



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

DORIS RAKEL MONTEIRO PAEZ

**UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS E NO
CULTIVO DO EUCALIPTO (*Eucalyptus spp*)**

**Prof. LEONARDO DUARTE BATISTA DA SILVA
Orientador**

SEROPÉDICA, RJ

NOVEMBRO – 2011



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

DORIS RAKEL MONTEIRO PAEZ

**UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS E NO
CULTIVO DO EUCALIPTO (*Eucalyptus spp*)**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

**Prof. LEONARDO DUARTE BATISTA DA SILVA
Orientador**

SEROPÉDICA, RJ

NOVEMBRO – 2011

**UTILIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS E NO
CULTIVO DO EUCALIPTO (*Eucalyptus spp*)**

Comissão Examinadora:

Monografia aprovada em 21 de novembro de 2011.

Prof. Dr. Leonardo Duarte Batista da Silva
UFRRJ / IT / DE
Orientador

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo
UFRRJ / IF / DS
Membro

Prof. M.Sc. Jonathas Batista Gonçalves Silva
UFRRJ / IT / DE
Membro

DEDICATÓRIA

Salmo 19.1-4 ; 92.11-14

*Os céus manifestam a glória de Deus
e o firmamento anuncia a obra das suas mãos.
Um dia faz declaração a outro dia, e uma noite
mostra sabedoria a outra noite.
Sem linguagens, sem fala, ouvem-se as suas vozes
em toda extensão da terra, e as suas palavras,
até ao fim do mundo.
Os meus olhos verão cumprido o meu desejo
sobre os meus inimigos, e os meus ouvidos deles
se certificarão quanto aos malfeitores que se levantem contra mim.
O justo florescerá como a palmeira;
crescerá como o cedro no Líbano.
Os que estão plantados na Casa do Senhor
florescerão nos átrios do nosso Deus.
Na velhice ainda darão frutos; serão viçosos e florescentes,
para anunciarem que o Senhor é reto, ele é minha rocha,
e nele não há injustiça.*

A todos que me acompanharam e
incentivaram essa minha jornada
dedico

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ricardo e Judy pelo carinho e compreensão sempre abastecidos.

Aos meus irmãos, Fernando, Renata e Mauricio pelo companheirismo e abrigo.

Ao Bernardo, pelas voltas mais demoradas à Seropédica.

Ao Marcos, por me amar em todas as circunstâncias.

Aos meus eternos amigos, vocês foram essenciais no meu aprendizado e crescimento

Mari, Gabriel, Dalton, Rafael, Dani, Poli, Herbet, Tuti,... valeram todos os momentos.

Amigos ruralinos, sentirei saudades.

Em especial agradeço a Tharsila, Luiza e Ed pelo socorro em cima da hora e pela ajuda do desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O lodo de esgoto ou biossólido é um produto obtido das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Estudos vêm sendo realizados verificando a viabilidade técnica e econômica de sua utilização como fertilizante em cultivos agrônômicos e florestais. Dentre as diversas formas existentes de disposição final do lodo de esgoto, a reciclagem agrícola e/ou florestal é a mais promissora, pois transforma um rejeito em um importante insumo agrícola. Para sua correta utilização ao solo, em plantios florestais ou como substrato na produção de mudas, o lodo de esgoto deverá antes ser submetido a processos de tratamentos para remoção ou redução de elementos orgânicos potencialmente tóxicos e de agentes patogênicos, devendo se enquadrar nos critérios das legislações vigentes. Quando aplicado ao solo, o biossólido mantém um efeito evidente sobre a fertilidade do solo e sobre as concentrações de nutrientes disponíveis às espécies. Estudos na área comprovam o benefício do uso do lodo de esgoto como substrato para produção de mudas; melhorando a retenção hídrica do solo e apresentando melhores índices de qualidade de desenvolvimento das mudas. Benefício também para a cultura do eucalipto que por ocasião da exploração florestal, grande quantidade de nutrientes é exportada dos sítios no final do ciclo. Dessa forma o desenvolvimento e o estado nutricional do eucalipto são garantidos quando adubados com o biossólido, pois a liberação lenta e contínua dos nutrientes presentes beneficia o ciclo longo dessa cultura, aumentando a eficiência de absorção do sistema radicular das árvores com significativo aumento de biomassa. O biossólido é comprovadamente um excelente fornecedor de matéria orgânica, capaz de melhorar as propriedades físicas do solo, rico em P e N, além de outros nutrientes presentes em menores quantidades. Assim, este trabalho teve como objetivo verificar, através de uma revisão bibliográfica, a viabilidade da utilização do lodo como substrato na produção de mudas de espécies florestais e como fonte alternativa de adubo para a cultura do eucalipto.

Palavras-chave: biossólido, disposição final, substrato, adubo

ABSTRACT

The sewage sludge or sewage sludge is a product of Sewage Treatment Plants (STP). Studies have been conducted verifying the technical and economic feasibility of its use as fertilizer in crop agronomy and forestry. Among the various existing forms of disposal of sewage sludge to agricultural recycling and / or forest is the most promising because it becomes a waste on an important agronomic input. For its correct use to the ground in forest plantations or as substrate for the production of seedlings, the sludge must first be subjected to treatment processes for removal or reduction of potentially toxic organic elements and pathogens, and meet the criteria of the laws existing. When applied to the soil, sewage sludge has an evident effect on the fertility of the soil and on the concentrations of nutrients available to the species. Studies in the area show the benefit of using sewage sludge as a substrate for production of seedlings, improving water retention and soil quality index showing better development of the seedlings. Benefit also for the cultivation of eucalyptus at the time of logging, large amounts of nutrients are exported from the sites at the end of the cycle. Thus the development and nutritional status of eucalyptus is guaranteed, because the slow, steady release of nutrients in biosolids that benefits the long cycle crop, increasing the absorption efficiency of the root system of trees with a significant increase in biomass. The sludge has be proven an excellent supplier of organic material, capable of improving the physical properties of soil, rich in P and N, and other nutrients in smaller amounts. This work aimed to verify, through a literature review, the feasibility of using sludge as a substrate for the production of seedlings of forest species and as an alternative source of fertilizer for the cultivation of eucalyptus.

Key words: sludge, final disposal, substrate, fertilizer

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURA.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FORMULAS.....	x
LISTA DE ANEXOS.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	2
2.1 Lodo de Esgoto.....	2
2.1.1 Definição.....	2
2.1.2 Caracterização do lodo.....	2
2.1.3 Tipos de tratamento e disposição final.....	5
2.1.4 Legislação brasileira vigente.....	8
2.1.5 Limitações Do Uso Do Lodo De Esgoto Na Área Florestal.....	12
2.2 Uso do bio sólido como substrato para produção de mudas florestais.....	14
2.3 Uso do bio sólido em cultivos de eucalipto.....	17
3 CONCLUSÃO.....	22
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	22
5 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	24
6 ANEXOS.....	31

LISTA DE FIGURA

Figura 1. Fluxo de processamento de lodo para sua destinação final.....	8
--	---

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Concentração de metais pesados em diferentes ETE.....	3
Tabela2. Teores de macronutrientes no lodo em comparação com outros materiais composição orgânicos.....	3
Tabela 3. Atributos químicos dos substratos em diversos tratamentos.....	4
Tabela 4. Composição média do lodo de ETE no Brasil.....	5
Tabela 5. Limites máximos de substâncias inorgânicas presentes no lodo de esgoto ou produto derivado.....	9
Tabela 6. Classes de lodo de esgoto ou produto derivado de acordo com a concentração dos agentes patogênicos.....	9
Tabela 7. Taxa de aplicação em função do teor de metais.....	11
Tabela 8. Caracterização química do biossólido aplicado na área de estudo.....	12

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1. Taxa de aplicação máxima em base seca.....	10
Fórmula 2. Cálculo do Ndisp (mg/kg) para aplicação superficial.....	10
Fórmula 3- Cálculo do Ndisp (mg/kg) para aplicação subsuperficial.....	10

LISTA DE ANEXOS

Figura 2. Imagem do lodo de esgoto secando ao ar	31
Figura 3. Detalhe do lodo de esgoto antes da aplicação, lodo utilizado foi classificado como Classe B.....	31
Figura 4. Imagem da aplicação do lodo de esgoto na linha de plantio sobre a superfície do solo.....	32
Tabela 9. Caracterização química média de alguns resíduos utilizados em experimentos de fertilização de povoamentos de eucalipto.....	32

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o país com maior quantidade de água potável do planeta com cerca de 12% do total mundial, porém com relação ao saneamento básico, o país ainda tem um dos piores índices de tratamento de esgoto doméstico, sendo que cerca de apenas vinte municípios brasileiros tem 100% de esgoto tratado, num total de aproximadamente de 5.500 municípios. O Ministério do Meio Ambiente estima que menos de 10% do esgoto urbano produzido são tratados antes de serem lançados nos rios.(BETTIOL & CAMARGO, 2006)

Um dos principais problemas ambientais enfrentados atualmente pela humanidade é a disposição e destinação final de resíduos sólidos e líquidos. O tratamento dos resíduos urbanos, industriais e rurais, torna-se essencial para a preservação da qualidade do solo e da água; sendo que em alguns tipos de tratamentos há a geração de subprodutos (resíduo dos tratamentos) que devem ser destinados corretamente para não comprometer a eficiência do processo.

O lodo de esgoto é um resíduo final obtido das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) . Sua composição irá se diferenciar de acordo com a origem do esgoto obtido assim como os tratamentos dentro das estações que irão conferir o lodo propriamente dito; predominando em sua constituição a fração orgânica. Em função disso é necessária uma atenção quanto à origem do lodo bruto para seu posterior uso. O elemento tóxico ou patogênico que estiver disposto no lodo de esgoto poderá apresentar pequenos riscos ou ser potencialmente perigoso ao meio que se encontra; dependendo da sua concentração.

A potencialidade de utilização do lodo de esgoto como composto agrícola é definida por diversos aspectos: por ser rico em matéria orgânica, aumentar a fertilidade do solo, promover retenção de água, propiciar indiretamente deposição de serrapilheira ao solo promovendo a ciclagem dos nutrientes. Também por ser uma alternativa economicamente viável; pois seu uso diminui ou mesmo elimina a necessidade da aplicação de corretivos e fertilizantes minerais, tornando o plantio em que foi empregado mais sustentável, conservativo e econômico.

Estudos recentes mostram a viabilidade técnica e econômica de sua utilização como fertilizante em cultivos agrônômicos e florestais, porém essa técnica ainda é pouco difundida devido ao tratamento de esgoto no país ainda ser insipiente. Para sua correta utilização no solo, o lodo de esgoto deverá ser submetido a processos de tratamentos para remoção ou redução de elementos orgânicos potencialmente tóxicos e de agentes patogênicos, podendo ocorrer por processos químicos físicos e/ou biológicos.

Torna-se fundamental o monitoramento quando da utilização do lodo em um processo produtivo, pois sua utilização deve se enquadrar nos critérios das legislações vigentes.

O processo de produção de mudas é considerada uma das etapas mais importantes quando se trabalha com espécies florestais, em que a escolha de um substrato é crucial para produção de uma muda de qualidade. A aquisição de substratos comerciais tendem a elevar os custos de produção. Por sua vez, uma muda de boa qualidade tem maiores chances de sobreviver no campo e, apresenta alta taxa de crescimento inicial.

