiu-se na população de nematóides que se manteve constante nas três primeiras avaliações (Figura 5).

A relação entre minhocas e nematóides está ligada a efeitos diretos como ingestão e digestão do primeiro sobre o segundo (DASH et al. 1980), que por consequência altera a fertilidade, a viabilidade e germinação de cistos (ROESSNER, 1981), ou indiretos como modificações na estrutura do sistema, influenciando a disponibilidade alimento (YEATES et al, 1981). Minhocas são conhecidas por atuarem no controle biológico de algumas pragas agroveterinárias, em especial os nematóides. D'alexis et al. (2009) relatam sua ação contra nematóides gastrointestinais em seu estágio de vida livre que ocorre no esterco de caprinos, os autores observaram redução de até 34 % de larvas recuperadas. Blouin et al. (2005) em experimento demonstrando o efeito positivo das minhocas sobre o cultivo de arroz, observou que a diminuição de 82 % na produção de plantas infestadas por nematóides foi suprimida quando as minhocas estavam presentes, embora não tenha ocorrido efeito direto sobre o tamanho da população de nematóides. Na sua presença, entretanto, a biomassa radicular não foi afetada pelos nematóides e a inibição esperada da fotossíntese foi suprimida.

Contudo os resultados encontrados no presente trabalho sugerem um efeito direto, relacionado à predação dos nematóides por parte das minhocas, pois a densidade de minhocas não foi suficiente para transformar totalmente os resíduos a assim provocar competição por

alimento, mesmo no tratamento com casca de arroz em que grande parte do resíduo foi biotransformado.

4.2.2 Presença de coliformes fecais (*Escherichia coli*)

Nas análises referentes a contagem de coliformes fecais, de forma geral todos substratos que possuíam em sua constituição esterco bovino apresentaram concentrações (NMP de coliformes fecais g^{-1} de base seca) maiores em relação aos tratamentos com lodo de esgoto e casca de arroz (Tabela 6).

Tabela 6 – Número mais provável de coliformes fecais (NMPCF) obtidos nos tratamentos à base de lodo de esgoto com (LEcM) e sem (LEsM) minhocas, casca de arroz (CA) e esterco bovino (EB), no início, 7ª e 14ª semana do experimento.

Substratos	Coliformes fecais (<i>Escherichia coli</i>)		
	----- Semanas -----		
	0	7	14
	----- NMPCF g^{-1} base seca -----		
	--		
LEcM	$3,3 \times 10^7$	$4,6 \times 10^5$	$1,51 \times 10^5$
LEsM	$3,5 \times 10^7$	$2,7 \times 10^5$	$1,51 \times 10^5$
LE:EB 1:1	$> 3,8 \times 10^7$	$> 4,2 \times 10^7$	$1,28 \times 10^5$
LE:EB 3:1	$> 4,9 \times 10^7$	$1,9 \times 10^7$	$2,75 \times 10^5$
LE:CA 3:1	$4,0 \times 10^7$	$2,6 \times 10^5$	$1,62 \times 10^5$
EB	$> 3,2 \times 10^7$	$2,5 \times 10^7$	$1,12 \times 10^5$

Segundo as normas estabelecidas pela resolução n° 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA (BRASIL, 2006) a concentração de coliformes fecais segura para uso agrícola do lodo deve ficar abaixo de 10^6 NMPCF g^{-1} de base seca para lodos de classe B e 10^3 NMPCF g^{-1} de base seca para os de classe A. O que se observou do início foram concentrações acima das estabelecidas pela legislação vigente (Tabela 6). Isto atenta

para um problema na qualidade do lodo produzido na ETESM, gerando um material não apropriado para uso agrícola. Além disso, um agravante previsto na resolução n° 375/2006 diz que após cinco anos da data de sua publicação, ao fim de agosto de 2011 todo lodo de esgoto que não se enquadre na classe A será vetado para uso no meio agrícola.

Essas contagens para coliformes fecais não são comuns em lodos de esgoto gerados de sistemas de tratamento por lodo ativado, que possuem uma eficiência de remoção de até 95% para este tipo de patógeno (VON SPERLING et al., 2001). Segundo os autores a queda na qualidade do tratamento está relacionada com o excesso de lodo recirculando no sistema, que leva a formação de uma superpopulação de microrganismos dificultando a transferência de oxigênio para todas as células. Assim para manter o sistema em equilíbrio é necessário que se retire aproximadamente a mesma quantidade de biomassa que é aumentada por reprodução. O lodo utilizado no trabalho passa com frequência por esse tipo de situação, pois os leitos de secagem permanecem sobrecarregados inviabilizando o descarte de novos lotes.

As concentrações mais altas nos tratamentos com esterco bovino já eram esperadas, podendo chegar a mais de 10^9 NMPCF g^{-1} de base seca (DO AMARAL et al., 2004), muito embora este material tenha passado por uma fase termófila antes da inoculação das minhocas, onde segundo a United States Environmental Protection Agency (UNITED STATES, 1993) um período de 3 dias consecutivos a temperaturas de $55^{\circ}C$ são suficientes para que número de patógenos atinja níveis aceitáveis, permitindo a utilização do lodo.

Na segunda avaliação, os tratamentos constituídos de lodo de esgoto e casca de arroz se enquadravam dentro das normas da resolução 375/2006, apresentando concentrações na casa de 10^5 NMPCF g^{-1} de base seca, entretanto não se observou a influência das minhocas, pois tanto o tratamento com minhocas (LEcM) quanto o sem (LEsM) não apresentaram diferença na quantidade de coliformes fecais necessária para seu uso seguro na agricultura (Tabela 6).

A ineficiência do tratamento LEcM na supressão da população de coliformes fecais encontrada neste trabalho diverge da maioria dos estudos encontrados na literatura (DOMINGUEZ et al. 2000; DIONÍSIO; RESSETI, 1997). Trabalhos como o de Resseti et al. (1999) utilizando lodo de esgoto residencial e minhocas da espécie *Eudrilus eugeniae* encontraram no início da avaliação uma concentração de coliformes fecais de $4,7 \times 10^8$ NMPCF $100g^{-1}$ de lodo, sendo que ao final de 109 dias menos de 200 NMPCF $100g^{-1}$ de lodo resistiram ao processo de vermicompostagem. Contreras-Ramos et al. (2005) estudando vermicompostagem de lodo de esgoto e esterco bovino constatou um decréscimo de 100% na população de coliformes fecais em um período de 60 dias. Contudo nos dois trabalhos citados

as densidades de minhocas foram superiores ao presente estudo o que pode explicar a maior eficiência encontrada na utilização da vermicompostagem na higienização do lodo de esgoto.

Desse modo embora as minhocas não terem demonstrado grande contribuição, devido a baixa densidade de indivíduos encontrada, a compostagem do lodo de esgoto na ETE Santa Maria/RS por 7 semanas e do esterco bovino utilizado no experimento por 14 semanas foram suficientes para atingir o padrão estabelecido para uso agrícola.

4.4 Qualidade química dos substratos

Foram encontradas poucas alterações químicas nos substratos no início e no final do experimento (Tabela 8).

Tabela 7 – Características químicas dos substratos utilizados para multiplicação das minhocas, Início (I) e Final (F) do período de 21 semanas de ação das minhocas.

Substrato ¹		pH água 1:1	K	P	N	C	C/N
			----- g kg ⁻¹ -----			----- % -----	
LEcM	I	5,4	1,23	2,10	3,43	22,87	6,67
	F	5,1	1,29	2,04	3,31	23,02	6,95
LEsM	I	5,4	1,23	2,10	3,43	22,87	6,67
	F	5,4	1,15	2,07	3,24	23,90	7,37
LE:EB 1:1	I	7,3	14,11	2,72	2,39	27,38	11,44
	F	6,9	10,56	3,75	2,07	19,27	9,29
LE:EB 3:1	I	5,5	6,57	2,14	2,88	25,02	8,70
	F	5,6	5,86	2,03	2,24	18,97	8,49
LE:CA 3:1	I	5,1	1,48	2,19	3,67	24,23	6,60
	F	5,1	2,09	2,04	3,56	24,48	6,87
EB	I	8,6	24,76	3,64	1,62	18,20	11,23
	F	8,5	14,82	4,97	1,24	13,15	10,60

¹ Lodo de esgoto com (LEcM) e sem (LEsM) minhocas, casca de arroz (CA) e esterco bovino (EB).

Os substratos constituídos de lodo de esgoto puro, ou em misturas com casca de arroz, apresentavam um grau de estabilidade avançado já no início do experimento, isso pode ser constatado através da relação C/N baixa apresentada desde a fase inicial do processo (Tabela 8). Os valores apresentados para estes substratos não mostraram grandes modificações como é de se esperar ao final de um processo de compostagem ou vermicompostagem, onde geralmente ocorre um decréscimo desta relação molar (LOUREIRO et al. 2007). O fato decorre principalmente do período de permanência em leitos de secagem por aproximadamente um mês antes que este fosse coletado e utilizado no experimento, e após esta coleta esse ainda ficou acondicionado por mais 20 dias em recipientes plásticos antes de receberem a inoculação das minhocas. Então com este período de quase 2 meses, além do tratamento prévio do material na estação de tratamento de esgotos já foram suficientes para estabilizar o material.

A relação C/N do lodo de esgoto de natureza residencial varia muito, de local para local, conforme o tipo de tratamento e também dentro de um mesmo local e tratamento. Pequeno et al. (2008) utilizando um lodo de origem residencial, porém tratado anaeróbicamente encontrou relação C/N de 26,5. Giacomini et al. (1997) também trabalhando com o lodo gerado na ETE Santa Maria/RS, determinou a relação C/N ao final do período de vermicompostagem encontrando o valor de 9,2. Por isso os valores estabelecidos no presente trabalho possivelmente sejam únicos, passíveis de modificações dependentes da qualidade atual do tratamento do esgoto.

Os tratamentos com esterco bovino, puro ou em misturas, tiveram certa redução na sua relação C/N, demonstrando que o processo de compostagem ocorreu mais acentuadamente nestes materiais, principalmente onde a mistura recebera menor concentração de lodo, no caso do substrato LE:EB 1:1 (Tabela 8). Da mesma maneira que no lodo de esgoto, a relação C/N varia muito para o esterco bovino, um exemplo está em um levantamento realizado por Antonioli et al. (2002) quando, entre diversos vermicompostos oriundos exclusivamente de esterco bovino produzidos em diferentes cidades do Rio Grande do Sul, encontraram variações de 7 até 33. Embora se padronize como composto estável um material com relação C/N igual ou menor que 18 (KIEHL, 1985).

