

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**USO DE COMPOSTO DE PODA DE ÁRVORE E LODO DE
ESGOTO COMO SUBSTRATOS NA FORMAÇÃO DE
MUDAS DE SANGRA D'ÁGUA (*Croton urucurana* Baill.)
IRRIGADAS COM TRÊS LÂMINAS DE ÁGUA**

Anaira Denise Caramelo

Bióloga

2014

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**USO DE COMPOSTO DE PODA DE ÁRVORE E LODO DE
ESGOTO COMO SUBSTRATOS NA FORMAÇÃO DE
MUDAS DE SANGRA D'ÁGUA (*Croton urucurana* Baill.)
IRRIGADAS COM TRÊS LÂMINAS DE ÁGUA**

Anaira Denise Caramelo

Orientador: Prof. Dr. João Antonio Galbiatti

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutora em Agronomia (Ciência do Solo).

2014

M499a Caramelo, Anaira Denise
Uso de composto de poda de árvore e lodo de esgoto como substratos na formação de mudas de sangra d'água (*Croton urucurana* Baill.) irrigadas com três lâminas de água. / Anaira Denise Caramelo. – – Jaboticabal, 2014
xix, 106 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2014
Orientador: João Antonio Galbiatti
Banca examinadora: João Antonio Galbiatti, José Eduardo Pitelli Turco, Teresa Cristina Tarlé Pissarra, Célia Correia Malvas, Emerson Fachini

Bibliografia

1. *Croton urucurana*. 2. Resíduos. 3. Compostagem. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 619:616.728.3:636.92

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ANAIRA DENISE CAMELO – Nascida em Catanduva – SP – Brasil, em 05 de dezembro de 1986. Graduiu-se em Licenciatura no curso de Ciências Biológicas e Bacharel em Meio Ambiente pela UNIESP – Câmpus de Taquaritinga – SP, em 19 de dezembro de 2007. Realizou estágio em 2008 na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal – SP, no Departamento de Engenharia Rural, onde foi orientada pelo Professor Doutor João Antonio Galbiatti, colaborando, participando e desenvolvendo projetos de pesquisa sobre o uso e manejo de resíduos na agricultura e engenharia de água e solo, além de cursar disciplinas como aluna especial do Programa de Pós-graduação em Agronomia e colaborar no planejamento de aulas da disciplina intitulada “Recuperação ambiental do solo e da água para a produção agrícola”. Em março de 2009, ingressou no Programa de Pós-graduação em Agronomia - Mestrado (Ciência do Solo) da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal – SP, onde realizou diversas publicações e atividades de pesquisa, concluindo o curso em julho de 2010. Em agosto do mesmo ano, ingressou no curso de Doutorado, também no Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), cujo projeto de pesquisa foi intitulado de “Uso de composto de poda de árvore e lodo de esgoto como substratos na formação de mudas de sangra d’água (*Croton urucurana* Baill.) irrigadas com duas lâminas de água”, sendo este concluído em junho de 2014. Atua ainda como docente no Centro Universitário de Araraquara, SP, bem como no Centro Universitário UNIFAFIBE, Bebedouro, SP, no curso de engenharia agrônômica, em disciplinas voltadas à área de botânica. Desenvolve atividades voltadas à área da pesquisa, sendo bolsista da FUNADESP (Fundação Nacional de Desenvolvimento do Ensino Superior Particular) no projeto intitulado “Resíduo orgânico urbano como fonte unificadora entre o desenvolvimento social sustentável e produção de substratos alternativos no cultivo de espécies nativas”. Além disso, exerce o cargo de diretora de agricultura, abastecimento e meio ambiente na Prefeitura Municipal de Pirangi.

EPIÍGRAFE

"Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito bons.
Porém, há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis."

Bertold Brecht

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente à minha mãe Angela Aparecida Ferracine Caramelo pelos gestos e palavras de incentivo, amor, dedicação, apoio e confiança. Ofereço também o término de mais essa etapa ao meu orientador Professor Doutor João Antonio Galbiatti pelos esforços inesgotáveis, companheirismo, paciência e conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me iluminar e dar forças para seguir meu caminho.

Aos meus pais, em especial minha mãe Angela Aparecida Ferracine Caramelo pelo grande incentivo e por acreditar em meus sonhos.

Ao meu Orientador Professor Doutor João Antonio Galbiatti, pela oportunidade de orientação, incentivo, paciência, dedicação e presença nos momentos difíceis.

Aos membros da banca, pelo apoio, orientação e oportunidade.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias do Câmpus de Jaboticabal, SP – UNESP, em especial ao Departamento de Engenharia Rural, pela colaboração e apoio nas etapas deste trabalho.

Aos colegas da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, que de alguma maneira colaboraram para a realização desse trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xvi
LISTA DE EQUAÇÕES.....	xviii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Lodo em sistemas de tratamento de esgotos sanitários.....	4
2.2. Origem do lodo.....	5
2.3. Tratamento do lodo.....	9
2.3.1. Estabilização do lodo.....	11
2.3.2. Higienização de lodos.....	13
2.3.2.1. Compostagem.....	14
2.3.2.2. Comparação entre os processos de higienização.....	17
2.3.3. Disposição final do lodo.....	19
2.4. Lodo de esgoto e metais pesados.....	24
2.5. Lodo de esgoto e atributos físicos do solo.....	28
2.6. Lodo de esgoto e microrganismos do solo.....	33
2.7. Lodo de esgoto em florestas.....	34
2.8. Substrato vegetal e o lodo de esgoto.....	36
2.9. Poda de árvores como agente estruturante.....	41
2.10. Lâmina de água.....	43
2.11. Caracterização da espécie.....	47
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	49
3.1. Delineamento experimental.....	49
3.2. Instalação e condução do experimento.....	49