A disposição do lodo de esgoto, estabilizado e tratado, em solos tem se mostrado uma alternativa viável, aproveitando-se principalmente o nitrogênio, que é um importante e dispendioso nutriente para as plantas.

No Brasil, o cultivo de Eucalipto (*Eucalyptus spp*) apresenta intensa demanda pela diversidade dos produtos obtidos de sua matéria prima onde as áreas destinadas a esse cultivo estão aumentando cada vez mais. Normalmente a cultura de eucalipto é desenvolvida em solos de baixa fertilidade natural e por ocasião da exploração florestal, grande quantidade de nutrientes é exportada dos sítios no final do ciclo. Dessa forma, se faz necessário o estudo dos nutrientes e suas concentrações para serem aplicados ao adubo; pois a sua retirada pela exploração florestal poderá causar sérios prejuízos à rotação seguinte.

A utilização do lodo de esgoto, quando realizado de forma correta, provoca alterações benéficas no solo, uma vez que além de incorporar matéria orgânica, promove a liberação de nutrientes de forma lenta e contínua. Esta forma de liberação é extremamente vantajosa em culturas de ciclo longo como é o caso do eucalipto.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre o potencial de utilização do lodo de esgoto na área florestal, como constituinte de substratos na produção de mudas e como fonte de nutrientes e matéria orgânica na cultura do eucalipto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Lodo de Esgoto

2.1.1. Definição

O lodo de esgoto ou biossólido é o resultado do tratamento dos resíduos líquidos e sólidos urbanos (domésticos, comerciais, industriais) encaminhados por meio das redes coletoras às estações de tratamento de esgoto (ETE). Durante o tratamento do esgoto, bactérias e fungos quebram as moléculas orgânicas que servem como fonte de energia para seu desenvolvimento, utilizando os nutrientes para crescerem e se reproduzirem. Quando esses microorganismos morrem, eles constituem a massa orgânica do lodo. Existem vários sistemas de tratamento, que produzem lodos com características distintas (PEQUENO *et al.*, 2008; citados por SANTOS, 2009).

O termo biossólido vem sendo utilizado no lugar de lodo de esgoto para diferenciar como um produto previamente tratado após transformações microbianas e que após sua mineralização, apresenta potencial para posterior aplicação em culturas agrícolas e florestais; utilizado como fertilizante (POGGIANI, 1998).

2.1.2. Caracterização do lodo

Segundo Von Sperling (2006), o esgoto doméstico tem sua composição com cerca de 99,9% de água e o lodo durante grande parte do tratamento é composto por até

95% de água. Após finalizado o processo de tratamento o lodo de esgoto típico apresenta 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo, os demais macro e micronutrientes, além dos elementos potencialmente tóxicos (BETTIOL & CAMARGO, 2006).

A composição do lodo, predominantemente orgânica, varia em função da sua origem, do sistema de tratamento do esgoto e do próprio lodo dentro das estações (ABREU JUNIOR *et al.*, 2005). O trabalho realizado por Damasceno (1998) verifica as diferentes concentrações de metais pesados no lodo da ETE-Barueri e no lodo da ETE-Belém (Curitiba) (Tabela 1).

Tabela 1- Concentração de metais pesados em diferentes ETE

Metal Pesado	ETE(Barueri)	ETE(Curitiba)
Cd	12,68	ND
Cr	1.064,93	144
Cu	737,58	326
Mn	152,57	–
Ni	386,10	75
Pb	181,83	124
Zn	1.378,67	828

ND- não detectado

De acordo com Van Raij *et al.*, (1996) em geral os lodos de esgoto são desbalanceados quanto aos teores de nutrientes, necessitando muitas vezes de uma suplementação na adubação com fontes minerais. A tabela a seguir caracteriza o lodo da ETE de Barueri em comparação com alguns materiais orgânicos utilizados como no trabalho dos autores acima citados (tabela 2).

Tabela 2 - Teores de macronutrientes no lodo em comparação com outros materiais composição orgânicos

Elemento	Concentração no lodo da ETE-Barueri	Esterco de bovino*	Esterco de galinha*	Vinhaça*	Composto de lixo*
N	3,07	1,50	1,40	0,06	0,6
P	0,64	1,2	0,8	0,01	0,2
K	0,13	0,7	2,1	0,3	0,3
Ca	17,13	2,0	2,3	0,1	1,1
Mg	1,88	0,6	0,5	0,04	0,1
S	1,54	0,2	0,2	0,05	0,2

O uso do biossólido como parte constituinte do substrato possui grande potencial de utilização. A tabela seguinte foi descrita no trabalho de Trigueiro & Guerrini (2003), onde foram testadas diferentes proporções de biossólido (BIO) e casaca de arroz carbonizada (CAC) e do substrato Multiplant (Tabela 3).

Tabela 3- Atributos químicos dos substratos em diversos tratamentos

Tratamento	N	P	K	MO	C	Ca	Mg	S	C/N
(%)									
80/20 *	5,14	2,48	0,13	61,00	33,90	1,41	0,21	1,39	7/1
70/30	4,87	2,26	0,15	59,50	32,95	1,37	0,20	0,88	7/1
60/40	4,92	2,09	0,23	60,00	33,40	1,30	0,16	1,09	7/1
50/50	4,75	1,99	0,22	59,50	33,10	1,11	0,18	1,37	8/1
40/60	4,51	1,76	0,23	58,7	32,67	1,23	0,16	0,67	8/1
5									
Multiplant	0,63	0,41	0,15	28,5	15,85	0,82	0,15	0,15	28/1
0									

* BIO/CAC: Biossólido/Casca de arroz carbonizada

Com essa caracterização verificamos que independente da proporção BIO/CAC, todos os elementos apresentam-se superiores ao tratamento Multiplant.

A quantidade de lodos produzidos tende a aumentar consideravelmente devido a criação de novas ETE, tendo em vista a ocorrência do crescimento dos grandes centros urbanos e o desenvolvimento de regiões, além da expansão da consciência ecológica entre a sociedade brasileira (MELO & MARQUES, 2000).

A composição de um lodo proveniente de uma ETE é bastante variável. O estudo realizado por Fernandes (2010) referencia a composição média por meio de diversos trabalhos realizados no Brasil com este objetivo (Tabela 4)

No Brasil, ainda não é difundida a experiência de incorporar resíduos de esgoto, lodo e efluentes, aos solos, porque ainda são poucas as cidades dotadas de estações de tratamento de esgotos (BETTIOL & CAMARGO, 2006). Por esse motivo ainda são poucos os produtores que aderiram a utilização do biossólido; motivo esse que ainda causa dúvidas sobre a forma de aplicação e sua eficácia em meio florestal

Tabela 4 - Composição média do lodo de ETE no Brasil

Parâmetros	Unidades	Valores Médios no Brasil
pH		11,60
M.S.	%	57,86
Nitrogênio Total (N)	%	1,07
Carbono Total (C)	%	12,56
Relação C/N	%	13,32
Fósforo Total (P ₂ O ₅)	%	0,26
Potássio (K ₂ O)	%	0,16
Cálcio Total (CaO)	%	19,85
Magnésio Total (MgO)	%	3,17
Cádmio	mg.kg ⁻¹ M.S.	0,57
Zinco	mg.kg ⁻¹ M.S	28,99
Cobre	mg.kg ⁻¹ M.S	73,73
Cromo	mg.kg ⁻¹ M.S	28,11
Mercúrio	mg.kg ⁻¹ M.S	0,52
Níquel	mg.kg ⁻¹ M.S	18,06

M.S. = matéria seca

2.1.3. Tipos de tratamento e disposição final

Segundo Bettiol e Camargo (2000), a disposição final adequada do lodo de esgoto, é uma etapa problemática no processo operacional de uma estação de tratamento de esgoto. As práticas usuais de disposição do lodo de esgoto, como os “aterros sanitários e controlados” ou os despejos “a céu aberto”, são alternativas de custo elevado ou têm potencial para produzirem impactos ambientais indesejáveis. Se constituem, frequentemente, em focos de problema de saúde pública, pela contaminação das águas superficiais e subterrâneas, e pela proliferação de animais e insetos vetores de doenças (MORAES NETO *et al.*, 2007).

Como outras alternativas pode-se citar: disposição oceânica, lagoas de armazenagem, incineração, reuso industrial (produção de agregados leve, fabricação de tijolos, cerâmica e produção de cimento), conversão em óleo combustível, recuperação

de solos (recuperação de áreas degradadas e de mineração) (BETTIOL & CAMARGO, 2006), *landfarming*, reciclagem agrícola e florestal.(ANDREOLI *et al.*, 1998).

A justificativa para a destinação do lodo de esgoto ser a disposição oceânica é devido à redução dos custos, principalmente com o transporte. O grande risco desta prática é a contaminação do próprio meio oceânico e de praias utilizadas para recreação (FARIA, 2000).

A incineração deve ser aplicada quando a contaminação do bio sólido é muito alta, objetivando-se a reduzir o seu volume e toxidez, convertendo-o em gases ou resíduos incombustíveis. É uma alternativa potencialmente poluidora da atmosfera, consome grande quantidade de energia e requer elevados investimentos em filtros para retenção dos gases tóxicos produzidos (FARIA, 2000).

No sistema conhecido como *landfarming* ou tratamento no solo não há a utilização dos nutrientes e matéria orgânica do lodo para fins produtivos. O objetivo é a biodegradação do lodo pelos microrganismos presentes no perfil arável e a retenção de metais na camada superficial do solo. O solo é utilizado como suporte para os microrganismos e reações de bio oxidação da matéria orgânica. Como a área dedicada ao *landfarming* não tem finalidade agrícola, as taxas de aplicação de lodo neste sistema são bem superiores às taxas comumente aplicadas na agricultura. Ainda assim, muitos dos cuidados e restrições ambientais citadas para uso agrícola são válidos para o *landfarming*, porém com limites diferentes, pois estas áreas recebem maior intervenção tecnológica visando seu controle ambiental (ANDREOLI *et al.*, 2001).

Entre as diversas alternativas existentes para a disposição do lodo de esgoto, a utilizada para fins agrícola e florestal apresenta-se como uma das mais convenientes e é amplamente recomendada sua aplicação como condicionador de solo (efeito floculante/cimentante) ou fertilizante, uma vez que o lodo é rico em nutrientes e matéria orgânica (LAPERUTA NETO, 2006). De acordo com Gobatto (2003), a disposição agrícola ou florestal do lodo de esgoto, incluído os custos de transporte até 100 km, seria mais vantajoso pelo aspecto econômico do que as alternativas de disposição como o despejo em aterro sanitário ou sua incineração.

Dentre as vantagens econômicas do emprego do uso do bio sólido, para fins agrícolas e florestais, podem-se citar a redução ou mesmo eliminação da necessidade da aplicação de corretivos e fertilizantes minerais, principalmente do N, do P e do Zn, contudo a substituição total ou parcial dos corretivos e dos fertilizantes irá depender do tipo e da dose do resíduo orgânico empregada e também da sua composição. (ABREU JUNIOR *et al.*, 2005).