Os valores de pH pouco variaram dentro dos tratamentos ficando dentro da faixa encontrada para materiais de natureza semelhante (PEQUENO et al. 2008; VIDAL et al. 2007; ANTONIOLLI et al. 2002).

Em geral houve uma queda nas concentrações de nutrientes (Tabela 8), isto pode ter ocorrido devido ao chorume que se perdia, pois os recipientes continham pequenos orifícios para liberação do excesso de água deste material.

Como o processo de vermicompostagem não foi completo para todos os tratamentos, principalmente pela baixa densidade inicial de minhocas, poucas alterações químicas foram constatadas, entretanto conforme o conceito de estabilidade biológica para resíduos orgânicos está intimamente ligada a relação molar C/N, todos os materiais estudados se enquadram na faixa considerada ideal para uso como fertilizante orgânico na agricultura.

5 CONCLUSÕES

O lodo de esgoto gerado na Estação de Tratamento de Esgotos de Santa Maria/RS é viável como substrato para multiplicação de minhocas da espécie *Eisenia andrei*, seja na sua forma pura ou em misturas com esterco bovino e casca de arroz.

A presença de minhocas no lodo de esgoto, casca de arroz e esterco bovino reduz e ou mantém a população de nematóides de vida livre.

A quantidade de coliformes fecais no lodo de esgoto reduziu, permanecendo dentro dos parâmetros estabelecidos por lei, entretanto não foi verificada influência das minhocas no processo.

A ação das minhocas não alterou significativamente a qualidade química dos compostos produzidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, C.M.C. et al . Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1897-1902, 2004.

ANTONIOLLI, Z. I. et al. **Minhocultura e vermicompostagem**. Santa Maria:Universidade Federal de Santa Maria: Departamento de Solos, 2002. 24 p. (Boletim Técnico; 3).

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

AQUINO, M. A. et al. Reprodução de minhocas (*Oligochaeta*) em esterco bovino e bagaço de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 161-168, 1994.

ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. Curitiba: Sanepar; Finep, 1999. 288p.

ATIYEH, R. M. et al. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. **Pedobiologia**, Jena, v. 44, p. 709-724, 2000.

BENTO, A.P. et al. Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p. 329-338, 2005.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000, 312p.

BLOUIN, M. et al., 2005. Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, including plant tolerance to parasites. **Ecology Letters**, Oxford, v. 8, p 202–208, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 375/2006, de 30 de agosto de 2006** – In: Resoluções, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br> Acesso em: 09. set. 2009.

BROWN, G. G.; JAMES, S. W. 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, 2007. 545 p.

CANTERI, M. G. et al. SASM-Agri – Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**. Ponta Grossa, v. 1, p.18-24, 2001.

CESAR, R. G. et al. Avaliação do Potencial Tóxico de Latossolos e Chernossolos Acrescidos de Lodo de Esgoto Utilizando Bioensaios com Oligoquetas da Espécie *Eisenia andrei*. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 31, n. 2, p. 53-60, 2008.

CONTRERAS-RAMOS, S. M.; ESCAMILLA-SILVA E.M.; DENDOOVEN, L. Vermicomposting of biosolids with cow manure and oat straw, **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 41, p. 190–198, 2005.

CORRÊA, R. S. **Beneficial use of biosolids based on their N and P fertilising value**. 2001,305f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - University of Melbourne, Melbourne.

CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F.; CORRÊA, A. S. Produção de biofóssidoagrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.4, p.420–426, 2007

DA SILVA, W. T. L. et al. **Método de aproveitamento biofóssido proveniente de lodo de esgoto residencial através de processo de compostagem seguido de biodigestão anaeróbia**. São Carlos: Embrapa Instrumentação agropecuária, 2004. 51 p. (Documentos EMBRAPA; 13).

DA SILVA, J. F et al. O desempenho de minhocas (*Eisenia foetida*) em diferentes resíduos. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA CIÊNCIAS AGRÁRIAS, 13., 2005, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPel. Relação de trabalhos, 2005.

DASH, M. C.; SENAPATI, B. K.; MISHRA, C. C. Nematode feeding by tropical earthworms. **Oikos**, Copenhagen, v. 34, p. 322–325, 1980.

D’ALEXIS, S. et al. Influence of earthworms on development of the free-living stages of gastrointestinal nematodes in goat faeces. **Veterinary Parasitology**, Amsterdam, v. 163, n. 1, p. 171-174, 2009.

DE MARIA, I.C.; KOCSSIS, M.A.; DECHEN, S.C.F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 291-298, 2007.

DIONÍSIO, J. A.; RESSETI, R. R. Avaliação da capacidade da minhoca *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) de desinfecção e desinfestação do lodo de esgoto. Sanare, **Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v.8, n.8, p.50-55, 1997.

DOMINGUEZ, J.; PARMELEE, R. W.; EDWARDS, C. A. Interactions between *Eisenia andrei* (Oligochaeta) and nematode populations during vermicomposting. **Pedobiologia**, Jena, v. 47, n. 1, p. 53–60, 2003.

DOMÍNGUEZ, J.; EDWARDS C. A.; WEBSTER, M. Vermicomposting of sewage sludge: Effect of bulking materials on the growth and reproduction of the earthworm *Eisenia Andrei*. **Pedobiologia**, Jena, v. 44, n. 1, p. 24-32, 2000.

GIACOMINI, S. J. et al. Utilização do lodo de esgoto da estação de tratamento de santa maria na vermicompostagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro. Relação de trabalhos, 1997.

GIRACCA, E. M. N. **Efeito do calcário em atributos biológicos do solo**. 2005. 61 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

GUPTA, R.; GARG, V. K. Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 153, p. 1023–1030, 2008.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, Maryland, v. 48, n. 9, p.692, 1964.

LOUREIRO, D.C. et al. Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n.7, p. 1043-1048, 2007.

KHWAIRAKPAM, M.; BHARGAVA, R. Vermitechnology for sewage sludge recycling. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v.161, p. 948–954, 2009.

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

MABOETA, M. S.; VAN RENSBURG, L. Vermicomposting of industrially produced woodchips and sewage sludge utilizing *Eisenia fetida*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 56, p. 265–270, 2003.

MAEDA, S. et al. Resíduos Industriais e Dejetos da Caprinocultura como Componentes de Substratos para Produção de Mudanças de *Eucalyptus badjensis*. **Boletim Pesquisas Florestal**, Colombo, n. 53, p. 3-20, 2006.

MARCHIORATO, I. A. et al. Medidas de espectrorradiometria de campo para detecção de *Meloidogyne incognita* em lavoura de algodão. **Summa Phytopathologica**, Jaguariuna, v.28, p.248- 252. 2002.

MIGDALSKI, M. C. **Criação de minhocas**. Viçosa: Aprenda fácil, 2001. 118 p.

MORSELLI, T. B. G. A.; VALENTE, B. Variação populacional de *E. foetida* em diferentes misturas de resíduos orgânicos oriundos da propriedade rural. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 2, p. 54-57, 1997.

PAULUS, G. et al. **Agroecologia aplicada**: praticas e métodos para uma agricultura de base ecológica. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000. p. 86

PEQUENO, P. L. L. et al. Caracterização Química do Lodo de Esgoto Tratado (Biossólido) para Uso Agrícola e Florestal no Estado de Rondônia. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA E EXTENSÃO RURAL – SEPEX, 2. 2008, Porto Velho. **Anais...Porto Velho**. Relação de trabalhos, 2008.

PEREIRA, E. W. L. et al. Produção de vermicomposto de diferentes proporções de esterco bovino e palha de carnaúba. **Caatinga**, Mossoró, v. 18, n. 2, p. 112-116, 2005.

RESSETTI, R. R.; SOCCOL, V. T.; KASKANTZIS NETO, G. Aplicação da vermicompostagem no controle patogênico do composto de lodo de esgoto. **Sanare**, Curitiba, v.12, n.12, p.61-70, 1999.

RESSETTI, R. R.; SOCCOL, V. T.; NETO, G. K.aplicação da vermicompostagem no controle patogênico do composto de lodo de esgoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 13., 2000, São Pedro. **Anais... São Pedro**: UNICAMP. Relação de trabalhos, 2000.

ROESSNER, J. Einfluss von Regenwürmern auf phytoparasitäre Nematoden. **Nematologica**, Lieden, v. 27, 339–347, 1981.

SCHIAVON, G. de A. et al. Efeito da casca de arroz no crescimento e reprodução de minhocas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 995-999, 2007.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D. Alternativa agronômica para o biossólido produzido no Distrito Federal: I. Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em latossolo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.26, p.487-495, 2002.

SILVA, J. A. L. et al. Levantamento da ocorrência do nematóide de cistos da soja (*Heterodera glycines*) em áreas de cultivo de soja (*Glycine max*) no cerrado do Piauí. **Comunicado Técnico**, n. 6, p. 1-4, 2006.

SILVA, F. DE A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p71-78, 2002.

STEFFEN, G. P. K. **Substratos à base de casca de arroz e esterco bovino para a multiplicação de minhocas e produção de mudas de alface, Tomateiro e boca-de-leão**. 2008, 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995, 174 p.

UNITED STATES. United States Environmental Protection Agency – USEPA. **Title 40 CFR – Part 503. Final rules: Standards for the use or disposal of sewage sludge**. Federal Register, v. 58, p. 9387-9415, 1993.

VENETTE, R. C.; FERRIS H. Thermal constraints to population growth of bacterial-feeding nematodes. **Soil Biology.Biochemistry**, Elmsford, v. 29, n. 1, p. 63-14, 1997.

VIDAL, V. M.; VITTI, M. R.; MORSELLI, T. B. G. A. Caracterização química de vermicompostos de diferentes substratos orgânicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**. Pelotas, v.2, n.1, p.1321-1324, 2007.

VON SPERLING, M. et al. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistema de lodos ativados. In: CHERNICHARO, C.A.L. (Org.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. 1 ed. Rio de Janeiro: PROSAB/ABES, 2001, p. 279-331.

YEATES, G.W. Soil nematode populations depressed in the presence of earthworms. **Pedobiologia**. Jena, v. 22, p. 191–195. 1981.