3.2.1. Identificação da ETE.....	49
3.2.2. Padrões de lançamento e enquadramento do corpo receptor.....	51
3.2.3. Coleta e avaliação do lodo de esgoto.....	54
3.2.4. Coleta e avaliação da poda de árvore.....	55
3.2.5. Compostagem.....	57
3.2.6. Composição dos substratos.....	58
3.2.7. Irrigação.....	60
3.2.8. Análise das plantas.....	60
3.2.9. Teste de germinação e emergência.....	61
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4.1. Características da ETE.....	63
4.2. Diagnóstico do tratamento e remoção da carga orgânica.....	66
4.3. Diagnóstico do lodo de esgoto produzido pela ETE.....	73
4.4. Caracterização da poda de árvores.....	76
4.5. Avaliação da compostagem.....	77
4.6. Germinação e avaliação das plantas.....	81
5. CONCLUSÕES.....	91
6. REFERÊNCIAS.....	92

USO DE COMPOSTO DE PODA DE ÁRVORE E LODO DE ESGOTO COMO SUBSTRATOS NA FORMAÇÃO DE MUDAS DE SANGRA D'ÁGUA (*Croton urucurana* Baill.) IRRIGADAS COM TRÊS LÂMINAS DE ÁGUA

RESUMO – A destinação final inadequada dos resíduos orgânicos urbanos representa uma barreira frente ao desenvolvimento ambiental sustentável, sendo assim, a busca por soluções e alternativas voltadas ao reaproveitamento destacam-se quanto à gestão integrada e gerenciamento do lixo, principalmente a partir da instituição da “Política Nacional dos Resíduos Sólidos”, por intermédio da Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Sendo assim, com o presente estudo o objetivo foi coletar e caracterizar os resíduos provenientes da estação de tratamento de esgotos (ETE) do município de Pirangi, SP, bem como os originados a partir da trituração da poda de árvores, com vistas à bioestabilização por meio da compostagem e reutilização para a formulação de substratos alternativos na germinação e desenvolvimento inicial de *Croton urucurana* Baill. O experimento foi desenvolvido no Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP, bem como no viveiro municipal de mudas de Pirangi. A partir da coleta, caracterização e análises dos resíduos, estes foram submetidos ao processo de compostagem, onde inseriu-se 50% de lodo de esgoto e 50% de poda triturada (agente estruturante). Após a obtenção do composto, este foi submetido aos seguintes tratamentos: T1-100% de terra de barranco com adubação mineral (100% TBAM); T2-100% de terra de barranco sem adubação (100% TBSA); T3-25% de composto orgânico + 75% de terra de barranco (25%CO); T4-50% de composto orgânico + 50% de terra de barranco (50%CO); T5-75% de composto orgânico + 25% de terra de barranco (75%CO) e T6-100% de composto orgânico (100%CO). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial com 6 substratos, 3 lâminas de água (50, 100 e 150% da evapotranspiração) e 3 repetições. A partir da semeadura, foram realizadas as avaliações de emergência, e aos 150 dias, observou-se a altura da parte aérea, diâmetro do coleto, número de folhas, comprimento da raiz axial, massa da matéria fresca (aérea, radicular e total) e a massa da matéria seca (aérea, radicular e total). Dentre os resultados obtidos verificou-se que o lodo de esgoto coletado na ETE de Pirangi apresenta potencial agrônômico, visto que enquadra-se na Resolução CONAMA nº 357/2005. Quanto à germinação das plântulas de *Croton urucurana*, observou-se porcentagens elevadas em tratamentos cujas concentrações de matéria orgânica foram maiores, tais como em 100%CO, 75%CO e 50%CO, porém, as lâminas de água exerceram influencia significativa, sendo 100% da evapotranspiração mais adequada para a referida planta, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. No que se refere à avaliação morfológica das plântulas, a matéria orgânica também exerceu influencia significativa, pois os tratamentos 100%CO e 75%CO, quando associados a lâminas de 100 e 150% da evapotranspiração, apresentaram dados superiores aos demais quanto à altura das plantas, diâmetro dos coletos e número de folhas. Para os tratamentos 25%CO, 100%TBSA e 100%TBAM, onde os teores de matéria orgânica foram inferiores, bem como quando utilizou-se lâminas de 50% da evapotranspiração, os dados acima descritos apresentaram-se inferiores. Quanto ao comprimento da raiz

axial, observou-se que esta apresentou crescimento acentuado em função da diminuição das lâminas de água, o que induz o sistema radicular a desenvolver-se até regiões mais profundas do solo. Quanto à massa da matéria fresca e seca, estas também destacaram-se nos tratamentos 100%CO, 75%CO e 50%CO, em lâminas de 100 e 150% da evapotranspiração. Concluiu-se com o presente estudo, que o lodo de esgoto associado à poda de árvore triturada apresenta potencial significativo nos índices de emergência das plântulas, bem como o desenvolvimento inicial, proporcionando maior altura, diâmetro, número de folhas, massa da matéria fresca e seca de *Croton urucurana*, o que demonstra a eficácia da compostagem destes resíduos não só para as plantas, mas também no gerenciamento adequado do lixo.

Palavras-chave: desenvolvimento inicial, destinação final, germinação, gestão integrada, matéria orgânica, resíduos

USE OF COMPOUND TREE PRUNING AND SEWAGE SLUDGE AS SUBSTRATES IN FORMATION SEEDLINGS *SANGRA D'AGUA* (*Croton urucurana* Baill.) IRRIGATED WITH THREE BLADES OF WATER