Com respeito à melhoria das condições físicas do solo, o lodo de esgoto, de modo semelhante às outras fontes de matéria orgânica, aumenta a retenção de água em solos arenosos e melhora a permeabilidade e infiltração em solos argilosos e, por determinado tempo, mantém uma boa estrutura e estabilidade dos agregados na superfície. (BETTIOL & CAMARGO, 2006). O bio sólido atua como agente cimentante favorecendo a agregação das partículas do solo.

O lodo de esgoto é proveniente do tratamento primário, fase em que os sólidos se separam da parte líquida por gravidade; do tratamento secundário, fase em que os sólidos são separados após ação biológica dos microrganismos e; do tratamento terciário ou avançado. Destes processos resulta uma lama líquida com um teor de sólidos de ordem de 2% a 5%, de conteúdo predominantemente orgânico (CHAGAS, 2000).

Para a sua disposição ao solo, o lodo deverá antes ser submetido a processos de tratamentos de redução de agentes patogênicos e atratividade de vetores (CONAMA, 2006). Os processos de estabilização do lodo são utilizados para reduzir os níveis de microorganismos patogênicos e seus odores, podendo ocorrer por processos químicos, físicos e biológicos.

De acordo com Andreoli (2001), no processo de estabilização biológica, são utilizados os mecanismos naturais de biodegradação que transformam a parte mais putrescível do lodo. As vias podem ser anaeróbia ou aeróbia, podendo também ocorrer por sistemas de compostagem. Na estabilização química são adicionados ao lodo produtos que podem inibir a atividade biológica ou oxidar a matéria orgânica. O tratamento químico mais utilizado é a via alcalina, em que uma base, normalmente a cal, é misturada ao lodo, elevando seu pH e destruindo a maior parte dos microrganismos patogênicos. O uso de outros produtos químicos, como cloro, ozônio, peróxido de hidrogênio e permanganato de potássio, também é possível, porém para pequena escala.

Andreoli (2001) relata que na pasteurização, o lodo é colocado em reatores, nos quais é realizada injeção de amônia anidra até elevação do pH a 11,5. Após uma hora, aproximadamente, há grande redução de microrganismos patogênicos, devido à presença de amônia livre (30%). Em seguida é adicionado ácido fosfórico e a reação exotérmica eleva a temperatura a 65-70°C por aproximadamente dois minutos. Esta reação também baixa o pH para 7,0. Em seguida, o lodo pode ser desidratado, por meio da secagem.

A secagem térmica é um método também conhecido como uma forma de estabilização devido à eliminação dos patógenos e ao bloqueio dos odores emanados pelo lodo, consistindo na elevação da temperatura, o que provoca a evaporação da água. O lodo precisa ser desidratado até apresentar teor de sólidos na faixa de 20% a 45%. Após a secagem, o lodo pode adquirir aspecto granular e apresentar teor de sólidos de 90% a 95%. O processo é eficiente para bloquear a atividade biológica no lodo devido à secagem, porém, como não há mudanças substanciais na matéria orgânica, uma vez que o lodo se reidrata, no solo, por exemplo, a atividade biológica é retomada e podem ocorrer problemas de odores (ANDREOLI, 2001).

A compostagem pode ser conduzida até a estabilização final do biossólido, ou ser interrompida após a fase termófila, na qual os patógenos já foram eliminados. Se conduzida até o fim, o material orgânico resultante estará estabilizado e parcialmente humificado, produzindo efeitos muito superiores sobre a estrutura e condicionamento dos solos. Quando interrompida após a fase termófila, no entanto, o material resultante, ainda “verde”, revela-se como melhor fonte de nutrientes e substrato para a atividade biológica, e, assim como o lodo caleado, atuará secundariamente como condicionador do solo, após a humificação de sua matéria orgânica (ANDREOLI *et al.*, 2001). De acordo com estes mesmos autores, o processo pode ser ilustrado pela Figura 1.

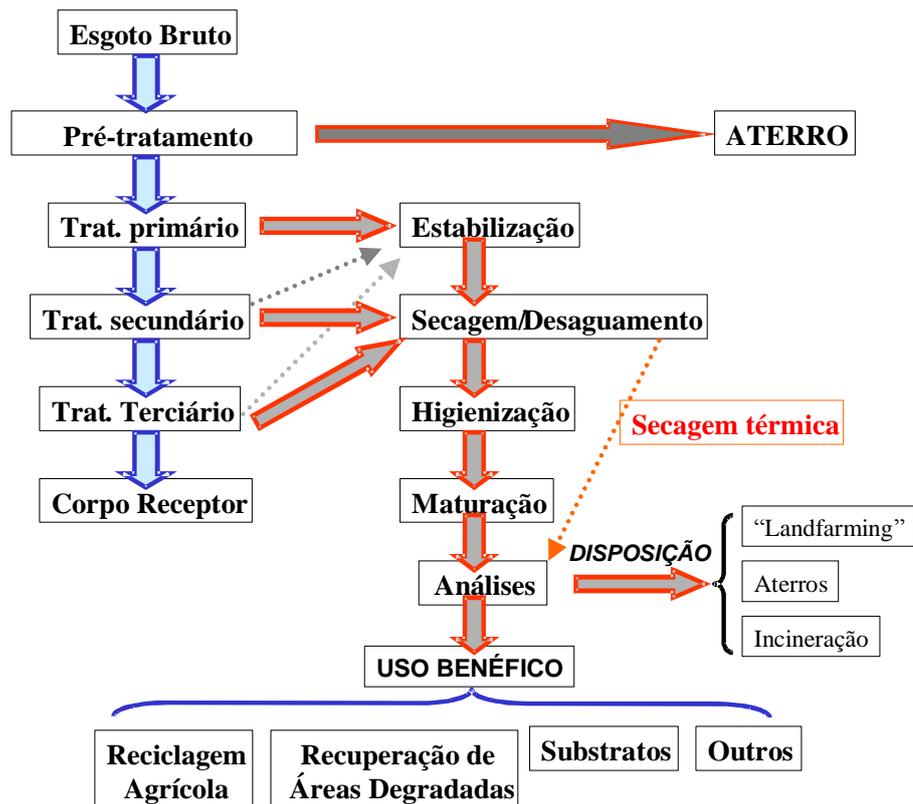


Figura 1 - Fluxo de processamento de lodo para sua destinação final. Fonte: Andreoli, *et al.*, 2001

Os Estados Unidos, Canadá e alguns países da União Européia já vêm incorporando o lodo de esgoto no solo há cerca de vinte anos, e têm desenvolvido algumas normas preventivas contra possíveis problemas com os contaminantes presentes, com ênfase aos metais tóxicos e aos patógenos (SAITO, 2007).

2.1.4. Legislação brasileira vigente

A resolução CONAMA N° 375/2006, define os critérios e procedimentos para a utilização do lodo de esgoto no meio agrícola/florestal. (CONAMA, 2006). Segundo a resolução, a caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado a ser aplicado deve incluir os seguintes aspectos: potencial agrônômico; substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas; indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos; e estabilidade.

Para a caracterização do potencial agrônômico do lodo de esgoto ou produto derivado deverão ser determinados, de acordo com esta Resolução, os seguintes parâmetros: carbono orgânico; fósforo total; nitrogênio Kjeldahl; nitrogênio amoniacal; nitrogênio nitrato/nitrito; pH em água (1:10); potássio total; sódio total; enxofre total; cálcio total; magnésio total; umidade; e sólidos voláteis e totais.

O artigo 11 da resolução dispõe sobre os limites máximos das substâncias inorgânicas permitidas (Tabela 5) e sobre a classe do lodo de acordo com sua concentração de patógenos (Tabela 6).

Tabela 5 - Limites máximos de substâncias inorgânicas presentes no lodo de esgoto ou produto derivado

Substâncias Inorgânicas	Concentração Máxima Permitida mg.kg ⁻¹
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromo	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Valores expressos em base seca

Tabela 6 - Classes de lodo de esgoto ou produto derivado de acordo com a concentração dos agentes patogênicos

Classes	Concentração de Patógenos
A	Coliformes Termotolerantes <10 ³ NMP / g de ST
	Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo / g de ST
	<i>Salmonella</i> ausência em 10 g de ST
	Vírus < 0,25 UFP ou UFF / g de ST
B	Coliformes Termotolerantes <10 ⁶ NMP / g de ST
	Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos / g de ST

ST: Sólidos Totais

NMP: Número Mais Provável

UFF: Unidade Formadora de Foco

UFP: Unidade Formadora de Placa

O parágrafo primeiro desta tabela discorre que somente será permitida a aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado classe A, exceto sejam propostos novos critérios ou limites baseados em estudos de avaliação de risco e dados epidemiológicos nacionais, que demonstrem a segurança do uso do lodo de esgoto Classe B.

A Resolução recomenda que deverá ser adotado, para a taxa de aplicação máxima em base seca, o menor valor calculado onde a aplicação máxima anual de lodo de esgoto e produtos derivados em toneladas por hectare não deverá exceder o quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (em kg/ha); tendo como fórmula, o calculo da aplicação máxima anual de lodo de esgoto.

Fórmula 1: Taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{\text{N recomendado (kg/ha)}}{\text{N disp (kg/t)}}$$

O teor de N disponível do lodo de esgoto ou produto derivado é calculado pelas expressões:

Fórmula 2: Cálculo do Ndisp (mg/kg) para aplicação superficial:

$$\text{Ndisp} = (\text{FM}/100) \times (\text{K}_{\text{Kj}} - \text{N}_{\text{NH}_3}) + 0,5 \times (\text{N}_{\text{NH}_3}) + (\text{N}_{\text{NO}_3} + \text{N}_{\text{NO}_2})$$

Fórmula 3: Cálculo do Ndisp (mg/kg) para aplicação subsuperficial:

$$\text{Ndisp} = (\text{FM}/100) \times (\text{N}_{\text{Kj}} - \text{N}_{\text{NH}_3}) + (\text{N}_{\text{NO}_3} + \text{N}_{\text{NO}_2})$$

Dados necessários para o cálculo do Ndisp: fração de mineralização do nitrogênio (FM) (%); Nitrogênio Kjeldahl (nitrogênio Kjeldahl = nitrogênio orgânico total + nitrogênio amoniacal (N_{Kj}) (mg/kg); Nitrogênio amoniacal (N_{NH_3}) (mg/kg); Nitrogênio Nitrato e Nitrito ($\text{N}_{\text{NO}_3} + \text{N}_{\text{NO}_2}$) (mg/kg).

As concentrações utilizadas nestes cálculos devem ser em mg do parâmetro por kg de lodo de esgoto ou produto derivado em base seca.

Após ser analisado, se o lodo atender às exigências dos padrões mínimos estabelecidos na Resolução CONAMA n°375/2006, poderá ser utilizado como insumo agrícola.

No estado de São Paulo foram elaboradas normas para regularizar a utilização do biossólido (CETESB, 1999). Segundo estas normas, o termo biossólido refere-se exclusivamente ao lodo resultante do sistema de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários, com características tais que atendam às condições das normas para uma utilização segura na agricultura.

A CETESB, estabelece os procedimentos, critérios e requisitos para a elaboração de projetos, implantação e operação de sistemas de aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários ou industriais, em áreas agrícolas,

visando atendimento de exigências ambientais. Aplica-se a todos os sistemas operados no Estado de São Paulo e refere-se exclusivamente a lodos oriundos de sistemas de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários e industriais. (CETESB, 1999)

A CETESB refere-se ao biossólido como um resíduo exclusivo do lodo resultante do sistema de tratamento biológico de despejos líquidos sanitários, com características tais que atende as condições desta norma para uma utilização segura na agricultura. (CETESB, 1999).