Estudo II

LODO DE ESGOTO COMO SUSTRATO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Pinus elliottii* Engelm INOCULADAS COM FUNGO ECTOMICORRÍZICO

1 RESUMO

A produção de mudas é considerada uma das etapas mais importantes quando se trabalha com espécies florestais, onde a escolha de um substrato é crucial para produção de uma boa muda. Contudo, a aquisição de substratos comerciais onera os custos de produção, além de estes muitas vezes não atenderem aos requisitos necessários para plena produção das mudas, apresentando deficiências físicas, químicas e ou biológicas. Isso torna necessária a busca por alternativas de baixo custo e de grande disponibilidade. O estudo teve como objetivo verificar o potencial do lodo de esgoto da Estação de Tratamento de Esgoto de Santa Maria/RS, como substrato na produção de mudas de *Pinus elliottii* inoculadas com o fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124, utilizando o resíduo puro ou em misturas com o substrato turfa fértil e um substrato a base de solo. Caracterizou-se os substratos química e fisicamente, posteriormente avaliaram-se parâmetros produtivos das mudas, determinando suas fitomassas secas de raiz e parte aérea, altura, diâmetro de colo, índice de qualidade de Dickson, além do percentual de colonização micorrízica. As mudas inoculadas com o fungo ectomicorrízico, produzidas em turfa fértil e nas misturas LE:TF em todas proporções alcançaram os melhores resultados para os parâmetros de produtividade. O lodo de esgoto serviu como um condicionador físico quando utilizado em mistura com o substrato a base de solo, contribuindo para o aumento da produtividade das mudas de pinus. O lodo de esgoto, em mistura com turfa fértil e substrato a base de solo, apresenta potencial para ser utilizado na produção de mudas de *P. elliottii*. inoculadas com o fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124.

Palavras-chave: Substrato, silvicultura, micorríza.

2 INTRODUÇÃO

A produção de mudas é considerada uma das etapas mais importantes na silvicultura, pois o produto final depende muito do estabelecimento a campo das mudas. Neste sentido busca-se produzir mudas vigorosas, de qualidade, com bom desenvolvimento de raízes e da parte aérea, além de bons aspectos fisiológicos ou nutricionais, resistindo assim as condições adversas no campo. Para atingir estas exigências, além de se trabalhar com materiais genéticos de alto padrão e manter as condições fitossanitárias (GOMES et al., 2002), é necessário fazer uso de um substrato de qualidade, que possibilite a produção de uma boa muda (OLIVEIRA et al., 2008).

A escolha de um substrato vai depender das necessidades da cultura de interesse, todavia este deve assegurar estabilidade à planta, permitindo a fixação do sistema radicular, garantir o fornecimento de água e nutrientes, assim como possibilitar as trocas gasosas entre raiz e atmosfera (LAMAIRE, 1995), além disso, os custos na aquisição e a quantidade disponível também devem ser levados em conta quando se optar por um substrato.

A aquisição de substratos é responsável por até 38 % do custo de produção das mudas (GUIMARÃES et al., 1998), sendo que os substratos comerciais utilizados, geralmente, apresentam boas características físicas, necessitando de complementação nutricional via solução química (LOPES, 1996), onerando ainda mais os custos da produção.

Alternativas vêm sendo testadas como forma de substituir estes materiais e diminuir os custos: o uso de casca de arroz carbonizada (AGUIAR et al., 1989; TERRA et al. 2007), vermicomposto de esterco bovino (CALDEIRA et al., 2003; STEFFEN, 2008), esterco bovino curtido (NETO et al., 1999), compostos orgânicos oriundos da compostagem dos mais diversos materiais (CALDEIRA et al. 2008), inclusive lodo de esgoto (FUENTES et al., 2007), um resíduo rico em matéria orgânica e nutrientes, de custo zero e grande disponibilidade.

Porém, estes substratos muitas vezes não atendem aos requisitos necessários para uma produção plena das mudas, apresentando deficiências físicas, químicas e ou biológicas. Uma solução viável para este problema é a utilização de misturas de diferentes substratos, afim de obter um material física, química e biologicamente completo. Entretanto, trabalhos de pesquisa devem ser realizados para que se consiga um material estas qualidades.

No município de Santa Maria, RS, estão instalados dois órgãos do governo do estado, a Estação de Tratamento de Esgotos (ETESM), administrada pela CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento) e a FEPAGRO (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária) unidade de desenvolvimento florestal. A ETESM gera um lodo predominantemente residencial, com baixos níveis de metais (Tabela 2) e de boa qualidade sanitária, possibilitando seu uso agroflorestal. Contudo, o material é subutilizado, permanecendo armazenado nos leitos de secagem, o que acaba por prejudicar o processo de tratamento biológico do esgoto, pois todo o excesso de lodo permanece recirculando no sistema (VON SPERLING et al., 2001). A unidade da FEPAGRO desenvolve um trabalho visando a produção e comercialização de espécies florestais nativas e exóticas. A produção das mudas é baseada na fertilização mineral, pois o substrato utilizado é basicamente constituído de solo mineral, isso aumenta os custos da produção, pela necessidade de aquisição de fertilizantes, além de ser ambientalmente incorreto, por implicar em exploração de recursos naturais não renováveis.

Devido à proximidade geográfica dessas duas, há possibilidade de benefício mútuo, a utilização do lodo de esgoto gerado na ETESM como substrato para produção de mudas florestais na FEPAGRO Florestas surge como uma alternativa de otimização do sistema de tratamento do esgoto para a ETESM, pois possibilitaria a liberação de espaço físico no leitos de secagem, permitindo o fluxo de descarte de lodo mais constante, e o aproveitamento desse material em substituição ao substrato utilizado atualmente implicaria na redução dos custos da produção de mudas pela FEPAGRO Florestas.

Dentre as essências florestais produzidas nesta instituição destacam-se o eucalipto e o pinus, devido principalmente ao grande apelo comercial que estas possuem no cenário nacional, sendo utilizadas em vários ramos da indústria. O pinus em relação ao eucalipto apresenta uma característica peculiar, sua forte dependência da relação simbiótica planta-fungo, com fungos ectomicorrízicos (MOLINA; TRAPPE, 1984; MIKOLA, 1973).

Estes fungos possibilitam um incremento de produtividade devido principalmente ao prolongamento das hifas no solo e da modificação da arquitetura das raízes (BRUNDRETT, 1996), permitindo maior aproveitamento da água e nutrientes. Sabe-se que a micorrização de raízes pode ser influenciada, e muitas vezes inibida, como na presença de altas doses de fósforo (MELLO, 2006) e ou níveis elevados de alguns micronutrientes fungistáticos como o cobre (LINZ, 2006) Sendo que ambos elementos podem estar presentes em maior ou menor concentração no lodo de esgoto.

A utilização de lodos de esgoto como substrato para produção de mudas micorrizadas, ainda é pouco estudada, principalmente por se tratarem de materiais muito heterogêneos, o que dificulta um diagnóstico generalista. Por isso são necessárias avaliações individualizadas para cada tipo de lodo, conforme sua origem, e deste modo obterem-se dados mais precisos sobre proporções utilizadas na produção destas mudas.

O trabalho teve como objetivo estudar a potencialidade do lodo de esgoto da ETESM como substrato na produção de mudas de *Pinus elliottii* inoculadas com fungo ectomicorrízico.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado na casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, RS, durante o período do início do mês de outubro até metade do mês de dezembro de 2009, num total de 80 dias.

3.2 Substratos de produção das mudas

Para este experimento foram utilizados quatro substratos diferentes, com a finalidade de testar a eficiência do lodo de esgoto na produção de mudas de *P. elliotii*, utilizado puro ou em misturas. Os substratos foram: 1) lodo de esgoto proveniente da ETESM; 2) Turfa Fértil sem adição de fósforo, comercializada pela empresa Floresta S.A.; 3) vermicomposto de esterco bovino e 4) substrato utilizado pela FEPAGRO (Fundação Estadual de pesquisa Agropecuária) Florestas, unidade de Santa Maria/RS, para produção de mudas florestais, constituído de uma mistura de solo, calcário, casca de arroz carbonizada e adubação fosfatada, denominado aqui de substrato F.

Antes da instalação dos tratamentos, o lodo de esgoto foi preparado, sendo seco ao ar, moído e peneirado em peneira de 2 mm, para os demais substratos esta etapa não foi necessária.

3.3 Unidades experimentais

Utilizaram-se tubetes de plástico com capacidade de 100 cm³ com fundo preenchido com bucha de algodão, que receberam os substratos testados puros ou em misturas por volume (v:v), inoculados ou não com isolado de fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124. Foram

utilizados os quatro materiais sem mistura, o lodo de esgoto (LE), turfa fértil (TF), vermicomposto de esterco bovino (VEB), e substrato F (F), além destes mais seis misturas, LE com TF nas proporções, 3:1, 1:1 e 1:3 respectivamente, e LE com F nas mesmas proporções. Todos os dez tratamentos tiveram sua respectiva forma inoculada com fungo ectomicorrízico, totalizando os vinte tratamentos. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, num esquema bifatorial de 2 x 10, com e sem inoculação do fungo ectomicorrízico e 10 substratos, em 7 repetições, totalizando 140 unidades experimentais.

3.4 Isolado ectomicorrízico

O inóculo inicial do isolado de fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124 (*Scleroderma citrinum*), foi obtido à partir da multiplicação e crescimento da cultura em meio Melin-Norkrans Modificado sólido (MNM) (MARX, 1969), em placas de Petri, mantidos em estufa a 25 ± 1 °C, durante 30 dias. Posteriormente, foram realizadas suspensões micelianas em 25 mL no mesmo meio de cultura sem adição de ágar, em erlenmeyers de 250 mL, a partir de discos de 10 mm de diâmetro obtidos das culturas em placa, seguindo-se de incubação em estufa durante 42 dias.

Após, o conteúdo total de todos erlenmeyers foi fragmentado em 700 mL de meio de cultura MNM líquido, em liquidificador, durante 5 segundos. Finalmente, inoculou-se 10 mL desta suspensão em cada tubete, quando as mudas alcançaram sete dias após transplante (DAT).

3.5 Sementes

As sementes de *P. elliotii* foram obtidas na FEPAGRO Florestas com sede em Santa Maria/RS. Efetuou-se quebra de dormência através da permanência das sementes submersas em água por 16 horas. Posteriormente as sementes foram pré-germinadas durante 7 dias em uma incubadora, mantendo-se a temperatura de 20°C. Para isso, foram inicialmente

desinfestadas em álcool 70% por 30 segundos, lavadas em água destilada, e transferidas para algumas placas de Petri contendo papel toalha umedecido.

3.6 Cultivo das mudas

Transplantou-se 3 plântulas por tubete, e após 7 dias do transplante efetuou-se raleio, mantendo uma plântula por tubete. As mudas foram mantidas em casa de vegetação por 80 dias, sendo a umidade repostada diariamente com água destilada.