ABSTRACT – Improper disposal of municipal organic waste represents an environmentally sustainable development front barrier, thus being the search for solutions and alternatives aimed at reusing stand out as an integrated management and waste management, mainly from the institution of the "National Policy Solid Waste", through Law Number 12.305 of August 2, 2010. Accordingly, the present study was conducted to collect and characterize the waste from the municipality of Pirangi, SP sewage treatment plant, as well as those originating from the grinding of pruning trees, with a view to biostabilization through composting and reuse for the development of alternative substrates on the germination and early development of *Croton urucurana* Baill. The experiment was conducted at the Department of Rural Engineering FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP, as well as the municipal nursery Pirangi. From the collection, characterization and analysis of waste, these were submitted to the composting process, which was inserted 50% sewage sludge and 50% crushed pruning (bulking agent). After obtaining compound, has been subjected to the following treatments: T1-100% steep bank with mineral fertilizer (100% TBAM); T2-100% steep bank without fertilization (100% TBSA); T3-25% organic compost + 75% of steep bank (25% CO); T4-50% organic compost + 50% steep bank (50% CO); T5-75% organic compost + 25% steep bank (75% CO) and T6-100% organic compound (100% CO). The experimental design was randomized blocks, factorial with 6 substrates, 3 water levels (50, 100 and 150% evapotranspiration) and 3 replications. From sowing, evaluations of emergency were held, and at 150 days, there was a shoot height, stem diameter, number of leaves, length of taproot, the fresh mass (air, root and total) and dry matter (air, root and total). Among the results it was found that the sewage sludge collected at ETE Pirangi presents agronomic potential, since it fits in CONAMA Resolution Number 357/2005. For germination of seedlings *Croton urucurana*, we found high percentages in treatments with concentrations of organic matter were higher, such as in 100% CO, 75% CO and 50% CO, however, water slides exerted significant influence, with 100% most suitable for such evaporation plant, according to Tukey's test at 5% probability. In regard to the morphological evaluation of the seedlings, organic matter also exerted a significant influence, since the treatments for 100% CO and 75% CO when coupled with blades 100 and 150% evaporation yielded superior to other data as the plant height, stem diameter and number of leaves. For treatments 25% CO, 100% and 100% TBSA TBAM, where organic matter levels were lower as well when we used blades 50% of evapotranspiration, the above data is presented below. As for the length of taproot, it was observed that this showed strong growth due to the decrease in water levels, which induces the root system to develop even deeper soil regions. As for the fresh weight and dry, they also stood out in the treatments 100% CO, 75% CO and 50% CO, in sheets of 100 and 150% of evapotranspiration. It concluded with the present study, the sewage sludge associated with pruning tree crushed presents the mean indices of potential

seedling emergence and early development, providing greater height, diameter, number of leaves, fresh weight and *Croton urucurana* drought, which demonstrates the effectiveness of composting this waste not only for plants but also in proper waste management.

Keywords: initial development, disposal, germination, integrated management, organic matter, waste

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Relação entre a umidade e as propriedades mecânicas do lodo.....	7
2. Características químicas de três lotes dos lodos de esgotos das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca (LF), de Barueri (LB) e de Jundiaí (LJ), localizadas no Estado de São Paulo, de Curitiba (LC) e de Paranavaí (LP), localizadas no Estado do Paraná.....	8
3. Comparação entre lodo bruto e lodo digerido anaeróbio.....	11
4. Tecnologias de estabilização e métodos de disposição final.....	13
5. Comparação entre os métodos de compostagem.....	16
6. Comparação entre as tecnologias de higienização (implantação).....	17
7. Comparação entre as tecnologias de higienização (operação).....	18
8. Principais alternativas de disposição final do lodo.....	19
9. Vantagens e desvantagens das alternativas de disposição de lodo comumente adotadas.....	20
10. Relações entre os vários fatores intervenientes no processamento e as principais alternativas de destino final do lodo.....	22
11. Impactos ambientais relacionados a diferentes alternativas de disposição de lodo de esgoto.....	23
12. Lodos de esgoto ou produto derivado (substâncias inorgânicas).....	25
13. Classes de lodo de esgoto ou produto derivado (agentes patogênicos)...	26
14. Freqüência de monitoramento.....	27
15. Principais vantagens e desvantagens quanto o uso de recipientes para a produção de plantas.....	37
16. Vantagens e desvantagens de tipos de substratos para produção de mudas, bem como suas características físico-químicas, origem e forma de produção.....	39

17.	Características de alguns resíduos vegetais utilizados como agentes estruturantes na composição do lodo.....	42
18.	Valores médios de ET_0 para diferentes regiões agroclimáticas, mm d ⁻¹	46
19.	Variação de coeficientes médios quanto às culturas utilizadas.....	47
20.	Distribuição dos tratamentos utilizados para a condução do experimento.....	59
21.	Dados relativos à DBO, DQO e pH dos pontos de coleta 1 e 2.....	66
22.	Concentrações e contribuições unitárias típicas de DBO _{5,20} de esgoto doméstico e efluentes industriais.....	68
23.	Características dos principais sistemas de lagoas sem aeração quanto aos índices de DBO e DQO.....	69
24.	Dados relativos ao lançamento do esgoto tratado no corpo receptor Classe II (água doce) do município de Pirangi, SP.....	70
25.	Faixas de eficiências de remoção de organismos patogênicos e indicadores em lagoas de estabilização.....	71
26.	Potencial agrônômico do lodo de esgoto da ETE de Pirangi, SP.....	74
27.	Dados relativos às substâncias orgânicas e inorgânicas potencialmente tóxicas na ETE de Pirangi, SP.....	74
28.	Avaliação de indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos da ETE do município de Pirangi, SP.....	75
29.	Análise química e granulométrica de uma amostra composta do solo utilizado.....	81
30.	Dados relativos à emergência de <i>Croton urucurana</i> , representados em número de plântulas emergidas (com hipocótipo acima da superfície do substrato) em função dos substratos e lâminas de água aos 50 dias após a semeadura.....	82

31.	Dados médios para a altura das plantas (AP), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF) e comprimento da maior raiz (CMR) aos 150 dias após a semeadura.....	84
32.	Dados referentes às avaliações da massa da matéria fresca da parte aérea (MFA), massa da matéria fresca do sistema radicular (MFR) e massa da matéria fresca total (MFT).....	87
33.	Dados referentes às avaliações da massa da matéria seca da parte aérea (MSA), massa da matéria seca do sistema radicular (MSR) e massa da matéria seca total (MST).....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Representação esquemática do metabolismo de bactérias heterotróficas.....	5
2. Composição do esgoto doméstico.....	7
3. Etapas do gerenciamento do lodo e principais processos utilizados.....	10
4. Principais processos de estabilização de lodos.....	12
5. Esquema geral aplicável à compostagem do lodo de esgoto em sistema de leiras revolvidas.....	15
6. Esquema geral aplicável à compostagem do lodo de esgoto em sistemas de leiras estáticas aeradas.....	15
7. Evolução do conceito de evapotranspiração de culturas.....	45
8. Vista do ponto de encontro entre as lagoas anaeróbia e facultativa.....	50
9. Ponto de entrada dos efluentes domésticos na lagoa anaeróbia.....	50
10. Vista geral da lagoa facultativa do município de Pirangi, SP.....	50
11. Pontos de coleta para a avaliação do efluente antes e depois do tratamento na ETE.....	52
12. Caracterização das espécies utilizadas para compor os resíduos de poda	56
13. Triturador de galhos da Prefeitura Municipal de Pirangi, SP.....	56
14. Galhos da espécie <i>Licania tomentosa</i> sendo triturados.....	57
15. Imagem aérea da área onde foi realizada a coleta dos frutos de <i>Croton urucurana</i>	60
16. Disposição das lagoas anaeróbia e facultativa da ETE de Pirangi, SP.....	63
17. Imagem aérea da identificação dos pontos de coleta (Ponto 1 e Ponto 2)..	67
18. Espécie (<i>Licania tomentosa</i>) utilizada para a compostagem.....	76