Segundo a CETESB (1999), a análise do lodo por esta norma deve incluir, mas não necessariamente se limitar, aos seguintes parâmetros: carbono orgânico, arsênio, fósforo, cádmio, nitrogênio amoniacal, chumbo, nitrogênio nitrato/nitrito, cobre, nitrogênio total ou nitrogênio kjeldahl, cromo total, ph, mercúrio, potássio, molibdênio, sódio, níquel, umidade, selênio, sólidos voláteis e zinco.

A taxa de aplicação anual máxima de metais em solos agrícolas tratados com lodos pela CETESB estão descritas na tabela 7.

Tabela 7- Taxa de aplicação em função do teor de metais

Metal	Taxa de aplicação anual máxima (kg/ha/período de 365 dias)
Arsênio	2,0
Cádmio	1,9
Cobre	75
Mercúrio	0,85
Níquel	21
Chumbo	15
Selênio	5,0
Zinco	140

Em trabalho realizado por Guedes (2005), aborda como a utilização do biossólido em um povoamento de *Eucalyptus grandis* afeta a ciclagem biogeoquímica de nutrientes. Neste experimento os resultados mostraram que a aplicação de biossólido alterou o desenvolvimento e o estado nutricional dos eucaliptos, bem como os padrões de reciclagem dos nutrientes.

A caracterização físico-química e manutenção da qualidade do lodo enviado, foi feito pela SABESP dentro do estabelecido pela norma norte-americana (USEPA, 1984) e pela norma do Estado de São Paulo (CETESB, 1999).

O biossólido aplicado no experimento, foi produzido após tratamento biológico dos esgotos, seguido de condicionamento químico (Ca(OH)_2 e FeCl_3) e desidratação na fase final (Tabela 7). O Lodo foi classificado pertencente à classe B. O processo de estabilização do lodo foi realizado com cal e atuou de forma eficiente na redução de patógenos. O biossólido foi aplicado a lanço, em cobertura, entre as linhas de plantio, deixando aproximadamente, meio metro de distância das mudas.

A aplicação deste biossólido resultou em uma maior deposição de serrapilheira, maior retorno de nutrientes ao solo e propiciou o aumento nos estoques de nutrientes de todos os compartimentos do ecossistema para fase final da rotação da cultura.

Tabela 8 - Caracterização química do biossólido aplicado na área de estudo

N	P	K	C org	Ca	Mg	SO ₄	pH
g.kg^{-1}							
19,0	9,0	2,0	172,0	86,0	4,0	7,0	10,6
Fe	Cu	Mn	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb
mg.kg^{-1}							
55056	900	258	1632	-	258	222	82

Valores totais expressos em base seca

- abaixo do limite de detecção

A adição de produtos químicos alcalinos, nos processos de tratamento e higienização do lodo de esgoto, tem efeito estabilizante no lodo. Segundo Perez (2008) a cal é um dos produtos alcalinos usados no saneamento para elevar o pH, complexar o fósforo nos tratamentos dos efluentes, condicionar o lodo para o desaguamento mecânico e estabilizar quimicamente o lodo. Algumas características químicas e físicas do lodo de esgoto são alteradas pela adição da cal. Esse tipo de tratamento é simples e apresenta baixo custo.

Nos Estados Unidos, durante o ano de 1998, 60% do biossólido produzido teve uso benéfico, sendo 41% aplicado no solo para favorecer o desenvolvimento da vegetação, incluindo as florestas (USEPA, 1999).

2.1.5. Limitações Do Uso Do Lodo De Esgoto Na Área Florestal

O uso do lodo como fonte de nutrientes é uma alternativa viável quando apresenta baixo custo. No entanto, a lenta mineralização do biossólido pode ser prejudicial sob o ponto de vista nutricional e produtivo, pois a conseqüente liberação dos nutrientes pode não ocorrer no momento em que a cultura mais necessita. Desse modo, em certos casos, torna-se necessária uma complementação com fertilizantes minerais, para compensar esta lenta mineralização do biossólido e melhorar a fertilidade dos solos e a nutrição das plantas (GUEDES, 2005).

O trabalho de Ricci *et al.* (2010) realizado no município de Mogi-Guaçu-SP; avaliou o potencial de um composto orgânico de lodo de esgoto e resíduos de roçagem na recuperação de um solo decapitado, por meio do efeito de sua aplicação nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo e nas características de crescimento de

mudas de espécies florestais nativas Com o estudo, foram concluídas que as dosagens de lodo não modificaram os atributos físicos analisados no solo do local e que a altura e o diâmetro médio das plantas do reflorestamento escolhido não sofreram influência das dosagens crescentes do composto de lodo.

Apesar do fornecimento do biossólido ainda ser gratuito, os usuários pagam pelo transporte do material, o qual, só é viável até determinada distância; foi o que observou Silva *et al.* (2002), o que conferi ao biossólido um fator limitante de uso quanto ao aspecto econômico. Os mesmos autores concluíram que a distância máxima viável ao seu uso será de 122 km, pelo alto valor do frete.

Além disto, existe a possibilidade de toxidez ao solo com a aplicação do lodo de esgoto, assim como acontece com aplicações em excesso de nutrientes. A hipótese de que o lodo quando aplicado ao solo não causa efeito tóxico ao sistema solo-eucalipto foi discutido pela autora Brossi (2008). Ela verificou que o lodo aplicado ao solo na dose de até 15,1 t ha⁻¹ não causa efeito tóxico, mutagênico ou genotóxico no sistema solo-planta, porém 50% a mais do que esta dose, já causa efeito tóxico.

Canziani *et al.*(1999), afirmam que existem uma série de outras variáveis de ordem econômica e ambiental que devem ser analisadas em conjunto pela comunidade afim de selecionar o método de processamento mais apropriado para a reutilização do lodo em uma determinada região.

O lodo de esgoto apresenta grandes quantidades de nitrogênio e fósforo. O nitrogênio é um elemento essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas e dos seres vivos no solo. Os autores Bettiol & Camargo (2006) descrevem que a matéria orgânica do lodo aplicado ao solo, sofre mineralização, liberando nitrogênio na forma amoniacal e nítrica que é somado ao existente antes da aplicação. Assim a quantidade de lodo aplicado deve ser tal que a quantidade de nitrogênio ou amônio presente não exceda aquela que a planta vai consumir, pois o excesso ficaria em forma lixiviável que poderia alcançar e contaminar corpos de água subterrâneos.

A presença de metais pesados em lodos de esgoto é uma das principais preocupações quando se pretende utilizar o biossólido para fins agrícolas e florestais. Os metais pesados além de exercerem efeitos negativos sobre o crescimento das plantas, também afetam os processos biogeoquímicos que ocorrem no solo. A decomposição do material orgânico adicionado ao solo, a mineralização do nitrogênio e a nitrificação podem ser inibidos em locais contaminados por metais pesados. (MATIAZZO & ANDRADE, 2000, citado por PEREZ, 2008).

Os metais pesados encontram-se distribuídos em toda natureza, e são encontrados no solo de diferentes formas; seja a origem de materiais originários da rocha ou pela deposição de cinzas, precipitação, fertilizantes químicos, etc. Dependendo de qual elemento estiver disposto e a sua concentração, poderá apresentar pequenos riscos ou ser potencialmente perigoso ao meio em que se encontra. Entre os contaminantes químicos, presentes no lodo de esgoto, podem ser encontrados metais tóxicos e contaminantes orgânicos provenientes de indústrias e de esgotos domésticos, podendo ser encontrados em medicamentos, produtos de limpeza, solventes, poluentes derivados de combustão, pesticidas, etc. (SAITO, 2007).

Segundo Tsutiya (1999), a presença de metais pesados nos biossólidos depende de duas condicionantes básicas: representatividade dos lançamentos industriais em relação às vazões coletadas de origem doméstica; e controle dos lançamentos industriais. Essas condicionantes dizem respeito primeiramente à diluição dos poluentes; pois os poluentes advindos de origem doméstica acarretam menos metais pesados ao biossólido do que o de origem industrial. Outro fator de preocupação é a

composição variável do lodo nas diferentes regiões e épocas do ano, dificultando o monitoramento dos contaminantes (SAITO, 2000). Assim, a incorporação de lodo de esgoto em solos agrícolas deve ser adequadamente planejada e monitorada, para isso é necessário que haja um tratamento adequado e eficaz nas ETE, minimizando a disposição destes elementos ao ambiente.

Além dos metais pesados, outros componentes orgânicos ou inorgânicos, podem estar presentes no biossólido e contaminar águas subterrâneas e superficiais, devido à lixiviação ou ao escoamento superficial.. Outra preocupação com o uso do biossólido em plantios florestais é quanto o desbalanço nutricional das plantas, que poderá ser provocado pelo excesso de nitrogênio ou fósforo, ou escassez de potássio no biossólido, ou pela lixiviação dos íons (MORAES NETO *et al.*, 2007).

O objetivo do estudo de Bertoncini & Mattiazzo (1999) foi avaliar a mobilidade de metais pesados em solos de diferentes classes texturais, tratados sucessivamente com lodo de esgoto, e também os efeitos da adição de sais na mobilidade desses cátions metálicos, tendo em vista que cátions e ânions presentes nesses sais poderão ser adicionados a solos tratados com lodo de esgoto como complemento da adubação. Os autores realizaram um experimento em tubos de percolação, utilizando-se três solos, aos quais foram incorporadas sucessivas quantidades de lodo de esgoto. Os solos foram tratados com água ou com soluções de sais (KCl 0,9 mol L⁻¹; KNO₃ 0,9 mol L⁻¹; K₂SO₄ 0,3 mol L⁻¹ e Ca(NO₃)₂ 0,3 mol L⁻¹). Os resultados permitiram observar que a adição de KCl provocou o arraste de 5% do Cd adicionado via lodo aos solos Latossolo Vermelho-Amarelo (LV) e Latossolo Vermelho-Escuro (LE). Soluções de KCl e K₂SO₄ aumentaram a mobilidade do Ni, em Neossolo Quartzarênico, e do Cr, nos três solos estudados. Os elevados valores de pH e o aumento no teor de matéria orgânica proporcionado pela adição de lodo refletiram também na menor mobilidade dos metais.

2.2 Uso do biossólido como substrato para produção de mudas florestais

Um dos aspectos importantes na formação de uma muda é quanto os parâmetros físicos. A estabilidade dos agregados e a quantidade de argila dispersa em água; constituem bons indicadores de qualidade do solo e constituem estes parâmetros. (BETTIOL & CAMARGO, 2006)

Para haver a formação dos agregados no solo é necessárias que haja uma força mecânica qualquer, que provoque a aproximação das partículas no solo (movimento das raízes, animais, expansão e contração do solo, práticas agrícolas), após o contato entre as partículas, deve existir um agente cimentante que mantenha a união, gerando assim o agregado.