3.7 Caracterização química dos substratos

Foram determinadas as concentrações de N total, C, P, K, Ca, Mg, Cu, Zn o pH em água e relação C/N, CTC efetiva e saturação por bases, segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

3.8 Caracterização física dos substratos

Foi determinada a densidade seca, utilizando metodologia proposta por HOFFMANN (1970) modificada, não usou-se proveta plástica, e sim o próprio tubete com volume conhecido (100 cm³). Os substratos, referentes aos 20 tratamentos, foram preparados da mesma maneira de quando montou-se o experimento de produção das mudas, obtendo-se um volume final de 100 cm³. Estes foram pesados, e descontou-se o peso do tubete, tendo assim sua massa úmida, em seguida o material foi seco em estufa a 65°C para obtenção da massa seca. Com base nestes dados, através das equações (1) e (2) descritas a seguir, determinou-se as densidades úmida e seca, respectivamente:

$$d \text{ úmida} = (M \text{ úmida} / V) \cdot 1000 \quad (1) \quad d \text{ seca} = (d \text{ úmida} / 100) \cdot MS \quad (2)$$

onde:

d úmida = densidade úmida do substrato (g dm^{-3});

M úmida = massa úmida do substrato (g);

V = volume do substrato (cm^3);

d seca = densidade seca (g dm^{-3});

M seca = massa seca do substrato (%).

Determinou-se também porosidade, espaço de aeração e água disponível, obtidos a partir de curvas de retenção de água nas tensões 0, 10, 60 e 100 cm de coluna de água, segundo metodologia proposta por De Boodt e Verdonck (1972) modificada.

Para isto utilizaram-se anéis volumétricos com volume de $102,07 \text{ cm}^3$ com fundo vedado por tecido de nylon preso por atilho de borracha. Estes foram preenchidos com os substratos com base na respectiva densidade úmida, utilizando a equação (3):

$$M \text{ para cilindro} = (V \text{ cilindro} \cdot d \text{ úmida}) / 1000 \quad (3)$$

Onde:

M para cilindro = massa do substrato para cilindro (g);

d úmida = densidade úmida do substrato (g dm^{-3});

V = volume do cilindro (cm^3).

Com base nos dados de cada tensão foram determinados os parâmetros macro (MaP) e microporosidade (MiP) segundo Oliveira (1968), porosidade total (PT), espaço de aeração (EA), água disponível (AD) e água remanescente (AR) conforme Scivittaro et al. (2007).

3.9 Avaliações

Após 80 dias as mudas foram avaliadas quanto a sua altura, diâmetro do colo, fitomassa seca de raízes, parte aérea, colonização micorrízica e índice de qualidade de mudas de Dickson (DICKSON et al., 1960). Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Utilizou-se o programa estatístico ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2002).

3.9.1 Altura e diâmetro do colo das mudas

Para determinação da altura das mudas, foi utilizada régua graduada em centímetros, medindo-se a muda desde sua base até sua última acícula. Para medição do diâmetro de colo, utilizou-se um paquímetro graduado em milímetros, tomando como referência para esta medida 0,5 cm acima da base das mudas.

3.9.2 Fitomassa seca de raiz e parte aérea das mudas

As mudas foram fracionadas em parte aérea e raiz, onde a parte aérea foi levada a estufa a 75°C para obtenção de sua fitomassa seca. As raízes foram lavadas em peneiras, após seccionadas em pedaços de 1 cm e acondicionadas em frascos plásticos contendo álcool 10% para contagem de colonização micorrízica. Posteriormente secas em estufa, assim como realizado com a parte aérea, obtendo-se a sua fitomassa seca.

3.9.3 Colonização micorrízica

A colonização micorrízica foi determinada pela técnica das interseções de Giovanetti; Mosse (1980), modificado por Brundrett et al. (1996). Esta consistiu em espalhar aleatoriamente as raízes seccionadas no interior de placas de Petri (diâmetro de 9 cm) apresentando a superfície inferior reticulada em quadrados de 1 cm de lado. As raízes assim distribuídas foram observadas em lupa binocular (20X), registrando-se a presença ou ausência de colonização micorrízica nos pontos de intersecção entre as raízes e as linhas da placa.

3.9.4 Índice de qualidade de mudas

Foi utilizado o índice de Dickson (IQD), em função da altura (A), o diâmetro de colo das mudas (DC), suas massas secas, parte aérea (FMSPA), raiz (FMSR) e total (FMST), por meio da equação (4) (DICKSON et al., 1960).

$$\text{IQD} = \frac{\text{FMST (g)}}{\text{A (cm) / DC (mm) + FMSPA (g) / FMSR (g)}} \quad (4)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parâmetros químicos dos substratos

Os substratos utilizados para produção de mudas de *P. elliptii* apresentaram características químicas diferentes entre si (Tabela 8).

Tabela 8 – Características químicas dos substratos utilizados para produção de mudas de *P. elliptii*.

Subst. ¹	pH	Ca	Mg	CTC efet.	Sat. Bases	N total	C	C/N	Cu	Zn	K	P
	água											
	1:1	--- cmol _c dm ⁻³ ---			----- % -----			mg dm ⁻³		g kg ⁻¹		
LE	5,4	29,6	4,0	35,6	90	3,4	22,9	6,7	2,5	43,0	1,23	2,10
TF	5,2	22,6	3,4	29,6	90	1,3	43,3	33,3	0,1	2,2	0,52	0,08
VEB	6,8	7,3	8,0	17,3	90	1,1	10,3	9,4	0,3	27,0	4,57	6,36
F	5,3	4,3	2,2	8,4	72	0,3	1,9	6,3	0,4	4,3	0,72	0,23
Média ²	5,5	15,0	10,0	-	-	0,2	-	15,0	4,0	15,0	1,2	0,40
Mínimo ³	-	-	-	12,0	-	-	-	-	-	-	-	-

¹ Lodo de esgoto (LE), turfa fértil (TF), vermicomposto de esterco bovino (VEB) e substrato F (F). ² médias ou ³ mínimo requerido em substratos para produção de mudas florestais em tubetes. Gonçalves; Poggiani (1996); Valeri; Corradini (2000); Silveira; Higashi (2002).

Todos os substratos apresentaram valores de pH semelhantes, variando na faixa de 5,2 e 5,4, exceto para o VEB que apresentou pH de 6,8. A CTC efetiva, capacidade de troca de cátions no pH do material, foi considerada acima do limite mínimo de 12 cmol_c dm⁻³ para substratos utilizados na produção de mudas em recipientes (PENNINGSFELD, 1983). Porém apenas para os substratos constituídos de materiais predominantemente orgânicos, LE, TF, e VEB, apresentando CTC de 35,6, 29,6 e 17,3 cmol_c dm⁻³, respectivamente. Isto pode ter ocorrido pela alta área superficial específica que a matéria orgânica possui contribuindo para o aumento da CTC (MEURER et al., 2004). Em contrapartida o substrato F, por ser basicamente composto por solo obteve uma CTC abaixo do referido limite, com 8,4 cmol_c dm⁻³ (Tabela 8). Esses dois parâmetros são os principais atributos químicos monitorados em

substratos (KAMPF, 2000). Pois segundo Sodr e et al. (2005) a faixa ideal de pH para os cultivos varia com a espécie vegetal escolhida, tornando-se importante a escolha do substrato quando não pretende-se efetuar a correção deste via calagem. A CTC torna ainda mais importante a escolha do substrato com um valor ótimo deste parâmetro, pois esta é estreitamente dependente da frequência de fertirrigação. Se a fertirrigação for aplicada permanentemente, a capacidade de adsorção de c t es não se constitui em vantagem, sendo neste caso recomendável   utilização de substratos inertes, com CTC muito baixa. Caso não for utilizada a fertirrigação, ou for aplicada de modo intermitente, é conveniente a utilização de substratos com CTC elevada (LUDWIG et al. 2008).

Em geral as concentrações de macro e micronutrientes ficaram dentro dos valores médios estabelecidos para substratos na produção de mudas florestais. Contudo, destacaram-se os teores de potássio e fósforo para o substrato VEB, ficando bem acima da média requerida, 4,57 e 6,36 g kg⁻¹ de substrato, respectivamente (Tabela 8). Estes teores são semelhantes aos encontrados por Vidal et al. (2007) que mediante caracterização química de vermicomposto procedente de esterco bovino encontraram para potássio 6,24 g kg⁻¹ e para fósforo 6,40 g kg⁻¹ de substrato.

Na análise de micronutrientes foram encontrados, nos substratos LE e VEB teores de zinco acima do requerido pelas mudas para seu desenvolvimento satisfatório, com 43 e 27 mg dm⁻³ respectivamente (Tabela 8). Entretanto são concentrações bem abaixo das encontradas por Pequeno et al. (2008) que avaliaram as condições químicas de lodo de esgoto para uso agroflorestal, encontrando 728 mg kg⁻¹ de base seca.

Como   difícil a obtenção de um material que possua todos os parâmetros químicos necessários para o bom desenvolvimento de mudas florestais, deve haver a busca de misturas entre substratos que se encaixem da melhor maneira possível suprimindo as necessidades da cultura escolhida para produção.

4.2 Parâmetros físicos dos substratos

Os valores encontrados para densidade seca variaram de 267 e 1265 g dm⁻³ (Tabela 9). Vários valores são atribuídos como ideais para produção de mudas. Segundo Petry (1999) a densidade seca deve estar em torno de 350 a 500 g dm⁻³, para Bunt (1973) esta amplitude se

reduz ficando entre 400 e 500 g dm⁻³. Contudo este parâmetro está relacionado com a cultura a ser produzida e o tipo de recipiente utilizado (SCIVITTARO et al 2007).

Assim para produção de pinus que geralmente são produzidos em tubetes, estipula-se densidades secas entre 250 e 500 g dm⁻³ (GONÇALVES; POGGIANI, 1996). Dentre os materiais utilizados neste experimento se enquadram nesta classificação o TF, VEB e as misturas LE:TF 1:3, LE:TF 1:1, LE:TF 3:1 (Tabela 9). Estes resultados demonstram a vantagem de se utilizar misturas entre substratos, onde a TF agiu sobre o LE como um condicionador da densidade, permitindo a melhoria deste atributo no lodo de esgoto até quando a turfa foi utilizada em apenas 25% da mistura. As misturas entre LE e substrato F contribuíram para a melhora da densidade em relação ao uso do substrato F puro (Tabela 9). Onde neste caso o lodo foi o agente condicionante, entretanto não houve melhora suficiente para que estas misturas entrassem na faixa ideal de densidade seca.