19.	Poda de árvore triturada utilizada para a compostagem.....	77
20.	Oscilação da temperatura durante o processo de estabilização do composto.....	77
21.	Compostagem do lodo de esgoto com poda de árvore triturada no início (fase mesófila inicial) do processo de bioestabilização.....	79
22.	Compostagem do lodo de esgoto com poda de árvore triturada na fase intermédia (termófila) do processo de bioestabilização.....	79
23.	Características do composto obtido ao final da bioestabilização.....	80

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação	Página
1. Equação 1.....	4
2. Equação 2.....	5
3. Equação 3.....	43
4. Equação 4.....	46
5. Equação 5.....	51
6. Equação 6.....	51
7. Equação 7.....	51
8. Equação 8.....	51

1. INTRODUÇÃO

A discussão sobre Lodo de Esgoto (LE) intensificou-se após a implantação de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), principalmente no estado de São Paulo, pois os municípios dependem do saneamento para a aprovação de novos loteamentos e captação de recursos estaduais e federais. Vários levantamentos realizados em diversos países indicam que o volume de lodo produzido na ETE representa em torno de 1 a 2% do volume de esgoto captado e tratado, porém o tratamento e disposição final podem atingir cerca de 30 a 50% do custo de operação da ETE (PROSAB, 1999).

O LE, também conhecido como biossólido, possui matéria orgânica, que por meio do tratamento biológico é absorvida e convertida, integrando a biomassa microbiana e consequentemente, o produto final (VON SPERLING, 2005).

Após a remoção do LE das estações de tratamento, o mesmo deve ser submetido a diversas operações antes do destino final, como o adensamento, condicionamento, desaguamento, estabilização, higienização e secagem (PROSAB, 1999). Quando atendidas as exigências ambientais quanto aos patógenos e metais pesados, o LE pode ser utilizado na agricultura como alternativa à destinação final, reduzindo a poluição das águas e do solo, oferecendo vantagens à qualidade de vida da sociedade, reduzindo impactos ambientais e preservando o ambiente como um todo (SILVÉRIO, 2004).

Existem várias alternativas para realizar a destinação final do LE, como o encaminhamento aos aterros sanitários, descarga oceânica, incineração, disposição superficial no solo "Landfarming", recuperação de áreas degradadas e a reciclagem agrícola (LARA; ANDREOLI; PEGORINI, 2001), porém, vale ressaltar que várias formas de destinação não exercem benefícios ao meio onde são descartados.

A reciclagem agrícola promove diversas vantagens, como efeitos positivos aos atributos físicos do solo, grande disponibilidade de áreas para aplicação, potencial como fertilizante, resposta positiva das culturas e, além disso, constitui-se em uma solução de longo prazo. Assim como todas as técnicas empregadas para a disposição

final do LE, a reciclagem agrícola possui algumas desvantagens, apresentando limitações quanto à composição, instruções normativas, taxas de aplicação, possíveis odores, atração de insetos, contaminação de alimentos, água e solo com metais, elementos tóxicos e organismos patogênicos (LARA; ANDREOLI; PEGORINI, 2001).

Devido à grande variação em função da composição do LE, o processo de estabilização deve ser realizado criteriosamente, visando atenuar os inconvenientes no processo de disposição final. Quando aliado à reciclagem agrícola, o LE apresenta custo reduzido e impacto ambiental positivo, porém, devem ser observados os padrões seguros para o lançamento, transformando-o em uma alternativa viável como insumo para a agricultura (PIANA; MILLER; KOING-JUNIOR, 2011).

O LE, rico em matéria orgânica, possui capacidade de restaurar e atuar nos atributos físicos do solo em áreas degradadas, auxiliando a produção agrícola. A degradação ocasionada pelo uso intensivo dos recursos naturais e a falta de práticas conservacionistas, têm se tornado um desafio para a promoção da sustentabilidade na agricultura (ALVES, 2001).

Devido ao fato do LE necessitar de um material estruturante para o auxílio no processo de compostagem, os resíduos verdes provenientes de podas e roçadas surgem como uma alternativa, visto que além de auxiliarem na bioestabilização do lodo, são reaproveitados de maneira correta, visto que normalmente esses resíduos são encaminhados aos aterros sanitários, queimados a céu aberto ou até mesmo depositados em locais incorretos. Portanto, a junção dos resíduos verdes ao lodo de esgoto além de apresentar-se como uma alternativa à fração líquida do lodo, recebe uma destinação ambientalmente correta e sustentável.

Assim, o reaproveitamento de resíduos surge como uma alternativa também para a produção de plantas, compondo substratos e fertilizantes eficazes para o desenvolvimento com qualidade das espécies vegetais. A *Croton urucurana* Baill., pertencente à família Euphorbiaceae, conhecida popularmente como urucurana, sangra d'água, urucuana, lucurana, sangue d'água, sangue de drago, capixingui, dentre outros, caracteriza-se por se uma espécie decídua, heliófita, seletiva higrófila, pioneira, típica

de terrenos muito úmidos e brejosos, principalmente em florestas latifoliadas semidecíduas.