A matéria orgânica juntamente com os minerais de argila, são os dois agentes cimentantes que mais contribuem para a agregação do solo. (BETTIOL & CAMARGO, 2006). Os agentes cimentantes do solo são os elementos ou substâncias químicas que agem nos processos de agregação e de endurecimento nas camadas e horizontes do solo. Dessa forma o lodo de esgoto incorporado ao solo age como agente cimentante e agregante.

No mercado nacional estão disponíveis diferentes substratos obtidos a partir de misturas de diferentes materiais, indistintamente recomendados a um grande número de espécies, cujas formulações e características são pouco conhecidas e, cujos desempenhos, como meio de cultivo, podem ser irregulares (Menezes Junior &

Fernandes, 1999). Por ser rico em matéria orgânica que desempenha papel de fundamental importância na capacidade de troca catiônica (CTC) e retenção de água dos solos, especialmente nos solos tropicais, o lodo de esgoto rapidamente mineraliza nas condições de clima tropical, fornecendo, ainda, nutrientes para as plantas, especialmente nitrogênio e fósforo (TRABALLI, 2008). Dessa forma, seu uso vem se tornando bastante promissor, influenciando positivamente a nutrição das plantas.

Além do benefício ambiental, o uso do lodo de esgoto no substrato pode aumentar a capacidade de retenção hídrica, fornecer macro e micronutrientes às mudas, permitir uma economia na adubação, podendo ser uma alternativa menos onerosa que os substratos comerciais, ou outros componentes (MORAIS *et al.*, 1996; TRIGUEIRO & GUERRINI, 2003; FAUSTINO *et al.*, 2005; CUNHA *et al.*, 2006; NOBREGA *et al.*, 2007; SCHEER *et al.*, 2010).

O estudo de Freier *et al.* (2006) comparou efeitos de doses crescentes de biossólido no crescimento inicial de mudas de *Corymbia citriodora*. Quatro meses após à sementeira, as mudas foram transplantadas para vasos plásticos com capacidade para cinco litros. Foram aplicadas doses 0; 10,8; 21,6; 43,2; e; 86,4g de biossólido por vaso, equivalentes a 0, 3, 6, 12, e 24 t.ha⁻¹; adicionados na superfície do solo ou incorporados ao conteúdo do substrato do vaso. Aos 100 dias pós-plantio, a ANOVA resultou em efeito estatisticamente significativo para modo de aplicação do biossólido na altura das mudas de eucalipto. O modo de aplicação do biossólido afetou também o desenvolvimento inicial das mudas. Mudas com a aplicação de doses crescentes do biossólido à superfície do solo apresentaram maior altura e também apresentaram diâmetro do coleto maior (4,39 mm) do que quando o biossólido foi incorporado ao substrato do vaso (3,86 mm). Esta aplicação a superfície mostrou-se promissora até a dose de 24 t ha⁻¹ durante a fase inicial de crescimento de *E. citriodora*.

Faustino *et al.* (2005), avaliaram a viabilidade do lodo de esgoto como componente do substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam. Dos cinco tratamentos empregados com diferentes proporções de lodo, o melhor crescimento das mudas desta espécie foi obtido com substrato contendo 50% de lodo + 50% de solo, seguido do tratamento composto de 25% de lodo + 25% de pó de coco + 50% de solo. Os autores concluíram em seu estudo que o uso de lodo de esgoto como componente de substratos para produção de mudas pode ser uma alternativa viável para sua disposição final e constitui uma ferramenta a ser utilizada pelas prefeituras, na produção de mudas para arborização urbana e recuperação de áreas degradadas.

Uma boa parte dos viveiros que produzem mudas de espécies florestais utiliza-se de substratos à base de casca de *Pinus* compostada, que apresenta baixa capacidade de retenção de água e necessita de maior quantidade de nutrientes via adubação. Portanto é essencial o estudo de outros constituintes que apresentem características complementares aos constituintes utilizados normalmente. Scheer *et al.* (2010), avaliaram o crescimento de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan (gurucaia) em substratos à base de lodo de esgoto e com uso de substrato comercial. Pelos resultados, verificou-se que as mudas cresceram mais quando cultivadas em substratos à base de lodo de esgoto, do que quando cultivadas em substrato comercial (à base de casca de *Pinus* compostada e vermiculita).

Sabendo do aumento na procura por mudas de espécies florestais nativas e do grande potencial do biossólido como adubo orgânico, Maas (2010), analisou a utilização do biossólido como componente do substrato na produção de mudas de timburi. Para este estudo foram utilizados cinco tratamentos: T1 = 100% substrato comercial (testemunha); T2 = 15% de biossólido + 85% substrato comercial; T3 = 30% de

biossólido + 70% substrato comercial; T4 = 45% de biossólido + 55% substrato comercial; T5 = 60% de biossólido + 40% substrato comercial. Com base nas avaliações, os autores concluíram que os tratamentos T4 e T5 foram os que proporcionaram as melhores médias nos índices de qualidade de desenvolvimento das mudas.

Em trabalho realizado por Morais *et al.* (1996), comparando esterco bovino, biossólido e acículas de *Pinus*, ficou comprovado que o melhor crescimento em diâmetro do colo e altura total para mudas de cedro na fase de viveiro, foi obtido em mudas desenvolvidas no substrato de 70% de solo sem adubação + 30% biossólido. Este resultado evidencia mais um vez o efeito benéfico do lodo de esgoto na produção de mudas em viveiros.

Um estudo comparativo entre as concentrações de lodo no substrato e seus efeitos na produção de mudas florestais foi realizado pelos autores Teles *et al.* (1999). Os substratos foram preparados com diferentes concentrações de lodo de esgoto, (0, 25, 50, 75 e 100%) e com terra do subsolo. O tratamento com concentração de 25% de lodo calado foi o que apresentou o melhor resultado para o crescimento das mudas. O lodo pasteurizado promoveu incremento em altura, diâmetro e matéria seca das mudas em função do aumento das doses aplicadas.

Trigueiro & Guerrini (2003) avaliaram a viabilidade do uso do biossólido como componente de substrato para produção de mudas de eucalipto. A caracterização física do substrato mostrou que à medida que se elevou a proporção de biossólido, ocorreu aumento na densidade do substrato (Tabela 3), proporcionando diminuição da macroporosidade e maior capacidade de retenção de água. Os autores relataram que durante a fase no viveiro, não se verificou nenhum sintoma de deficiência ou toxidez, causada respectivamente pela falta ou excesso dos nutrientes nos substratos testados. Como resultados, obtiveram que a proporção de 40 a 50 % do biossólido em mistura com casca de arroz carbonizada é melhor para o desenvolvimento das mudas, e que os resultados de crescimento das mudas do eucalipto foram semelhantes às mudas cultivadas no substrato tido como testemunha (Multiplant).

O trabalho de Garcia *et al.* (2009) avaliou a nutrição mineral de mudas de eucalipto após aplicação de lodo de esgoto em recipientes de 50 L, preenchidos com um latossolo. Os tratamentos foram constituídos com cinco doses de lodo de esgoto (0, 25, 50, 75 e 100 t.ha⁻¹). O aumento das doses de lodo de esgoto proporcionou o aumento dos teores foliares de N, P, K, Zn e Cu, diminuição dos teores de Mg, Bo e Fe, e permanecendo constante o teor foliar de Mn.

Trigueiro (2002) avaliou a viabilidade da utilização do lodo de esgoto para produção de mudas de pinus e eucalipto. Foram avaliadas diferentes proporções de biossólido/casca de arroz carbonizada para a produção de mudas e comparadas ao substrato padrão usado por este viveiro (Multiplant®). Os resultados revelaram que mudas de eucalipto e pinus desenvolvidas em substrato contendo proporção de 50/50 e 40/60 apresentaram resultados satisfatórios quando comparados à testemunha. Doses superiores a 70% de biossólido foram prejudiciais ao desenvolvimento das mudas de ambas as espécies.

Com o objetivo de avaliar o uso do biossólido como componente no substrato para produção de mudas de *Murraya paniculata*, Caldeira *et al.* (2011) verificaram que, dentre as diferentes proporções de biossólido e substrato comercial testadas, as de 20% e 40% de biossólido foram as mais indicadas para favorecer melhores resultados das características morfológicas da espécie estudada, em relação ao substrato comercial

puro. Os autores concluíram que o uso de biofóssido como componente de substratos, é uma alternativa viável para a produção de mudas desta espécie.

Neves *et al.* (2010) objetivaram avaliar o uso de materiais orgânicos na produção de mudas de *Moringa oleifera L.* buscando melhorar as condições de desenvolvimento das plantas. O experimento realizou-se com diversos substratos na proporção de 2:1 sendo esses: solo + esterco bovino, solo + esterco de aves, solo + fibra de coco, solo + lodo esgoto e um tratamento testemunha (apenas solo). O substrato solo + esterco de aves nas condições do experimento foi o que apresentou menor eficiência para todas as características avaliadas. Os tratamentos solo + lodo de esgoto, solo + esterco bovino e testemunha proporcionaram os maiores valores de matéria seca da parte aérea e raiz, índice de velocidade de emergência e altura das plântulas. Os autores observaram que na produção de mudas de moringa na falta de esterco de curral, lodo de esgoto ou fibra de coco o substrato poderá ser composto em toda a sua totalidade, de solo de barranco.

Com vistas em obter um meio de crescimento adequado para o desenvolvimento de mudas, Guerrini & Trigueiro (2004), verificaram em seu trabalho os atributos físicos e químicos de substratos com diferentes doses de biofóssido e de casca de arroz carbonizada. Com a elevação da dose de biofóssido no substrato houve aumento da densidade e do percentual de microporos e, conseqüentemente, da capacidade de retenção de água. O biofóssido apresentou teores razoáveis de nutrientes com destaque para N e P, mas baixos teores de K. Comparando-se os valores considerados adequados para o desenvolvimento de mudas, a faixa adequada de biofóssido para formação do substrato variou de 30 a 60%.

2.3. Uso do biofóssido em cultivos de eucalipto

A sustentabilidade de uma plantação florestal está diretamente relacionada ao balanço nutricional do ecossistema. Assim para o crescimento adequado das árvores, a quantidade de nutrientes essenciais que entra no ecossistema, a médio e longo prazo deve ser equivalente a quantidade que sai. (POGGIANI *et al.*, 2000).

Guedes (2005) cita em seu estudo que a viabilidade ecológica é a capacidade do ecossistema de reciclar a energia e os nutrientes, diminuindo a necessidade de entradas externas, tornando-se mais conservativo e auto-sustentável. Decorrente disso, o mesmo autor relata que a utilização do lodo favorece o ecossistema, pois ele contribui com a devolução de nutrientes ao solo; assegurando assim maior capacidade do ecossistema em manter a sustentabilidade produtiva do sítio do que a adubação mineral.

A vertente silvicultural relacionada com a avaliação do efeito da aplicação do biofóssido sobre o incremento da biomassa produzida nas plantações florestais de rápido crescimento vem sendo estudada por muitos pesquisadores (VAZ & GONÇALVES, 2002a; ROCHA *et al.*, 2004; FIRME, 2009) devido aos benefícios que culminam no ganho de madeira.

A aplicação do lodo pode aumentar significativamente os retornos econômicos de uma plantação florestal devido à maior produtividade obtida, compensando os custos de transporte e aplicação do resíduo (KIMBERLEY *et al.*, 2004; citados por SILVA *et al.*; 2008).