Embora o substrato LE não tenha se enquadrado na classificação proposta pelos autores, obtendo um valor pouco acima do estabelecido com densidade seca de 548 g dm⁻³ e em virtude de suas qualidades químicas (Tabela 8), este não deve ser descartado como substrato para produção de mudas de pinus.

Este atributo físico é importante, pois os valores de densidade seca determinados para os substratos compostos neste estudo indicam que estes materiais não apresentarão problemas quanto a restrição mecânica ao crescimento radicular das plantas quando a densidade é alta, nem comprometendo a estabilidade das mudas, que ficam sujeitas ao tombamento quando a densidade se torna muito baixa (RODRIGUES, 2001).

Além da densidade seca, outras características físicas são de extrema importância quando se opta por um substrato, entre as mais importantes estão a macro e microporosidades que formam a porosidade total, o espaço de aeração e a água disponível para as plantas (KÄMPF, 2000; SANTOS et al., 2002).

Todos substratos avaliados apresentaram valores de porosidade total próximos ou superiores a 75 % (GONÇALVES; POGGIANI, 1996), exceto os substratos F e LE:F 1:3 onde foram encontrados 49 e 63 % (Tabela 9).

Tabela 9 – Porcentagem Porosidade total (PT), sólidos, macroporosidade (MaP), microporosidade (MiP), água disponível (AD), água remanescente (AR), densidade seca (DS) e espaço de aeração (EA) dos substratos em relação ao volume.

Substratos ¹	PT	Sólidos	MaP	MiP	AD	EA	AR	DS
	----- % -----							g dm ⁻³
LE	83,5	16,5	22,0	61,5	3,3	19,9	60,3	548
TF	76,1	23,9	32,8	43,3	20,4	15,4	40,3	267
VEB	81,3	18,7	37,4	43,9	13,0	25,8	42,5	388
F	49,2	50,8	15,1	34,1	14,3	6,2	28,7	1255
LE:TF 1:3	73,0	27,0	22,1	50,8	10,4	13,2	49,4	397
LE:TF 1:1	77,2	22,8	25,4	51,8	9,2	17,6	50,4	409
LE:TF 3:1	83,9	16,1	23,0	60,9	7,1	17,2	59,6	485
LE:F 1:3	63,9	36,1	20,8	43,1	16,8	7,6	39,5	1078
LE:F 1:1	75,7	24,3	20,5	55,2	8,7	12,8	54,2	1026
LE:F 3:1	77,0	23,0	20,0	57,0	10,5	11,3	55,2	846

¹ Lodo de esgoto (LE), turfa fértil (TF), vermicomposto de esterco bovino (VEB), Substrato F (F).

A porosidade é importante, porém isoladamente não traduz a qualidade física de um substrato. Desse modo, a porosidade deve ser interpretada de maneira fracionada, delimitando-a em macro e microporosidade, associando estes dados a proporção de poros ocupada por ar e por água, os quais são indicados pelo espaço de aeração e disponibilidade de água (SCIVITTARO et al., 2007).

Os substratos que continham em sua constituição lodo de esgoto apresentaram grandes quantidades de microporos, variando de 67 a 74 % da porosidade total. Segundo Schmitz et al. (2002) a maior presença de microporos, incide na maior quantidade de água remanescente. Para o tratamento LE, que apresentou grandes quantidades de microporos, onde foi verificado também uma baixa quantidade de água disponível, apenas 3,3 % (Tabela 9). Ficando a maior fração de água retida como água remanescente que teoricamente seria indisponível para as plantas (SCIVITTARO et al., 2007). Isto mostra que o lodo de esgoto utilizado de forma pura apresenta problemas relativos a disponibilidade de água para as plantas, pois quando utilizado necessitará de freqüentes irrigações para manter o crescimento satisfatório das mudas.

Uma distribuição da porosidade mais equilibrada foi encontrada para os substratos TF, VEB e substrato F. Contudo isso não se refletiu no fator disponibilidade de água, onde apenas o substrato TF alcançou o limite mínimo de 20 % de água disponível proposto por Fermino

(1996), ficando com 20,4 % (Tabela 9). Esta variação de água disponível entre substratos com microporosidade semelhante pode ser explicada pela diferença entre tamanho de partículas (Schmitz et al., 2002), onde possivelmente para o VEB pode ter ocorrido menor quantidade de partículas inferiores a 1 mm.

A forma como estas partículas se arranjam também pode interferir, Schmitz et al. (2002) trabalhando com diferentes substratos de origem mineral e orgânica encontraram para um material constituído de solo uma maior uniformidade na distribuição de partículas, isto segundo Ferraz et al. (2005) leva a uma menor compactação com a pequena compressão exercida durante o enchimento dos cilindros, o que pode explicar o conteúdo de água disponível neste material, que permaneceu próximo do requerido de 20 %. Em contrapartida os materiais em mistura que apresentam distribuição de partículas desuniforme, de maneira geral parece terem sido mais influenciados pela compactação durante o preparo dos cilindros, apresentando valores de água disponível mais variável, como no caso dos tratamentos das misturas entre LE e F (Tabela 9).

A adequação de um determinado substrato para o cultivo de plantas depende da interação entre várias características, onde a interpretação dos dados de porosidade devem ser associadas aos da proporção de poros ocupada por ar e água, os quais são indicados, pelo espaço de aeração e disponibilidade de água, respectivamente. Para os substratos avaliados, pode-se constatar que quando o lodo de esgoto fazia parte da constituição do substrato a parcela de água disponível tendeu a ser inferior, se comparado aos tratamentos TF, F e VEB (Tabela 9).

A flexibilidade quanto às faixas ideais das frações de sólidos, ar, água em um substrato podem ser maiores do que os valores apresentados pela literatura e devem ser adequados para cada sistema de cultivo e cultura. Para confirmação da qualidade do material, apenas por meio da avaliação do desenvolvimento das plantas nos diferentes substratos é possível afirmar se as propriedades físicas desses substratos são adequadas ou não, uma vez que respostas diferentes podem ser apresentadas para cada variável física do substrato, que dependendo da cultura utilizada. Deve-se considerar a dificuldade em se obter um substrato que atenda a todos parâmetros físicos requeridos para uma determinada cultura, devendo-se selecionar as características mais importantes do substrato para o crescimento de cada espécie vegetal.

4.3 Altura e diâmetro de colo

Não foi observada interação entre os fatores substrato e inoculação micorrízica para os parâmetros morfológicos altura e diâmetro de colo. Entretanto as mudas inoculadas com o isolado ectomicorrízico UFSC Sc 124 foram superiores as mudas não inoculadas. A altura das mudas de *P. elliotii* aos 80 dias após transplante para tubetes em casa de vegetação foram maiores para os substratos contendo turfa fértil em sua constituição (Tabela 10).

Tabela 10 – Altura e diâmetro de colo das mudas de *Pinus elliotii* produzidas em substratos a base de lodo de esgoto, turfa fértil, vermicomposto de esterco bovino e substrato F, inoculados e não inoculados com fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124 (*Scleroderma citrinum*), aos 80 dias após transplante para tubetes em casa de vegetação.

Substratos	Altura da muda			Diâmetro de colo da muda		
	Inoculação		Média	Inoculação		Média
	Não	Sim		Não	Sim	
	----- cm muda ⁻¹ -----			----- mm muda ⁻¹ -----		
Lodo de esgoto (LE)	11,73	11,65	11,69 bcd ¹	1,40	1,35	1,38 bcde
Turfa fértil (TF)	15,93	15,78	15,85 a	1,60	1,75	1,68 a
Vermicomp. (VEB)	11,90	13,83	12,87 bc	1,36	1,57	1,47 abcd
Substrato F (F)	11,33	10,37	10,85 cd	1,18	1,18	1,18 e
LE:TF 3:1	12,48	13,50	12,99 bc	1,40	1,66	1,53 ab
LE:TF 1:1	13,45	15,00	14,23 ab	1,49	1,54	1,51 abc
LE:TF 1:3	13,07	13,48	13,28 bc	1,51	1,51	1,51 abc
LE:F 3:1	11,00	12,20	11,60 cd	1,24	1,33	1,28 cde
LE:F 1:1	11,06	10,47	10,77 cd	1,25	1,33	1,29 bcde
LE:F 1:3	8,36	11,33	9,85 d	1,10	1,35	1,23 de
Média	12,03 B	12,76 A		1,35 B	1,46 A	
CV (%)	12,56			10,44		

¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada parâmetro avaliado, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Mudas produzidas no substrato LE apresentaram 11,69 cm de altura média, embora estas tenham apresentado diferenças significativas apenas para o tratamento TF que foi 35 % maior, foram inferiores numericamente a todas misturas de LE:TF e ao VEB. A utilização do

lodo de esgoto em misturas com o substrato F não foi suficiente para fornecer um incremento em altura para essas mudas (Tabela 10). Os resultados referentes a altura das mudas de pinus encontrados nesse experimento concordam com os encontrados por Maia (1999) que trabalhando com *P. taeda* e substratos compostos por lodo de esgoto, casca de pinus e solo encontraram as menores alturas para mudas crescidas em lodo de esgoto e solo puros. Isto demonstra que embora o lodo de esgoto seja um material rico quimicamente (Tabela 8) pode apresentar restrições físicas, principalmente referentes a baixa disponibilidade para as plantas (Tabela 9).

Porém, de maneira geral os tratamentos inoculados com o fungo, com uma média de 12,76 cm, responderam bem ao crescimento em altura. Segundo Sturion et al. (2000) as medidas de altura devem girar em torno de 15 a 25 cm para mudas prontas para o transplante a campo, o que geralmente ocorre com 150 dias de produção. Os mesmos autores prevêem um diâmetro de colo de no mínimo 3,5 mm, o que não aconteceu com as mudas produzidas neste experimento, que alcançaram 1,68 mm obtido no tratamento TF, seguido das três misturas LE:TF, VEB, LE e das misturas LE:F. O substrato F apresentou a menor medida de diâmetro de colo com apenas 1,18 mm (Tabela 10). Esta diferença de 42 % entre o maior e menor diâmetro possivelmente esta relacionada a diferença de densidade entre estes dois substratos, fazendo com que o substrato F de densidade seca de 1255 g dm^{-3} (Tabela 9), restringisse o pleno crescimento das raízes das raízes.

Os valores abaixo do ideal obtidos para diâmetro de colo provavelmente ocorreram devido a idade das mudas, que apresentavam 80 dias no momento da realização das medidas. A produção de mudas de pinus exige diferentes tratamentos culturais que dependem da fase de desenvolvimento destas (HIGASHI; SILVEIRA, 2004). Segundo esses autores a fase de crescimento pode levar em média 80 dias e só após passam para a chamada fase de rusticificação, quando as mudas são forçadas ao engrossamento do caule pela restrição gradual de adução e irrigação utilizada durante essa etapa de produção.