Dentre as características morfológicas da planta, destacam-se a altura, já que esta pode atingir de 7 a 14 metros, tronco com cerca de 25 a 35 centímetros de diâmetro, folhas simples, pubescentes, prateadas no limbo superior, com cerca de 9 a 18 centímetros de comprimento (LORENZI, 1992). Assim, devido às características que a *Croton urucurana* apresenta, esta surge como um importante instrumento de estudo, já que atualmente grande parte das áreas de preservação permanente encontra-se degradada, próximas a córregos já assoreados. Portanto, a investigação e estudo dessa espécie subsidiam o conhecimento para sua disseminação, principalmente devido ao fato de caracterizar-se como pioneira, protegendo rapidamente a superfície do solo e auxiliando no processo de preservação dos recursos hídricos e recomposição vegetal.

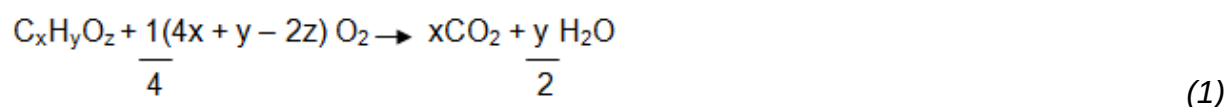
Portanto, com a finalidade de reutilizar o LE gerado nas estações de tratamento de efluentes domésticos, bem como dos resíduos verdes triturados oriundos da poda no município de Pirangi, Estado de São Paulo, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência desses resíduos bioestabilizados para a emergência e desenvolvimento de *Croton urucurana*, bem como a influência da irrigação distribuída em 3 lâminas, caracterizadas como 50, 100 e 150% da evapotranspiração.

2. REVISÃO DE LITERATURA

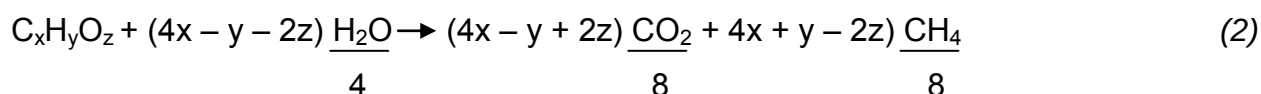
2.1. Lodo em sistemas de tratamento de esgotos sanitários

O tratamento de esgotos sanitários consiste na remoção do material orgânico, que normalmente ocorre com o auxílio de processos biológicos, que além de serem naturais e eficientes, são economicamente viáveis. Os processos naturais envolvem a ação de bactérias, que atuam na degradação e estabilização dos materiais orgânicos provenientes do esgotamento sanitário. Tais bactérias são denominadas de heterotróficas, ou seja, utiliza a matéria orgânica como fonte de alimento, sendo esta convertida em massa celular por intermédio do processo denominado assimilação, que depende da disponibilidade de energia química para a bactéria. Em função disso, o tipo de bactéria e o ambiente disponível para que ocorra o processo são informações indispensáveis para a averiguação quanto à natureza dos produtos estabilizados, sendo a transformação do material orgânico em produtos denominada desassimilação (CORDEIRO, 2001).

No que se refere à desassimilação, ou seja, catabolismo, vale ressaltar que normalmente existem dois processos distintos, sendo eles o oxidativo e o fermentativo. Quanto ao oxidativo, o material orgânico é oxidado por compostos naturalmente presentes nos sistemas biológicos, tais como o oxigênio, o sulfato e o nitrato, presentes no meio extracelular do sistema de tratamento, que resultam em compostos inorgânicos estáveis, tais como o dióxido de carbono e a água. Tal processo pode ser representado pela equação redox, onde tem-se um composto orgânico com a composição $C_xH_yO_z$, cuja reação de oxidação pelo oxigênio pode ser representada pela Equação 1 (PROSAB, 2006).



Quanto à desassimilação fermentativa, ocorre uma transferência intramolecular de elétrons, onde o material catabolizado origina duas partes pela decomposição. A digestão anaeróbia destaca-se dentre os processos fermentativos, já que representa maior interesse para os sistemas de saneamento, originando como produto final o dióxido de carbono e o metano, produtos estáveis que não são mais susceptíveis a outros processos fermentativos. A Equação 2 representa a forma como a digestão anaeróbia pode ser expressa para a fórmula geral $C_xH_yO_z$ (CORDEIRO, 2001).



O metabolismo bacteriano de utilização da matéria orgânica pode ser visualizado na Figura 1.

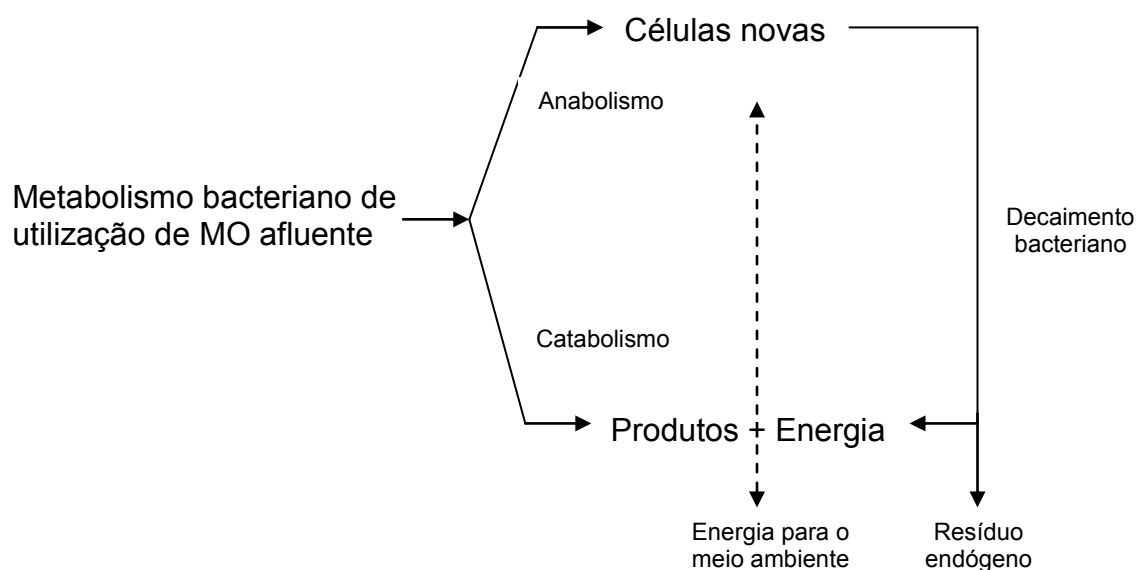


Figura 1. Representação esquemática do metabolismo de bactérias heterotróficas.