Os nutrientes mais frequentemente utilizados nas adubações de espécies florestais são o nitrogênio (N), o fósforo (P) e o potássio (K). Em plantações florestais é comum o uso de adubo simples, formados por apenas um composto químico. Neste

caso, normalmente são utilizados: sulfato de amônio e uréia, como fontes de nitrogênio; superfosfato simples; superfosfato triplo e fosfato natural, como fontes de fósforo; cloreto de potássio e sulfato de potássio, como fontes de potássio; bórax, como fonte de boro. Além dos adubos simples, existem os adubos formados a partir da mistura de dois ou mais fertilizantes, os quais, representados por formulações, são denominados de adubos mistos. A formulação do fertilizante varia de região para região, e de acordo com a cultura que o adubo será aplicado. De maneira geral, na atividade florestal, o fósforo é colocado em maior quantidade que os outros elementos, por ser normalmente aquele presente em menor concentração no solo (BELLOTE & SILVA, 2003), principalmente na época do plantio.

Algumas diferenças que favorecem a aplicação do biossólido em plantios florestais em relação à grande parte das culturas agrícolas são as aplicações espaçadas em longos períodos (POGGIANI et al., 2000).

Silva & Poggiani, (2005) descrevem as situações em que o lodo de esgoto é considerado ainda mais atrativo nas culturas florestais; tais como: os produtos dessas culturas não se destinam à alimentação humana ou animal; as aplicações são realizadas com grandes intervalos de tempo (5 a 7 anos) o que gera baixo impacto sobre o ecossistema; existem extensas áreas de florestas plantadas disponíveis; as plantações florestais ocupam geralmente solos de baixa fertilidade; a malha de raízes finas absorve de imediato os nutrientes liberados pelo lodo; facilidade de aplicação nos talhões em qualquer época de desenvolvimento do plantio; imobilização dos nutrientes na biomassa lenhosa (fitoremediação).

Vaz & Golçalves (2002b); Rocha *et al.* (2004); Guedes (2005); Silva (2006); Firme (2009), vêm observando a potencialidade do biossólido no campo como elemento favorecedor da ciclagem de nutrientes em plantio de eucalipto. Ao mesmo tempo que seu uso propicia maior deposição de serrapilheira, retornando mais nutrientes ao solo, ele também diminui a entrada de agentes externos, fazendo com que aquele plantio se torne mais conservativo e auto sustentável; trazendo assim benefícios econômicos e ecológicos.

Guedes (2005) menciona que no Brasil, o grupo de pesquisadores da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), atualmente é o único que vem publicando (Andrade, 1999; Andrade & Mattiazzo, 2000; Faria, 2000; Faria & Rodriguez, 2000; Fortes Neto, 2000; Poggiani et al., 2000; Vaz, 2000; Guedes, 2000; Vaz & Gonçalves, 2002a; Martins, 2002; Rocha, 2002; Guedes & Poggiani, 2003; Molina, 2004; Andrade, 2005) sobre a utilização de biossólido em plantio de eucalipto. Segundo Faria & Rodrigues (2000), o potencial de uso do biossólido da ETE de Barueri (SABESP) em áreas reflorestadas próximas à estação é muito grande. Os autores concluíram também que existe demanda para o uso de biossólido como fertilizante em plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* no Estado de São Paulo, que indicava a existência de uma área reflorestada de aproximadamente 321.000 ha, no final de 1999.

Trabalhos realizados pela ESALQ/USP e o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), vêm estudando desde fevereiro de 1998 a aplicação de biossólido em plantações de *Eucalyptus grandis*. O trabalho realizado por Poggiani & Bennedeti (1999) dimensiona a viabilidade promissora de três vertentes: ecológica, silvicultural e econômica da utilização do lodo de esgoto na cultura de Eucalipto. No primeiro semestre de 2003, cinco anos após o início do experimento foi avaliado o efeito positivo do biossólido na produtividade dos eucaliptos, em que a fertilidade do solo aumentou com as doses crescentes de biossólido aplicado.

Vaz & Gonçalves (2002b) avaliaram também, o efeito de doses crescentes de biofósforo sobre atributos químicos do solo, crescimento e absorção de macro e micronutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis*. A resposta à aplicação de biofósforo elevou-se com a idade, refletindo, principalmente, nos efeitos benéficos decorrentes da elevação da disponibilidade de nutrientes para as árvores. Foi observado que os nutrientes N, P, Ca, Mg, S, Mn e Zn foram os mais influenciados pela aplicação de biofósforo. Os autores observaram que a aplicação de 10 t.ha⁻¹ de biofósforo, sem suplementação de K, elevou o teor desse nutriente de 0,8 (testemunha) para 1,1 mmolc.dm⁻³ de solo, atingindo a faixa de teor considerada adequada para o crescimento de eucalipto. Esses resultados evidenciam que a suplementação de K em plantações de eucalipto poderá não ser necessária para doses de biofósforo maiores que 10 t.ha⁻¹. Neste caso, somente o K disponível do biofósforo elevaria a fertilidade do solo a níveis suficientes para atender à demanda do eucalipto. O efeito da aplicação do biofósforo sobre o volume de madeira sólida foi de 10 e 30% melhor do que com a adubação mineral. O crescimento em volume elevou-se de 1,9 para 7,2 m³.ha⁻¹ aos 17 meses de idade, 13 meses pós aplicação do biofósforo.

Stefani *et al.* (1999) verificaram o efeito do biofósforo na fertilidade de solo e crescimento das árvores, bem como a movimentação dos metais pesados no solo, analisados nos talhões florestais. Como resposta preliminar, os autores observaram que o crescimento das plantas foi maior nos tratamentos com adubação química, entretanto as diferentes doses de biofósforo proporcionaram maiores taxas de absorção de cálcio, magnésio, enxofre e cobre, dois meses após a aplicação do lodo.

Da mesma forma, Rocha *et al.* (2004) demonstraram também o ganho na produtividade da madeira com o uso do biofósforo, em que avaliaram os efeitos da aplicação de doses crescentes de biofósforo na fertilidade de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, na nutrição mineral e no crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis*. Após 32 meses da aplicação do biofósforo, a fertilidade do solo aumentou gradualmente, com aumento dos teores de matéria orgânica, nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, de P-resina e de Ca trocável, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Como consequência, a aplicação do biofósforo aumentou a produção de madeira a valores acima dos obtidos com a adubação convencional, mais evidente aos 36 meses de idade.

A aplicação de biofósforo influenciou positivamente na nutrição das plantas, proporcionando uma produção de madeira igual à obtida no tratamento que só recebeu adubação mineral (1,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico e, em kg ha⁻¹, 98 de N, 79,5 de P₂O₅, 165 de K₂O, 1,3 de B e 1,2 de Zn), quando a dose de biofósforo foi equivalente a 12 t ha⁻¹.

O trabalho desenvolvido por Guedes (2005) aborda como a utilização do biofósforo em um povoamento de *Eucalyptus grandis* afeta a ciclagem biogeoquímica de nutrientes. Neste experimento, os resultados mostraram que a aplicação de biofósforo alterou o desenvolvimento e o estado nutricional dos eucaliptos, bem como os padrões de reciclagem dos nutrientes, evidenciando que a produção de fitomassa arbórea pelos eucaliptos que receberam o tratamento do biofósforo + K e P mineral foi significativamente maior do que no tratamento testemunha (sem adubação e sem aplicação de biofósforo) e, em média, maior também do que na fertilização mineral. Com o aumento nas doses de biofósforo, o autor verificou também um significativo aumento na produção de serrapilheira e na devolução de nutrientes ao solo; assegurando assim maior capacidade do ecossistema em manter a sustentabilidade produtiva do sítio do que a adubação mineral.

Em trabalho realizado por Firme (2009), o lodo foi distribuído ao solo, na linha do plantio; na quantidade descrita na resolução nº 375 CONAMA (CONAMA 375/06), conferindo a aplicação de 15,4 t.ha⁻¹ (considerada dose de 100%). Como descrito pela autora a aplicação do lodo de esgoto dentro dos critérios técnicos não resultou na contaminação florestal no aspecto solo-planta. A aplicação do lodo de esgoto resultou no aumento da matéria seca do lenho, casca, folha e galho e em combinação com os adubos NPK, aumenta a produtividade do volume de madeira com casca. A dose de 50% de lodo, recomendada pelo critério de N, possibilitou reduzir a quantidade de fertilizante nitrogenado em 100% e fertilizante fosfatado em 66%. A autora aborda também que com o aumento das doses de lodo de esgoto no plantio ocorreu um acúmulo de Cu, Fe, Mn, Zn, Cd Cr, Ni, Pb na biomassa total de serrapilheira e no retorno dos elementos ao solo. Ela aponta que esse acúmulo na serrapilheira é devido à baixa mobilidade desses elementos na planta.

Campos & Alves (2008), estudaram a influência do lodo de esgoto na recuperação de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho degradado, cultivado por dois anos e meio por *Corymbia citriodora* e *Brachiaria decumbens* no município de Selvíria, MS. Os autores observaram que a aplicação de 30 e 60 t.ha⁻¹ de lodo melhorou as propriedades físicas do solo, proporcionando maior rendimento de matéria seca da braquiária e também promoveu maior crescimento das plantas de eucalipto.

Silva *et al.* (2008) avaliaram o efeito das doses 10, 20 e 30 t ha⁻¹ dos lodos de esgoto úmido (torta) e seco (granulado), aplicados ao solo na linha de plantio de *Eucalyptus grandis*, aos 18 meses de idade. O resultado do volume dos troncos adubados com lodo de esgoto foi semelhante aos da parcela com adubação mineral, e apresentou valores maiores do que a da testemunha sem aplicação de fertilizante. Esses autores observaram também que os nutrientes encontrados no bio sólido estão dentro dos limites usados nas plantações comerciais.

O efeito da aplicação de doses crescentes de bio sólido no povoamento de Eucalipto foi verificado no trabalho de Vaz & Gonçalves (2002b). Estes autores obtiveram como resultado, após seis meses de aplicação do bio sólido, aumento nos teores de K, Ca e S. Treze meses pós aplicação do bio sólido, os teores de P, Ca, K e S elevaram-se nas camadas mais superficiais do solo (0-5cm). Aos 24 meses de idade os autores observaram que não houve diferença no crescimento do eucalipto com aplicação de 10 t.ha⁻¹ ou com a adubação mineral; ressaltando que as respostas à utilização do bio sólido elevaram-se com a idade contribuindo com a disponibilidade de nutrientes para as árvores.

Guedes *et al.* (2006) avaliaram a influência da aplicação do bio sólido sobre atributos químicos do solo. O experimento foi feito com a aplicação de doses crescentes de bio sólido variando de 10 a 160 t.ha⁻¹, e adubação mineral como testemunha. Os autores observaram que o bio sólido influenciou mais na acidez do que em outros atributos químicos do solo, de maneira que o bio sólido alcalino diminuiu a acidez do solo e melhorou sua fertilidade, aumentando a disponibilidade da maioria dos nutrientes.

A utilização do lodo de esgoto também aumenta a quantidade de matéria orgânica nos solos. Lira *et al.* (2008), verificaram que plantios de *Eucalyptus grandis* que receberam aplicação de doses até 40 t.ha⁻¹ de bio sólido, apresentaram 63% a mais de biomassa acima do solo do que a testemunha (sem adubação e sem aplicação de bio sólido) e igual valor, quando comparado aos tratamentos que receberam adubação completa.