4.4 Fitomassa seca da parte aérea, raiz e colonização micorrízica

Não houve interação entre substrato e inoculação para a medida de fitomassa seca da parte aérea das mudas de *P. elliotti*. Contudo as mudas inoculadas com o isolado ectomicorrízico UFSC Sc 124 foram superiores as não inoculadas, apresentando 16,47% de

incremento em relação ao controle. A fitomassa seca da raiz e colonização micorrízica apresentaram interação entre os fatores avaliados, demonstrando resposta dependente da combinação substrato x inoculação (Tabela 11).

Tabela 11 – Fitomassa seca da parte aérea (FSPA), raiz (FSR) e colonização micorrízica (CM) das mudas de *Pinus elliottii* crescidas em substratos a base de lodo de esgoto (LE), Turfa fértil (TF), vermicomposto de esterco bovino (VEB) e substrato F (F), inoculadas ou não com o fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124 (*Scleroderma citrinum*) aos 80 dias após transplante para tubetes em casa de vegetação.

Substrato	FSR		FSPA			CM	
	Inoculação		Inoculação		Média	Inoculação	
	Não	Sim	Não	Sim		Não	Sim
----- mg muda ⁻¹ -----			----- % -----				
LE	42,1 bcdeA	44,4 cdA	165,4	163,7	164,5 bcd	0,00 aB	9,1 bcA
TF	102,2 aA	97,3 aA	262,8	315,4	289,1 a	0,00 aB	18,8 abA
VEB	62,2 bA	53,2 cdA	160,5	184,5	172,5 bc	0,00 aB	9,2 bcA
F	29,7 cdeA	28,1 dA	122,4	113,9	118,7 de	0,00 aB	10,3 bcA
LE:TF 3:1	57,4 bcdA	62,5 bcA	174,2	205,2	189,7 b	0,00 aB	9,5 bcA
LE:TF 1:1	58,5 bcB	102,3 aA	217,0	282,7	249,8 a	0,00 aB	13,6 bcA
LE:TF 1:3	68,3 bB	86,8 abA	222,3	259,2	240,7 a	0,00 aB	25,6 aA
LE:F 3:1	28,4 deB	49,2 cdA	143,5	159,9	151,7 bcde	0,00 aB	9,5 bcA
LE:F 1:1	40,7 bcdeA	51,2 cdA	130,6	136,7	133,7 cde	0,00 aB	6,8 cA
LE:F 1:3	18,7 eB	46,4 cdA	82,0	137,2	109,6 e	0,00 aB	10,9 bcA
Média	----	----	168,1 B	195,8 A	----	----	----
CV (%)	22,19		16,78			60,40	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, para cada parâmetro avaliado, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A produção de fitomassa seca da parte aérea, da mesma forma que os parâmetros altura e diâmetro de colo, foram mais expressivas nos tratamentos que continham turfa fértil como único material ou constituindo a mistura do substrato. O LE quando utilizado de forma pura mostrou-se bastante inferior a TF, obtendo apenas 57 % do potencial produtivo demonstrado pelo substrato comercial. Entretanto quando comparado ao material utilizado pela FEPAGRO Florestas, o lodo de esgoto se mostrou superior, com um acréscimo de 38,6 % em fitomassa seca da parte aérea (Tabela 11).

Os resultados de produção de fitomassa seca de raiz, para as mudas inoculadas com o fungo, foram semelhantes aos da parte aérea, onde novamente os tratamentos com TF foram superiores, diferindo estatisticamente dos demais, exceto a mistura LE:TF 3:1 que não diferiu significativamente dos substratos LE, VEB e misturas LE:F. Porém, na ausência do fungo o tratamento TF foi superior aos demais, inclusive as suas respectivas misturas com LE. Contudo é interessante ressaltar a falta de resposta a inoculação para este substrato comercial, onde mesmo com os 18,8 % de colonização não houve incremento de produtividade de raízes (Tabela 11). Isso pode ter ocorrido devido a limitação de fertilidade que este substrato apresenta, pois mesmo com raízes colonizadas a absorção de nutrientes pode não ter sido suficiente para proporcionar maior produção de raiz para o período avaliado de 80 dias. Entretanto, é importante a presença da colonização, pois este fator beneficia a muda no pós-transplante a campo, como comprovado por Lorenzi (2009) que trabalhando com mudas de *Eucalyptus grandis* produzidas em turfa fértil demonstrou o benefício da inoculação ectomicorrízica, quando mudas inoculadas sobreviveram e cresceram mais que os controles sem inoculo decorridos 90 e 960 dias após plantio em área degradada pelo processo de arenização.

Os substratos LE e VEB também não responderam a inoculação quanto à produção de raízes, este fato pode ser explicado devido aos altos níveis de fósforo encontrados nestes substratos (Tabela 8), que embora possam permitir a formação de micorrizas tornam-nas menos eficientes. Resultados semelhantes foram encontrados por Mello (2006) que avaliando diferentes doses de fósforo na produção de mudas de eucalipto observou 56,5 % de colonização micorrízica em mudas que receberam dose de 800 mg de P kg⁻¹ de substrato, sendo que estas apresentaram produção inferior as mudas micorrizadas sem adição do fósforo.

As respostas das mudas de pinus a inoculação com o fungo UFSM Sc 124 apresentadas pelas misturas entre lodo de esgoto:turfa fértil e lodo de esgoto:substrato F foram estatisticamente superiores para as misturas LE:TF 1:1, LE:TF 1:3, LE:F 3:1 e LE:F 1:3, com acréscimos na produção de massa fitomassa seca de raiz de 75, 27, 73 e 148 %, respectivamente. Embora as combinações LE:TF 3:1 e LE:F 1:1 não tenham apresentado diferenças estatísticas para com suas formas não inoculadas, também apresentaram incremento 9 e 25%, respectivamente, em fitomassa seca de raiz (Tabela 11).

A tendência de acréscimo em produção de fitomassa demonstrada por estas misturas pode ter ocorrido pelo maior equilíbrio entre os parâmetros físicos e químicos dos substratos, onde nas misturas LE:TF a turfa fértil proporcionou a melhoria das condições físicas, aumentando o volume de água disponível e reduzindo a densidade do material (Tabela 9). Já o

lodo de esgoto contribuiu servindo como um fertilizante, sem, no entanto prejudicar a ação do fungo ectomicorrízico. Nas misturas LE:F, o lodo foi quem proporcionou a melhoria da densidade do substrato além de aumentar sua fertilidade, sendo o substrato F responsável pelo maior volume de água disponível para as mudas.

Quanto a colonização micorrízica as maiores porcentagens foram encontradas na TF e na mistura LE:TF 1:3, materiais que continham baixos teores de fósforo e que possivelmente proporcionaram esta maior taxa de colonização. Este resultado é semelhante a vários estudos, que encontraram o mesmo padrão de resposta a altos níveis de fósforo no solo ou substrato de produção de mudas, de diferentes espécies e inoculadas com diferentes fungos ectomicorrízicos (MELLO, 2006; SOUZA et al., 2004; AQUINO; PLASSARD, 2004; GALLI et al., 1997)

Alguns autores ainda consideram a hipótese da presença de elementos inorgânicos tóxicos, como os metais, em níveis inibitórios a colonização radicular por estes fungos (SILVA, 2007; GRAZZIOTTI, 1999; KENDRICK, 1962). Porém, segundo os próprios autores concluem, o efeito inibidor depende da dose do elemento e do isolado fúngico utilizado. Assim para se comprovar esta hipótese neste trabalho mais testes devem ser realizados com objetivo de averiguar se, principalmente, as doses de Zn encontradas no lodo de esgoto e vermicomposto de esterco bovino podem ter causado algum efeito inibidor ao isolado UFSM Sc 124 inoculado nas mudas de *P. elliotii*.

4.5 Índice de qualidade das mudas

Os substratos TF, LE:TF 1:3, LE:TF 1:1 e LE:TF 3:1 apresentaram os maiores índices de qualidade de Dickson (IDQ) (DICKSON et al., 1960). Embora apenas o TF tenha diferido estatisticamente dos demais materiais avaliados, os quais não continham TF na mistura. Não foi verificada interação entre os fatores substrato e inoculação, entretanto as mudas de *P. elliotii* inoculadas apresentaram IQD superiores as mudas não inoculadas (Tabela 12).

Tabela 12 – Índice de qualidade de Dickson (IQD) para mudas de *Pinus elliottii* crescidas em substratos a base de lodo de esgoto (LE), Turfa fértil (TF), vermicomposto de esterco bovino (VEB) e substrato F (F), inoculadas ou não com o fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124 (*Scleroderma citrinum*) aos 80 dias após transplante para tubetes em casa de vegetação.

Substratos	Índice de qualidade de Dickson (IQD)		
	Inoculação		Média
	Não	Sim	
Lodo de esgoto (LE)	0,020	0,020	0,020 bc
Turfa fértil (TF)	0,034	0,040	0,037 a
Vermicomp. (VEB)	0,023	0,023	0,023 bc
Substrato F (F)	0,013	0,013	0,013 c
LE:TF 3:1	0,022	0,028	0,025 abc
LE:TF 1:1	0,027	0,036	0,031 ab
LE:TF 1:3	0,029	0,035	0,032 ab
LE:F 3:1	0,015	0,020	0,017 c
LE:F 1:1	0,017	0,021	0,019 bc
LE:F 1:3	0,010	0,019	0,015 c
Média	0,021 B	0,025 A	----
CV (%)	34,22		

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os mais baixos IQD foram encontrados pelos tratamentos que continham substrato F em sua constituição, sendo que quando utilizado puro este contabilizou apenas 0,013 (Tabela 12).

Em todos os substratos o IQD foi considerado inferior a 0,2 preconizado por Dickson et al. (1960) para mudas de alta qualidade aptas para o transplante. Porém como as mudas estavam com 80 dias, e segundo Higashi; Silveira (2004), geralmente, para mudas de pinus atingirem qualidade morfológica ideal para o transplante a campo, esta deve passar por um período de rustificação que inicia aos 70 – 90 dias e ou quando as mudas atingem uma altura média de 20- 25 cm, e termina com aproximadamente 150 dias. Nesta fase as mudas tendem a engrossar o caule, devido a diminuição das freqüentes adubações e irrigações a que estas passam a ser submetidas, assim como provocar o estímulo da expansão das raízes. Desse modo, com o aumento do diâmetro do caule e da massa de raízes produzidas estas mudas poderão apresentar índices mais próximos do ideal, as credenciando como mudas aptas para o transplante a campo.