2.2. Origem do lodo

O tratamento do esgoto consiste numa série de etapas, e como subprodutos do

processo têm-se ao final o material gradeado, areia, espuma, lodo primário, lodo secundário, bem como o lodo químico em determinados processos que incluem a etapa físico-química (VON SPERLING, 2005). Sendo assim, para que o tratamento seja realmente efetivo, além do efluente que chega ao sistema de tratamento, os outros subprodutos devem ser tratados, com vistas ao gerenciamento ambiental adequado dos resíduos. A composição integral do lodo gerado é de 95% de água, portanto, o manuseio, tratamento e utilização devem ser bem planejados, onde os seguintes aspectos devem ser levados em consideração: produção do lodo na fase líquida; descarte do lodo na fase líquida; descarte do lodo na fase sólida, que se trata da remoção efetiva da estação de tratamento de efluentes (ETE) para o devido local da disposição final ou reuso.

O lodo produzido depende do tipo de tratamento utilizado para a fase líquida, sendo denominado de esgoto primário aquele proveniente dos processos que recebem o esgoto bruto em decantadores primários, composto principalmente pelos sólidos sedimentáveis. Denomina-se lodo secundário aquele originado na etapa biológica do tratamento, denominado também de lodo excedente ou lodo biológico, composto da própria biomassa em função da disponibilidade de alimento oferecido pelo esgoto (VON SPERLING, 2005). Com o passar do tempo, a biomassa se acumula gradativamente no sistema, podendo prejudicar a qualidade do produto final e ser eliminada junto com o efluente. Outra possibilidade é a de que o lodo primário seja direcionado juntamente ao tratamento secundário, originando assim o chamado lodo misto, em função da mistura que ocorre no processo. Nota-se, portanto, que existe a necessidade de que o lodo formado no sistema seja descartado, visando integralizar o funcionamento e tratamento do esgoto.

A coleta para o descarte do lodo deve ser realizada em função do tipo de tratamento utilizado no sistema. Para as lagoas facultativas, opta-se por deixar o lodo se acumular no horizonte de operação da estação, já em reatores anaeróbios, o descarte pode ser eventual, ou até mesmo o que ocorre no sistema de lodos ativados, onde a retirada do lodo é frequente. Assim, a partir disso o lodo na fase sólida sofre um tratamento e é devidamente processado, podendo ser descartado ou reutilizado. No

processo de tratamento biológico do esgotamento sanitário, uma parte da matéria orgânica é absorvida e convertida, integrando a biomassa dos microrganismos, a qual posteriormente irá compor o lodo secundário, denominado também de biossólido. As propriedades mecânicas do lodo, bem como a umidade devem ser avaliadas, visto que interferem no sistema de disposição final, conforme Tabela 1 (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

Tabela 1. Relação entre a umidade e as propriedades mecânicas do lodo.

Umidade	Teor de sólidos secos	Propriedades mecânicas do lodo
100% to 75%	0% to 25%	Lodo fluido
75% to 65%	25% to 35%	Torta semi-sólida
65% to 40%	35% to 60%	Sólido duro
40% to 15%	60% to 85%	Lodo em grânulos
15% to 0%	85% to 100%	Lodo desintegrado em pó fino

Segundo Melo e Marques (2000), a composição do lodo também é variável, principalmente em função do local de origem, visto que pode ser proveniente de residências, classificado como doméstico, ou de origem industrial (Figura 2).

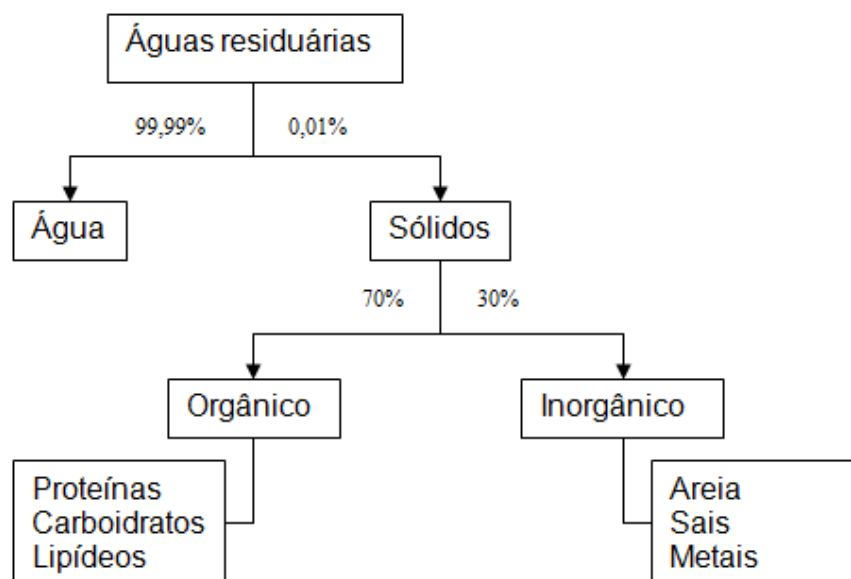


Figura 2. Composição do esgoto doméstico (MELO; MARQUES, 2000).

Além do local de origem, outros fatores podem influenciar na composição do lodo, tais como a época do ano, processo de tratamento utilizado, caráter sazonal, dentre outros. Normalmente, o lodo de esgoto apresenta cerca de 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo, além de vários macro e micronutrientes, bem como composições potencialmente tóxicas (Tabela 2).

Tabela 2. Características químicas de três lotes dos lodos de esgotos das Estações de Tratamento de Esgoto de Franca (LF), de Barueri (LB) e de Jundiaí (LJ), localizadas no Estado de São Paulo, de Curitiba (LC) e de Paranavaí (LP), localizadas no Estado do Paraná.