No entanto, Andrade (2004), ao investigar o efeito de doses de biofóssido sobre o estoque de carbono e nitrogênio de um solo cultivado com eucalipto, não verificou diferenças significativas entre os tratamentos após cinco anos da aplicação de doses de um biofóssido alcalino, que foi aplicado três meses após o plantio das mudas. Pelos resultados, o autor concluiu que a quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo, após cinco anos de aplicação do biofóssido ou fertilizantes naturais, não foi alterada.

Silva (2006) verificou em um estudo com deposição de lodo de esgoto em plantios de eucalipto que, os eucaliptos sob o tratamento de lodo de esgoto depositaram uma quantidade de folhas de 4,9 t.ha⁻¹; 45% superior ao tratamento testemunha que foi de 3,4 t ha⁻¹ e semelhante ao tratamento com adubação mineral (4,7 t.ha⁻¹).

Uma das principais justificativas para a utilização do lodo de esgoto nos plantios é por ele ser rico em nutrientes. O trabalho de Guedes e Poggiani (2003) objetivou avaliar o efeito da aplicação do biofóssido sobre os teores foliares de nutrientes, em um povoamento jovem de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Foram aplicadas doses crescentes, até 40 t.ha⁻¹, de biofóssido e adubação mineral. O biofóssido alterou, significativamente, os teores dos nutrientes nas folhas, exceto para o elemento Fe. Quantificados pelos autores, de maneira geral, a aplicação de biofóssido aumentou os teores de N, P, Ca e S nas folhas.

De acordo com os resultados de Silva (2006), pode-se perceber que a aplicação do lodo nas linhas de plantio de eucalipto, elevou tanto a concentração dos nutrientes nas folhas, como também na produção do folheto e desta forma incrementando a transferência de nutrientes das copas dos eucaliptos para os compartimentos da serrapilheira e do solo. Desta forma, o autor ainda conclui que o uso do lodo de esgoto permitiria a substituição das adubações nitrogenada e fosfatada, além da adição dos micronutrientes, exceto o boro.

Uma característica dos biofóssidos é a sua lenta decomposição e conseqüente mineralização dos nutrientes. Por um lado pode ser favorável sob a perspectiva da reciclagem dos nutrientes, pois permite uma sincronia entre liberação e absorção dos elementos pelas árvores, diminuindo as saídas do ecossistema devido à lixiviação. Sob o ponto de vista do manejador, isso pode trazer problemas quando se necessita de uma rápida liberação de nutrientes, como é o caso do P para alimentar o arranque das mudas de eucalipto. Por outro lado, se torna interessante pela perspectiva de liberação de nutrientes durante todo o ciclo da cultura do eucalipto, inclusive durante uma segunda rotação (ANDRADE, 2004).

Silva (2006), aplicando 0, 10, 20 e 30 t.ha⁻¹ de lodo de esgoto uma semana após a implantação das mudas de *Eucalyptus grandis*, juntamente com cloreto de potássio e ácido bórico (devido aos baixos teores destes elementos encontrados no lodo de esgoto), verificou, aos dezoito meses, um aumento significativo de volume nas mudas de eucalipto tratados com biofóssidos em relação à testemunha; aumento de 30m³ por hectare em quase todos os tratamentos.

Silva (2006) quando comparou a influência do lodo de esgoto seco e úmido, sobre o crescimento das árvores de *Eucalyptus grandis*, verificou que aos 36 meses de idade, os tratamentos com aplicação do lodo úmido e seco, apresentaram crescimento em altura significativamente maiores do que o observado no tratamento testemunha (sem aplicação do lodo de esgoto) e similar ao observado no tratamento com adubação mineral. O autor constatou também que a dose de biofóssido mais adequada para a produção de madeira é de 10 t.ha⁻¹.

Silva & Poggiani (2005) no estudo sobre a reciclagem dos nutrientes após a adubação com lodo de esgoto em um povoamento de *Eucalyptus grandis*, avaliaram seu

efeito na produção de biomassa bem como na ciclagem de nutrientes. Os resultados demonstraram que a produção de fitomassa arbórea pelos eucaliptos que receberam o lodo foram significativamente maiores do que no tratamento testemunha e maiores do que no tratamento com fertilização mineral. A aplicação do lodo propiciou, maiores estoques de nutrientes em todos os compartimentos do ecossistema.

Silva *et al.* (2008) avaliaram o efeito da adição de três doses (10, 20 e 30 t. ha⁻¹) dos lodos de esgoto úmido (torta) e seco (granulado), complementados com K e B e aplicados ao solo nas linhas de plantio de *Eucalyptus grandis*. Dezoito meses após a implantação das mudas no campo, o volume dos troncos demonstrou aumento significativo com os bio sólidos úmido e seco, complementados com K e B, em relação à testemunha sem aplicação de fertilizante, bem como teve resultado semelhante ao do tratamento com adubo mineral. As concentrações foliares de todos os nutrientes nos eucaliptos tratados com os bio sólidos mantiveram-se dentro dos limites observados usualmente nas plantações comerciais, não havendo sinais de desequilíbrio nutricional.

Barreiros *et al.* (2007) verificaram o efeito da aplicação de lodo de esgoto nos atributos físicos e químicos da madeira de *Eucalyptus grandis*. Com aplicação de doses de 0 a 40 t ha⁻¹, o lodo de esgoto diminuiu a densidade básica da madeira, mas não afetou os teores de celulose, lignina, extrativos e o poder calorífico da madeira. Houve decréscimo de densidade da madeira pela adubação com lodo de esgoto, mas que foi compensado pela maior produtividade de madeira.

Andrade *et al.* (2005) determinaram em seu estudo, o efeito da aplicação de doses de um bio sólido alcalino nos estoques de C e N, bem como na qualidade da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico cultivado com eucalipto. Quatro meses após o plantio, foi aplicado o bio sólido, sobre a superfície do solo, nas entrelinhas da cultura e sem posterior incorporação. Cinco tratamentos foram avaliados cerca de cinco anos após a aplicação do resíduo ou dos fertilizantes minerais, foi verificado que o teor total de C e N no solo não diferiu entre os tratamentos nas camadas até 60 cm de profundidade. O tratamento que recebeu 40 t.ha⁻¹ de bio sólido afetou a qualidade da matéria orgânica, caracterizado pelo aumento da participação de lignina no total de matéria orgânica no solo; favorecendo indiretamente à maior produção e deposição de folhas sobre o solo.

3. CONCLUSÃO

A presente revisão bibliográfica permitiu avaliar que a utilização do lodo proveniente de ETE como constituinte de substratos na produção de mudas e como fonte de nutrientes e matéria orgânica na cultura do eucalipto, tem grande potencial, porém deve-se realizar a caracterização do lodo, para que se possa monitorar sua aplicação de forma a não contaminar os recursos naturais, solo e água.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A aplicação do bio sólido em plantios florestais deve ser incentivada. De maneira geral, a aplicação do lodo de esgoto garante o aumento da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes de forma prolongada, beneficiando assim as propriedades

químicas, físicas e biológicas do solo; favorecendo o aumento da produção e garantindo a sustentabilidade do ecossistema.

Deverá atentar-se à disposição de patógenos e elementos orgânicos e inorgânicos tóxicos, pois o efeito destes contaminantes no solo e nas plantas, a médio e longo prazo ainda são pouco conhecidos e poderão, se não monitorados, causar danos às culturas seguintes, bem como contaminar o solo e a água. Dessa forma se faz necessário mais trabalhos na área que quantifiquem esses valores

A existência de uma legislação federal específica que regulamente a utilização do biossólido em culturas florestais se faz necessária, pois diferentemente dos cultivos agrícolas, os produtos das culturas florestais normalmente não são fontes de alimentação, diminuindo assim o risco de contaminação do ser humano e animais por algum elemento tóxico.

O uso de biossólidos para produção de mudas é bastante promissor, sendo necessária a realização de estudos mais aprofundados quanto ao manejo da adubação das mudas produzidas nos substratos e quanto a utilização de fontes de lodo produzidas por diferentes tratamentos nas estações, garantindo maior aproveitamento deste resíduo.

Importante também verificar o custo de transporte do biossólido, pois mesmo se tratando de uma tecnologia simples e de baixo custo; o custo de transporte poderá se tornar mais dispendioso quando ocorrer a grandes distancias, inviabilizando a sua utilização.

5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ABREU JUNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. 2005. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** n 4, p 391-470.

ANDRADE, C. A. & MATTIAZZO, M. E. 2000. Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, v 58, p 59-72.

ANDRADE, C. A. **Fração orgânica de biossólidos e efeito no estoque de carbono e qualidade da matéria orgânica de um Latossolo cultivado com eucalipto**. 2004. 121p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ANDRADE, C. A. **Nitratos e metais pesados em solos e plantas de *Eucalyptus grandis* após aplicação de biossólidos da ETE Barueri**. 1999. 65p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C.; CERRI, C.C. 2005. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n 29, p 803-816.

ANDREOLI, C. V., PEGORINI, E. S., FERNANDES, F. Disposição do lodo no solo, capítulo 8. In: **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. ANDREOLI, C. V., PEGORINI, E. S., FERNANDES, F. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG: Companhia de Saneamento do Paraná, 484p, 2001.

ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERREIRA, A. C.; BONNET, B. R. P.; PEGORINI, E. S. 1998. A gestão dos biossólidos gerados em Estações de Tratamento de Esgoto doméstico. **PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico**. Curitiba, n 24, p18-22.

ANDREOLI, C. V. **Aproveitamento do lodo gerado em estações de tratamento de água e esgotos sanitários, inclusive com a utilização de técnicas consorciadas com resíduos sólidos urbanos**, Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. PROSAB, Curitiba, 1ªed. , 257p, 2001.

BARREIROS, R. M.; GONÇALVES, J. L. M.; SANSÍGOLO, C. A.; POGGIANI, F. 2007. Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira

de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. **Revista Árvore**, Viçosa, v 31, n 1, p 103-111.

BELLOTE, A. F. J., SILVA, H. D. *In: Sistemas de Produção*, 4. Embrapa Florestas. 2003. Disponível em http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivodoEucalipto/05_03_adubacao_e_calagem.htm.

BERTONCINI, E. I.; MATTIAZZO, M. E. 1999. Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 23, p 737-744.

BETTIOL W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de Esgoto, impactos ambientais na agricultura**. 1ªed. Jaguariúna SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. 346p.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. *Prefacio* In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A., eds. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p 109-141.

BROSSI, M. J. L. **Ecotoxicologia de um sistema florestal de eucalipto tratado com lodo de esgoto**. 2008. 85p. Dissertação(Mestrado em Ciência)- Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, Piracicaba.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LUBE, S. G.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O. 2011. **Uso de biossólido em substratos para produção de *Murraya paniculat***. Congresso Brasileiro de Reflorestamento Ambiental, Guarapari – ES.