Esta tendência de aumento na qualidade das mudas aos 150 dias de produção foi relatada por Binotto (2007) trabalhando com mudas de *P. elliotti* crescidas em tubetes de 53 cm³ de volume, contendo turfa como substrato, estas mudas eram fertilizadas com doses de 2,31 g de uréia a cada 25 dias, sendo avaliadas até o 175º dia. O autor encontrou um aumento de 214 % para o IQD, onde as mudas passaram de 0,07 para 0,22 do 75º até o 150º dia de desenvolvimento das mudas.

No presente estudo, um fator que contribuiu muito para diferenciar a qualidade das mudas foi a densidade seca dos diferentes substratos, puros ou em mistura (Figura 6).

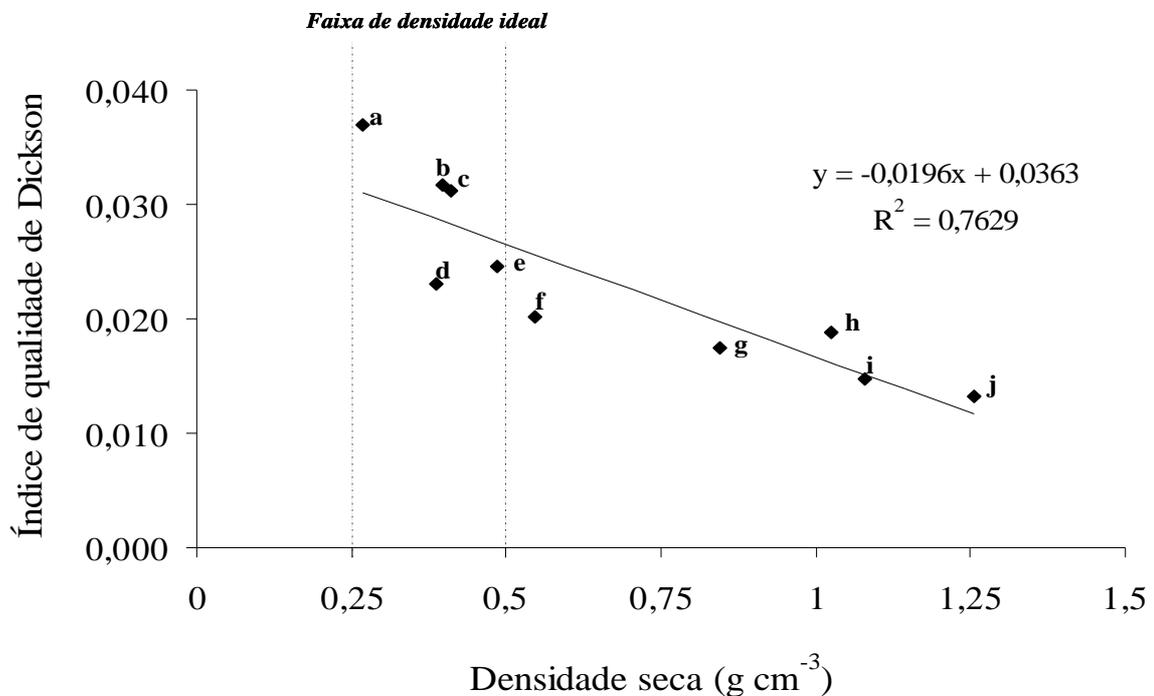


Figura 6 – Relação entre índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Pinus elliottii* e densidade seca dos substratos a base de lodo de esgoto (LE), Turfa fértil (TF), vermicomposto de esterco bovino (VEB) e substrato F (F). a) TF, b) LE:TF 1:3, c) LE:TF 1:1, d) VEB, e) LE:TF 3:1, f) LE, g) LE:F 3:1, h) LE:F 1:1, i) LE:F 1:3 e j) F.

Os materiais que permaneceram dentro da faixa de densidade ideal de 0,25 a 0,50 g cm⁻³ para produção de mudas de pinus em tubetes proposta por Gonçalves; Poggiani (1996) foram os que apresentaram os maiores IQD. O substrato VEB foi o que menos respondeu a variável densidade seca em relação a qualidade da muda produzida. Embora este tenha apresentado IQD acima das misturas entre LE:F e do próprio LE puro, que foram substratos

que se enquadraram fora da faixa ideal de densidade seca, o VEB possui densidade seca de $0,38 \text{ g cm}^{-3}$, muito próxima das misturas LE:TF 1:3 e LE:TF 1:1 com $0,39$ e $0,40 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente. Porém quando as mudas produzidas nestes três substratos foram comparadas quanto a sua qualidade, o VEB ficou abaixo apresentando $0,023$ contra os $0,035$ para a proporção 1:3 e $0,031$ na proporção 1:1 da mistura LE:TF (Figura 6). Isto demonstra que para o VEB a causa da perda de qualidade da muda pode não ser física.

Uma hipótese para este IQD inferior apresentado pela mudas de pinus produzidas em VEB é o grande teor de fósforo encontrado neste substrato (Tabela 8). Ceconi et al. (2007) avaliando a resposta de mudas de *Ilex paraguayenses* a adubação fosfatada encontrou decréscimo em altura, diâmetro de colo e produção de fitomassa a partir da dose de 450 mg P kg^{-1} de substrato. Outra provável causa para o menor IQD para o VEB é o valor de pH deste material, de $6,8$, considerado acima do ideal para produção de pinus que fica em torno de $5,5$ (GONÇALVES; POGGIANI, 1996). Gilman; Watson (1994) mencionam que o pH alto é prejudicial para a espécie *P. elliottii*, onde a combinação entre pH alto e excesso de irrigação pode causar clorose à planta. Outro fator que visivelmente afetou a qualidade das mudas foi a quantidade de lodo de esgoto empregado nas misturas com turfa fértil e substrato F (Figura 7).

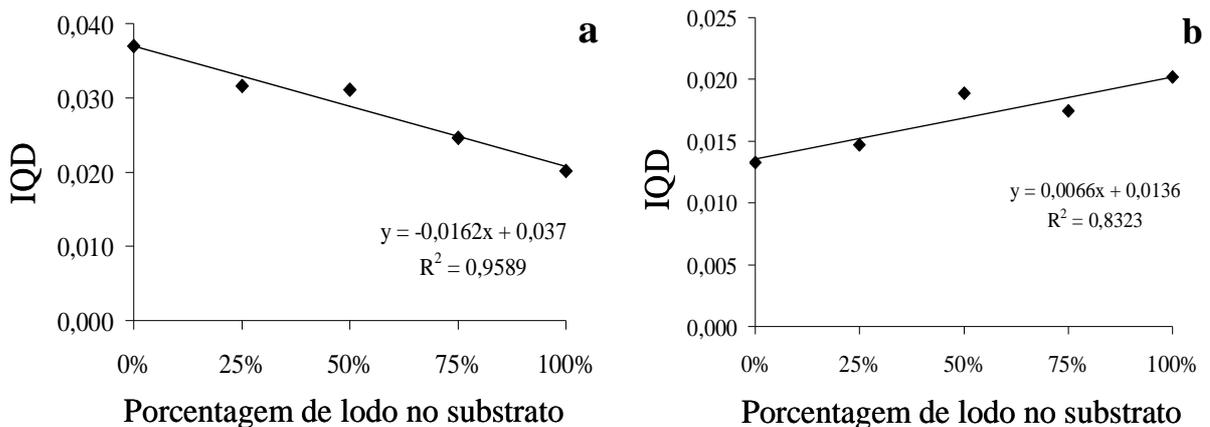


Figura 7 – Índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Pinus elliottii* em relação à porcentagem de lodo de esgoto nos substratos turfa fértil (a) e substrato F (b), aos 80 dias após transplante para tubetes em casa de vegetação.

Embora se tenha obtido índices de qualidade superiores para as mudas inoculadas com relação as não inoculadas, não foi verificada interação entre as quantidades de lodo e a inoculação com o fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124 (Tabela 13).

Tabela 13 – Relação entre índice de qualidade de Dickson e quantidade de lodo de esgoto nos substratos turfa fértil e substrato F, para mudas inoculadas ou não com o fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124 (*Scleroderma citrinum*) aos 80 dias após transplante para tubetes em casa de vegetação.

Lodo de esgoto: Turfa fértil		Lodo de esgoto : Substrato F	
Inoculação		Inoculação	
Não	Sim	Não	Sim
0,026 b	0,031 a	0,015 b	0,019 a

Médias seguidas pela mesma letra, para cada substrato, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para as mistura LE:TF houve uma redução na qualidade das mudas, conforme se aumentou a concentração de lodo de esgoto na mistura. O aumento da quantidade de lodo de esgoto em relação ao substrato F acarretou em mudas com qualidade superior (Figura 7).

Assim como mencionado anteriormente este acréscimo de qualidade para mudas produzidas em substratos predominantemente constituídos por turfa fértil está intimamente atrelado as boas características físicas apresentadas por este material (Tabela 9). Contudo o substrato TF apresenta limitações de fertilidade, com baixos teores de nutrientes (Tabela 8). Sendo que se as mudas permanecerem por um período mais prolongado nos tubetes, sem receber nenhuma suplementação de nutrientes, podem não manter o mesmo padrão de desenvolvimento.

A deficiência nutricional e a alta densidade constatada no substrato F foi amenizada com a utilização de lodo de esgoto na mistura, entretanto nenhuma dessas misturas foram suficientes para superar o tratamento com lodo de esgoto puro. Isto demonstra que o lodo de esgoto surge como uma alternativa promissora na substituição do substrato F quando este não receber nenhum tipo de suplementação nutricional.

Desta maneira, nas condições em que o experimento foi conduzido, onde as mudas não receberam adubação de base nem posterior fertirrigação durante o período de avaliação, que totalizou 80 dias, parece que a principal resposta as condições que cada substrato proporcionou para o crescimento das mudas esteve mais ligada as qualidades físicas do que as qualidades químicas destes materiais.

5 CONCLUSÕES

A utilização do lodo de esgoto em mistura com turfa fértil se equivale ao uso do substrato comercial puro, na produção das mudas de *P. ellioti*, inoculadas com o isolado de fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124.

O lodo de esgoto melhora as condições físicas do substrato F, aumentando a qualidade das mudas de *P. ellioti* inoculadas com o isodado de fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho buscou primeiramente estudar a utilização do lodo de esgoto gerado pela Estação de Tratamento de Esgotos de Santa Maria/RS como substrato para multiplicação de minhocas da espécie *Eisenia andrei*, verificando o efeito destas sobre a higienização do lodo de esgoto para uso agrícola. O efeito do lodo de esgoto pode ser quantificado sobre a população destas minhocas, assim como a ação destas durante a vermicompostagem, na densidade de nematóides de vida livre e a concentração de coliformes fecal presentes neste resíduo.