Atributo ⁽¹⁾	Unidade ⁽²⁾	LB*	LF*	LC**	LP**	LJ***
Umidade	%	71,2	82,7			76,2
Sólidos Voláteis	%	56,8	72,5			69,0
pH		6,4	5,4	5,9	6,1	5,5
Carbono orgânico	g kg ⁻¹	293	382	321	201	226
Nitrogênio total	g kg ⁻¹	42,1	68,2	49,1	22,2	21,2
Fósforo	g kg ⁻¹	26,9	12,9	3,7	0,95	4,5
Potássio	g kg ⁻¹	1,0	1,0	1,5	0,34	0,66
Cálcio	g kg ⁻¹	47,8	24,8	15,9	8,3	6,6
Enxofre	g kg ⁻¹	17,1	15,7			11,1
Sódio	g kg ⁻¹	0,5	0,9			2,4
Magnésio	g kg ⁻¹	4,5	2,2	6,0	3,0	1,3
Arsênio	mg kg ⁻¹	<1	<1			Nd
Alumínio	mg kg ⁻¹	23.283	23.317			11.465
Cádmio	mg kg ⁻¹	9,4	2,05	3		9,2
Chumbo	mg kg ⁻¹	348,9	140,5	123	60	136,4
Cobre	mg kg ⁻¹	953,0	240,9	325	114	547
Cromo total	mg kg ⁻¹	1297,2	1230,3	140	53	97,5
Mercúrio	mg kg ⁻¹	<0,01	<0,01	1,0	1,8	Nd
Molibdênio	mg kg ⁻¹	<0,01	<0,01			Nd

Níquel	mg kg ⁻¹	605,8	72,4	73	37	25,3
Selênio	mg kg ⁻¹	<0,01	<1			
Zinco	mg kg ⁻¹	3372	1198	728	530	839
Boro	mg kg ⁻¹	29,3	19,7			10,1
Manganês	mg kg ⁻¹	418,9	232,5			425
Ferro	mg kg ⁻¹	37.990	24.176			15.728

⁽¹⁾ Determinados de acordo EPA SW-846-3051 (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1986), no IAC (Campinas, SP)

⁽²⁾ Os valores de concentração são dados com base na matéria seca

*Betiol (2004) e Fernandes et al. (2005). ** Andreoli (1999). *** Análise realizada pelo IAC

2.3. Tratamento do lodo

Várias são as etapas que contemplam o tratamento do lodo após sua retirada dos sistemas de esgotamento sanitário, sendo elas o adensamento, conhecido também como espessamento, onde caracteriza-se a remoção dos líquidos presentes no material, reduzindo significativamente o volume; estabilização, processo voltado à remoção da matéria orgânica do lodo, o que reduz positivamente os sólidos voláteis do lodo; condicionamento, quando se faz o devido preparo para o processo de desidratação, normalmente de forma mecânica; desagramento ou desidratação, processo caracterizado pela redução da umidade, o que facilita os transportes dos materiais até o destino final; higienização, etapa indispensável para a remoção de organismos patogênicos, já que o lodo quanto utilizado para fins agrícolas precisa de um potencial agrônômico mínimo, e, finalmente, a disposição final, que pode ocorrer de várias maneiras.

Cada uma dessas etapas são influenciadas diretamente pelo tipo de tratamento e características do lodo gerado, conforme demonstra a Figura 3 (VON SPERLING, 2005).



Figura 3. Etapas do gerenciamento do lodo e principais processos utilizados.

Fonte: Von Sperling (2005)

2.3.1. Estabilização do lodo

A estabilização do lodo é imprescindível no sistema de gerenciamento, pois o lodo, em seu estado natural, apresenta grande quantidade de organismos, principalmente patogênicos, que se decompõem rapidamente, originando odores significativos. Assim, o processo tem como principal objetivo estabilizar a matéria orgânica biodegradável. Verifica-se que o processo mais utilizado é a digestão anaeróbia, sendo o lodo encaminhado a biodigestores onde bactérias estabilizam o material, produzindo gás carbônico, metano, dentre outros (ANDREOLI; SPERLING; FERNANDES, 2001).

A Tabela 3 apresenta as principais diferenças entre o lodo bruto e o lodo estabilizado anaerobicamente.

Tabela 3. Comparação entre lodo bruto e lodo digerido anaeróbio.

Lodo bruto	Lodo digerido anaeróbio
Matéria orgânica instável	Matéria orgânica estabilizada
Elevada fração biodegradável na matéria orgânica	Baixa proporção de fração biodegradável orgânica
Alto potencial para geração de odores	Baixo potencial para geração de odores
Elevada concentração de patógenos	Concentração de patógenos inferior ao do lodo bruto

Fonte: Von Sperling (2005)

A estabilização pode ainda ser classificada em biológica, quando os microrganismos realizam o processo; química, quando as atividades são realizadas mediante a oxidação química da matéria orgânica e térmica, através do calor junto à fração volátil do lodo de esgoto.

A Figura 4 apresenta os principais processos de estabilização de lodos (biológica, química e térmica).

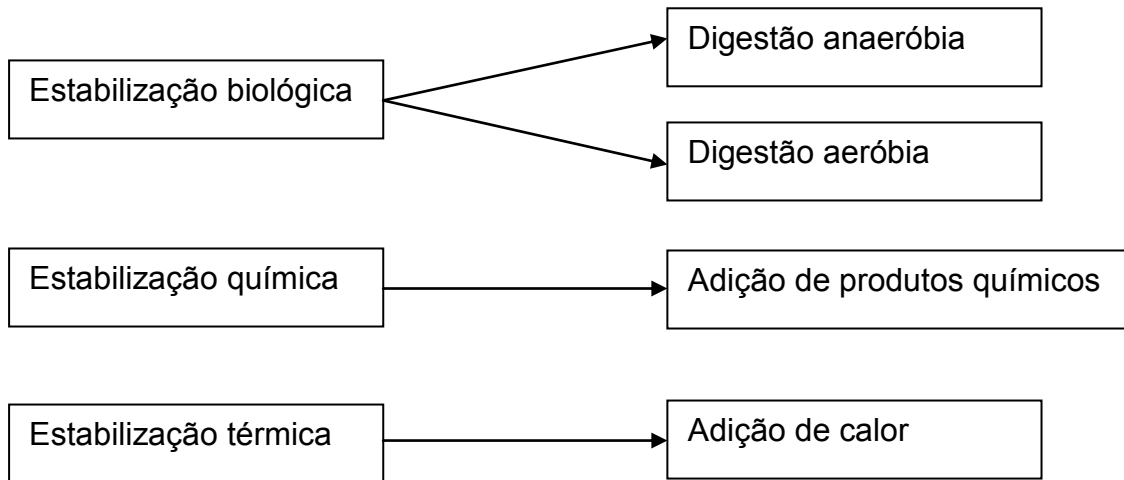


Figura 4. Principais processos de estabilização de lodos.