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

CANZIANI, J. R. F.; OSAKI, M.; MASSARDO, M.; PEGORINI, E. S. 1999. Análise Econômica para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto da ETE-Belém. **Revista Periódicos SANARE**, Curitiba, v 11, p 51-58.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - Critérios para projeto e operação**. São Paulo: CETESB, 1999. 32p. (Manual Técnico, P 4.230)

CHAGAS, W. F. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das Estações de Tratamento de Esgotos da ilha do governador e da penha no estado do Rio de Janeiro**. 2000. 89p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução –. Resolução nº 375/2006. Ministério do Meio Ambiente Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus

produtos derivados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, n 167, p 141-146, 30 ago 2006.

CUNHA, A. M.; CUNHA, G.M.; SARMENTO, R. A.; AMARAL, J. F. T. 2006. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, v 30, n 2, p 207-214.

DAMASCENO, S. 1998. **CARACTERIZAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS PARA USO AGRÍCOLA** Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 26 (AIDIS 98), Lima.

FARIA, L. C. **Fertilização de povoamentos de eucalipto com biossólido da ETE de Barueri, SP: demanda potencial e nível mínimo de resposta**. 2000. 85p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FARIA, L. C.; RODRIGUEZ, L. C. E. 2000. Aplicabilidade de biossólido em plantações florestais: V. avaliação do potencial de uso do resíduo da ETE de Barueri, SP. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed). **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, cap. 12, p 209-213.

FARIA, L. C.; RODRIGUEZ, L. C. E. 2001. Demanda potencial por biossólido em povoamentos de Eucalipto no entorno da ETE de Barueri, SP. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Piracicaba, v 6, n 4, p 123-130.

FAUSTINO, R.; KATO, M. T.; FLORÊNCIO, L., GAVAZZA. S. 2005. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, v 9, p 278-28. Disponível em <http://www.agriambi.com.br>. Acessado em 2011.

FERNANDES, J. O. **Estudos de melhorias do processo de aproveitamento de resíduos do tratamento de esgotos sanitários para geração de biocombustíveis**. 2010. 50p. Monografia (Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

FIRME, L. P. **Produção de madeira e elementos potencialmente tóxicos no sistema solo- eucalipto tratado com lodo de esgoto**. 2009. 81p. Tese (Doutorado em Ciência). Centro de energia nuclear na agricultura da USP, Piracicaba.

FORTES NETO, P. 2000. 113p. **Degradação de biossólido incorporado ao solo avaliada através de medidas microbiológicas**. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FREIER, M.; MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. 2006. Efeitos da aplicação de biossólido no crescimento inicial de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. Lages, v 5, n 2, p 102-107.

GARCIA, G. O.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C.; NAZÁRIO, A. A.; REIS, E. F. 2009. Análise nutricional de mudas de eucalipto submetidas à aplicação de lodo de

esgoto doméstico. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v 6, n 3, p 275-290.

GOBATTO, G. **O biossólido como insumo agrícola: subsídios para formação de preço- o estudo de caso da ETE Franca**. 2003. 100p. Dissertação (Mestrado em Gestão Empresarial)- Centro Universitário de Franca- Administração, Franca, SP.

GUEDES, M. C. **Efeito do lodo de esgoto (biossólido) sobre a nutrição, ciclagem de nutrientes e crescimento de sub-bosque, em plantação de eucalipto**. 2000. 74p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A.; POGGIANI, F.; MATIAZZO, M. E. 2006. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 30, p 267-280.

GUEDES, M. C.; POGGIANI, F. 2003. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com biossólido. **Scientia Forestalis**. n 63, p 188-201.

GUEDES, M.C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus Grandis***. 2005. 154p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GUERRINI. I. A.; TRIGUEIRO, R. M. 2004. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 28, p 1069-1076.

LAPERUTA NETO, J. **Estudo do uso de lodo de estações de tratamento de água e de esgoto urbano nas propriedades químicas do solo**. 2006. 96p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu, SP.

LIRA A. C. S. de; GUEDES, M. C.; SHALCH, V. 2008. Reciclagem de lodo de esgoto em plantação de eucalipto: carbono e nitrogênio. **Engenharia Sanitária Ambiental** v 13, n 2, p 207-216.

MAAS, K. D. B., **Biossólido como substrato na produção de mudas de Timburi**. 2010. 45p. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais e Ambientais)- Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá- MT.

MARTINS, L. F. S. **Configuração do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta à aplicação de doses crescentes de biossólido**. 2002. 73p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impactos Ambientais do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000, p 109-141.

MENEZES JÚNIOR, F. O. G.; FERNANDES, H. S. 1999. Substratos comerciais e com esterco de curral na produção de mudas de couve-flor. **Revista Brasileira de AGROCIÊNCIA**, v 5, no 1,7-11.

MORAES NETO, S. P.; ABREU JUNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; **Uso de Biossólidos em Plantios Florestais**. Planaltina-DF. Embrapa Cerrados. 2007 1ª ed. 26p.

MORAIS, S. M. J.; ATAIDES, P. R. V.; GARCIA, D. C.; KURTZ, F. C.; OLIVEIRA, O. S.; WATZLAWICK, L. F. 1996. Uso do lodo de esgoto da Corsan – Santa Maria (RS), comparado com outros substratos orgânicos. **Sanare- Revista Técnica da Sanepar**. Curitiba, v 6, n 6, p 44-49.

NEVES, J. M. G.; SILVA, H. P.; DUARTE, R. F. 2010. Uso de substratos alternativos para produção de mudas de moringas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável Grupo Verde de Agricultura Alternativa - GVAA**, v 5, n 1, p 173-177. Disponível em: <http://revista.gvaa.com.br>

NOBREGA, R. S. A.; VILAS BOAS, R. C.; NÓBREGA, J. C. A; PAULA, A. M.; MOREIRA, F. M. S. 2007. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Revista Árvore**, Viçosa, v 31, n 2, p 239-246.

PÉREZ, P. V. **Efeitos da adição do biossólido no crescimento inicial de *Eucalyptus citriodora* Hook.** 2008. 62p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual do Oeste do Paraná- Campus de Marechal Cândido Rondon, PR.

POGGIANI, F. **Aplicação de biossólido em plantações florestais.** (ESALQ/USP) 1998, Projetos de Pesquisa

POGGIANI, F.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade do lodo de esgoto urbano em plantações de eucalipto. **Silvicultura**, n 80, p 48-52, 1999.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. 2000. Aplicabilidade do Biossólido em plantações florestais I. Reflexo do ciclo dos nutrientes. In: BETIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impactos Ambientais do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, cap. 8, p 162-178.

RICCI, A. B.; PADOVANI, V. C. R.; PAULA JUNIOR, D. R. 2010. Uso de lodo de esgoto estabilizado em um solo decapitado. I-Atributos físicos e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 34, p 535-542.

ROCHA, G. N. **Monitoramento da fertilidade do solo, nutrição mineral e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido.** 2002. 48p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ROCHA, G. N.; GONÇALVES, J. L. M.; MOURA, I. M. 2004. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado

com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa-MG, v 28, n 4, p 623-639.

SAITO, M. L. 2007. **O Uso do Lodo de Esgoto na Agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos**. Jaguariúna. EMBRAPA Meio Ambiente, cap 64, p 349-357 Disponível em: http://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_64.pdf

SANTOS, E. R. **Caracterização química, microbiológica e toxicidade do lodo de esgoto da estação Mangueira**. 2009. 68p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) Universidade Católica de Pernambuco, Pernambuco, Recife. Disponível em http://www.unicap.br/tede/tede_arquivos/6/TDE-2011-05-30T150823Z-385/Publico/dissertacao_ednaldo_ramos.pdf

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K. G. 2010. Substratos à base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v 38, n 88, p 637-644.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. 2002. Alternativa agrônômica para o biossólido produzido no distrito federal. II - aspectos qualitativos, econômicos e práticos de seu uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v 26, n 2, p 497-503. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

SILVA, P. H. M. **Produção de madeira, ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo em plantios de *Eucalyptus grandis*, após aplicação de lodo de esgoto**. 2006. 117p. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F. 2005. Lodo de Esgoto tratado (biossólido) em Plantações Florestais. **IPEF**- Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Disponível em: <http://www.ipef.br/silvicultura/lodo.asp>

SILVA, P. H.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. 2008. Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco. **Revista Árvore**, Viçosa, v 32, n 5, p 845-854.

STEFANI, M. C.G.; BORGHI, I. N.; MOREIRA J. S.; VERAS NETO, M. S.; GIUSTI, P. E. A.; POGGIANI, F. **Utilização de biossólidos em plantações florestais**. 1999. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

TELES, C. R.; COSTA, A. N.; GONÇALVES, R. F. 1999. Produção de lodo em lagoas de estabilização e o seu uso no cultivo de espécies florestais na região sudoeste do Brasil. **Sanare (Revista Técnica da Sanepar)**. v 12, n 12. Disponível em <http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/V12/Producao/producao.html>. Acessado em 2011.

TRABALLI, R. C. **Composição de amostra representativa de solo fertilizado com lodo de esgoto**. 2008. 57p. Tese (Doutorado em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu.

TRIGUEIRO, R. M. **Uso de biossólidos como substrato para produção de mudas de pinus e eucalipto**. 2002. 83p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu, SP.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. 2003. Uso de biossólidos como substratos para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n 64, p 150-162.

TSUTIYA, M.T. **Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos**. (1999) 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

U.S.E.P.A. **Biosolids generation, use, and disposal in the United States**. Solid Waste and Emergency Response (5306W), Office of Solid Waste, Washington. EPA 530-R-99-009, setembro de 1999. 74p.

Van Raij, Cantarela, B. H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. Boletim Técnico, 100

VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. L. M. 2002a. Crescimento inicial e fertilidade do solo em um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com biossólido. **Sitientibus**, Feira de Santana, n 26, p 151-174. Disponível em http://www2.uefs.br/sitientibus/pdf/26/crescimento_inicial_e_fertilidade_do_solo.pdf

VAZ, L. M. S; GONÇALVES, J. L. M. 2002b. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v 26, n 3, p 747-758.

VAZ, L. S. V. **Crescimento inicial, fertilidade do solo e nutrição de um povoamento de Eucalyptus grandis fertilizado com biossólido**. 2000. 41p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

VON SPERLING, M. **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol 1 3ª. Edição 452p. Editora UFMG, Belo Horizonte, 2006.

6. ANEXOS



Figura 2 - Lodo secando ao ar (LAPERUTA NETO, 2006)



Figura 3 - Detalhe do lodo de esgoto antes da aplicação, lodo utilizado foi classificado como Classe B (TRABALLI, 2008)



Figura 4 - Aplicação do lodo de esgoto na linha de plantio sobre a superfície do solo. (TRABALLI, 2008)

Tabela 8 - Caracterização química média de alguns resíduos utilizados em experimentos de fertilização de povoamentos de eucalipto. Moro (1994); Zen *et al.* (1994); Poggiani & Benedetti (2000), citado por Faria & Rodriguez (2001)

COMPONENTES	Cinza	Resíduo celulósico	Composto orgânico	Biossólido
PH	10,00	7,50	8,00	10,15
C.O. (%)	4,50	3,30	53,10	13,35
N total (%)	0,05	0,34	1,77	1,76
P total (%)	0,38	0,09	0,54	0,85
K (%)	1,59	0,07	1,07	0,08
Ca (%)	9,68	1,55	2,96	11,66
Mg total (%)	0,93	0,09	0,48	0,43