Contudo a dinâmica da relação entre estes grupos de organismos ainda não está clara, sendo necessária a elaboração de novos trabalhos de pesquisa, visando elucidar o real efeito que cada grupo exerce sobre o outro durante o processo de vermicompostagem do lodo de esgoto.

Num segundo momento avaliou-se a utilização do lodo de esgoto produzido pela Estação de Tratamento de Esgotos de Santa Maria/RS como substrato para produção de mudas de *Pinus elliottii* inoculadas com o isolado de fungo ectomicorrízico UFSC Sc 124. Obteve-se boa resposta para sua utilização, encontrando resultados promissores para viabilização deste material como substituto parcial do substrato comercial turfa fértil ou total do substrato a base de solo empregado comumente para produção florestal em larga escala.

Entretanto mais estudos devem ser realizados, para apurar mais detalhadamente qual a melhor proporção do lodo de esgoto empregar na produção desta cultura, além de determinar os efeitos do lodo de esgoto sobre a colonização micorrízica em mudas pinus.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, I. B. et al. Seleção de componentes de substrato para produção de mudas de eucalipto em tubetes. **IPEF**, n.41, p.36-43, 1989.

AQUINO, M. T.; PLASSARD, C. Dynamics of ectomycorrhizal mycelial growth and P transfer to the host plant in response to low and high soil P availability, **FEMS Microbiology Ecology**, Amsterdam, v. 48, p. 149–156, 2004.

BINOTTO, A.F. **Relação entre variáveis de crescimento e o índice de qualidade de Dickson em mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maid e *Pinus elliottii* var. *elliottii* - Engelm.** 2007. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

BRUNDRETT, M. et al. Working with Mycorrhizas in Forestry and agriculture. **ACIAR Monograph**, Camberra, v. 3, p. 141-145, 1996.

BUNT, A. C. Some physical and chemical characteristics of loamless pot-plant substrates and their relation to plant growth. **Plant and Soil**, The Hague, v. 38, p.1954-1965. 1973.

CALDEIRA, M. V, W. et al. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27 – 33, 2008.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Influência de vermicomposto na produção de mudas de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.1, n.3, p. 47-53, 2003.

CECONI, D. E. et al. Exigência nutricional de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* a. st.-hil.) à adubação fosfatada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1, p. 25-32, 2007.

DeBOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 26, n. 1, p. 37-44, 1972.

DICKSON, A; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, p. 10- 13, 1960.

FERRAZ, M. V.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N. Caracterização física e química de alguns substratos comerciais. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 209-214, 2005.

FUENTES ET AL. Seedling performance in sewage sludge amended degraded Mediterranean woodlands, **Ecological Engineering**, Oxford, v. 31, p. 281–291, 2007.

GALLI, M. A. et al. efeito da matéria orgânica e do fósforo no desenvolvimento de ectomicorrizas em "plantlets" de eucalyptus inoculadas "in vitro" com pisolithus tinctorius. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 51, p. 7-14, 1997.

GILMAN, E. F.; WATSON, D. G. **Pinus elliottii** – fact sheet st- 463, Gainesville United States Forest Service Environmental Horticulture Department. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciencis, University of Florida. 1994. 4p.

GIOVANETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytology**, Lancaster, v. 84, p. 489-500, Mar. 1980.

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

GONÇALVES, J.L.M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, 1996. Águas de Lindóia. **Anais...Águas de Lindóia. Relação de trabalhos**, 1996.

GRAZZIOTTI, P.H. **Comportamento de fungos ectomicorrízicos, *Acacia mangium* e espécies de *Pinus* e *Eucalyptus* em solo contaminado por metais pesados**. 1999. 177 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Lavras, Lavras. 1999.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Produção de mudas de cafeeiros em tubetes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 98-108, 1998.

HIGASHI, E.N.; SILVEIRA, R.L.A. Fertirrigação em viveiros de mudas de Eucalyptus e Pinus. In: **Fertirrigação: teoria e prática**. BOARETTO, A.E.; VILLAS BOAS, R.L.; SOUZA, W.F. PARRA, L.R.V. (Eds.) 1ed. Piracicaba, v.1, p.677-725, 2004.

HOFFAMNN, G. Verbindliche methoden zur untersuchung von TKS und gartnerischen erden. **Mitteilungen der VDLUFA**, Heft, v. 6, p. 129-153, 1970.

KÄMPF, A. N. Substrato. In: KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 254p.

KENDRICK, W.B. Soil fungi of a copper swamp. **Canadian Journal of Microbiology**, Ottawa, 8: 639-47, 1962.

LAMAIRE, F. Physical, chemical and biological properties of growing medium. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 396, p. 273-284, 1995.

LINS, C. E. L. **Efeito do cobre sobre fungos micorrízicos e trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.)** 2006. 128 f. Tese (Doutorado Biologia de Fungos) Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2006.

LOPES, P.S.N. **Propagação sexuada do maracujazeiro azedo (*Passiflora edulis* Sims f. *favicarpa* Deg.) em tubetes: efeito da adubação nitrogenada e substratos.**1996. 52f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.1996.

LUDWIG, F. et al. Caracterização química de substratos formulados com casca de pinus e terra vermelha. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS MATERIAIS REGIONAIS COMO SUBSTRATO. 6, 2008, Fortaleza. **Anais...Fortaleza**. Relação de trabalhos, 2008.

MAIA, C.M.B.F. Uso de casca de Pinus e lodo biológico como substrato para a produção de mudas de Pinus taeda. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.39, p.81-92, 1999.

MARX, D. H. The influence of ectotrophic mycorrhizal fungi on the resistance of pine roots to pathogenic infections. I. Antagonism of mycorrhizal fungi to root pathogenic fungi and soil bacteria. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 59, n. 2, p. 153-163, 1969.

MELLO, A. H. **Ocorrência, caracterização e eficiência de fungos micorrízicos em *Eucalyptus grandis* e *Acácia mearnsii***. 2006. 108 f. Tese (Doutorado em ciência do Solo – Biodinâmica e Manejo do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2006

MEURER, E.J.; RHEINHEIMER, R.D.; BISSANI, C.A. Fenômeno de sorção em solos. In: Meurer, E.J. Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Gênese, 2006. p. 117- 162.

MIKOLA, P. Application of mycorrhizal symbiosis in forestry practices. In: MARKS, G.C.; KOZLOWSKI, T.T. (Ed), **Ectomycorrhizae, their ecology and physiology**. New York. 1973. p.383-411.

MOLINA, R.; TRAPPE, J. M. Mycorrhiza management in bareroot nurseries. In: DURYEA, M. L.; LANDIS, T. D. (eds). **Forestry nursery manual**: production of bareroot seedlings, Lancaster, 1984, p. 211-213.

NETO, A. A.; MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, P.T.G. Avaliação de substratos alternativos e tipos de adubação para a produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) EM TUBETE. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.23, n.2, p.270-280, 1999.

OLIVEIRA, L.B. de. Determinação da macro e microporosidade pela "em mesa de tensão" em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v.3, n.1, p.197-200, 1968.

OLIVEIRA, C. A. M. et al. Produção de mudas de essências florestais em diferentes substratos e acompanhamento do desenvolvimento em campo. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 122-128, 2008.

PENNINGSFELD, F. Kultursubstrate für den gartenbau, besonders in Deutschland: ein kritischer Überblick. **Plant and Soil**, The Hague, v. 75, p. 269-281, 1983.

PEQUENO, P. L. L. et al. Caracterização Química do Lodo de Esgoto Tratado (Biossólido) para Uso Agrícola e Florestal no Estado de Rondônia. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA E EXTENSÃO RURAL – SEPEX, 2. 2008, Porto Velho. **Anais...Porto Velho**. Relação de trabalhos, 2008.

PETRY, C. (Org.). **Plantas ornamentais**: aspectos para a produção. Passo Fundo: EDIUPF, 1999. 155 p.

RODRIGUES, L. T. **Caracterização e resposta agrônômica de substratos na produção de mudas de fumo no sistema float**. 2001. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Pelotas. 2001.

SANTOS, F. R. P. et al. Caracterização físico-química de sete componentes de substratos recomendados para uso em floricultura. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 11, p. 81-92, 2002

SCHMITZ J. A. K.; SOUZA P. V. D.; KÄMPF A. N. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, SantaMaria, v. 32, p. 937-944. 2002.

SCIVITTARO, W. B. et al. **Caracterização física de substratos elaborados a partir de resíduos agroindustriais.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 26 p.(Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 58).

SILVA, R. S. **Tolerância de espécies florestais arbóreas e fungos ectomicorrízicos ao cobre.** 2007. 135 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

SILVA, F. DE A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p71-78, 2002.

SODRÉ, G. A. et al. Características químicas de substratos utilizados na produção de mudas de cacauzeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 514-516, 2005.

SOUZA, E. L. **Produção de mudas e crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden inoculado com fungos ectomicorrízicos em área arenizada.** 2009. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2009.

SOUZA, L. A. B.; OLIVEIRA, V. L.; SILVA FILHO G. N. Eficiência de fungos ectomicorrízicos na absorção de fósforo e na promoção do crescimento de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 4, p. 349-355, 2004.

STEFFEN, G. P. K. **Substratos à base de casca de arroz e esterco bovino para a multiplicação de minhocas e produção de mudas de alface, Tomateiro e boca-de-leão.** 2008, 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2008

STURION, J. A.; GRAÇA, L. R.; ANTUNES, J. B. M. **Produção de mudas de espécies de rápido crescimento por pequenos produtores.** Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 20 p. (Circular técnica, 37).

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995, 174 p.

TERRA, S. B.; GONÇALVES, M.; MEDEIROS, C. A. B. Produção de mudas de jacarandá mimoso (*Jacaranda Mimosaeifolia* d. Don.) Em substratos formulados a partir de resíduos agroindustriais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, n.1, P. 918-921 2007.

VIDAL, V. M.; VITTI, M. R.; MORSELLI, T. B. G. A. Caracterização química de vermicompostos de diferentes substratos orgânicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Pelotas, v.2, n.1, p.1321-1324, 2007.

VON SPERLING, M. et al. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistema de lodos ativados. In: CHERNICHARO, C.A.L. (Org.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. 1 ed. Rio de Janeiro: PROSAB/ABES, 2001, p. 279-331.