Quanto à estabilização biológica, o processo anaeróbio destaca-se como o principal método utilizado em lodos no território brasileiro, visto que a compostagem é direcionada normalmente em usinas de resíduos sólidos urbanos, sendo pouco difundida a utilização em sistemas de tratamento de lodo, ocorrendo basicamente em sistemas de pequeno porte (VON SPERLING, 2005). Quanto à estabilização aeróbica, esta restringe-se ao tratamento do excesso do lodo ativado proveniente de ETE com remoção biológica de nutriente. Além dos processos citados, utiliza-se também o tratamento alcalino e a chamada secagem térmica (Tabela 4).

Vale ressaltar ainda, que o processo utilizado para promover a estabilização do lodo influencia diretamente na qualidade deste, portanto torna-se imprescindível o conhecimento prévio das atividades a serem executadas com o material estabilizado. Quanto aos tipos de digestores anaeróbicos, normalmente o processo ocorre em grandes estruturas de concreto, que demandam altos investimentos iniciais. O processo anaeróbio pode ser realizado em um único estágio, ou em dois, que é mais usual, onde o processo inicia-se em um digestor referido como primário, sendo responsável pela digestão propriamente dita, bem como por um digestor secundário, onde ocorre a separação da parte líquida, operando como um adensador do lodo digerido (PROSAB, 2006).

Tabela 4. Tecnologias de estabilização e métodos de disposição final.

Processo de tratamento	Uso ou método de disposição final
Digestão anaeróbia/aeróbia	Produce biossólido apto para ser utilizado com restrições na agricultura, como condicionador de solo e fertilizante orgânico. Usualmente seguido de desaguamento. Necessita de pós-tratamento por higienização para utilização irrestrita na agricultura.
Tratamento químico (alcalinização)	Utilizado na agricultura ou na cobertura diária de aterro sanitário.
Compostagem	Produto tipo terra vegetal apropriado para utilização em viveiros, horticultura e paisagismo. Usualmente adotado após desaguamento do lodo.
Secagem térmica (peletização)	Produto com elevado teor de sólidos, significativa concentração de nitrogênio e livre de patógenos. Indicado para uso irrestrito na agricultura.

Fonte: Von Sperling (2005)

2.3.2. Higienização de lodos

Devido aos índices de patogenicidades encontrados no lodo de esgoto, as técnicas de higienização tornam-se fundamentais ao processo de gerenciamento e destinação final, assim, garante-se índices que não venham a ocasionar prejuízos à qualidade ambiental e riscos à saúde da população. Portanto, a técnica de higienização utilizada, dependerá, consequentemente, da disposição final que o lodo irá receber, visto que parques, jardins e a utilização na agricultura exigem maior monitoramento quanto aos componentes do lodo após a higienização, assim, a técnica utilizada deve ser de acordo com a destinação final (PROSAB, 2006).

Os próprios processos de estabilização do lodo já são capazes de reduzir consideravelmente os microrganismos patogênicos, porém, vários outros

procedimentos surgem como alternativas, tais como a digestão aeróbia autotérmica, caleação ou estabilização alcalina, pasteurização, secagem térmica e compostagem (VON SPERLING, 2005).

2.3.2.1. Compostagem

A compostagem é um processo de decomposição que ocorre sob condições aeróbicas, onde a matéria orgânica é degradada com o auxílio de fatores controlados, tais como a umidade, a temperatura, os nutrientes e oxigênio. A partir da instalação desse processo, tem-se, ao final, um produto denominado de composto, que apresenta considerável valor agrônomo devido às suas potencialidades, atuando como excelente condicionador do solo. Além disso, a compostagem auxilia significativamente na inativação dos microrganismos patogênicos, visto que durante o processo a temperatura eleva-se pelas reações bioquímicas, atingindo valores entre 55 e 65°C (PROSAB, 2006). Devido às características do lodo, existe a necessidade de inserir agentes estruturantes, tais como resíduos verdes, folhas, serragem, palha de arroz, dentre outros. A Compostagem basicamente ocorre em três etapas (VON SPERLING, 2005):

Etapa 1: Fase mesófila (inicial), caracterizada por uma intensa atividade e crescimento dos microrganismos mesófilos, com um aumento gradativo na temperatura.

Etapa 2: Fase termófila, onde a temperatura segue em aumento contínuo, fazendo com que os microrganismos mesófilos diminuam e as bactérias e fungos termófilos apareçam. Tais organismos possuem alto potencial de reprodução e atividade, aumentando a temperatura e inativando microrganismos patogênicos.

Etapa 3: Fase mesófila (final), caracterizada por uma intensa atividade microbiana, que diminui em função da redução da disponibilidade da matéria orgânica, assim, a temperatura tende a cair gradativamente, levando a população de bactérias termófilas à redução e conseqüente aparecimento das mesófilas.

A compostagem pode ocorrer de várias maneiras, tais como o sistema de leiras

revolvidas “windrow”, onde a disposição dos resíduos é feita em leiras, sendo a areação realizada pelo revolvimento dos resíduos e pela convecção e difusão do ar no composto (Figura 5). Os sistema de leiras estáticas aeradas “static pile”, caracteriza-se devido ao não revolvimento das leiras, sendo o ar ejetado ou aspirado da mistura do composto com o auxílio de uma tubulação perfurada abaixo do lodo (Figura 6). Os sistemas fechados ou reatores biológicos “In-vessel”, caracteriza-se pela possibilidade de realizar o controle de todos os parâmetros do processo de compostagem, sendo os resíduos colocados em sistemas fechados (FERNANDES, 1996).

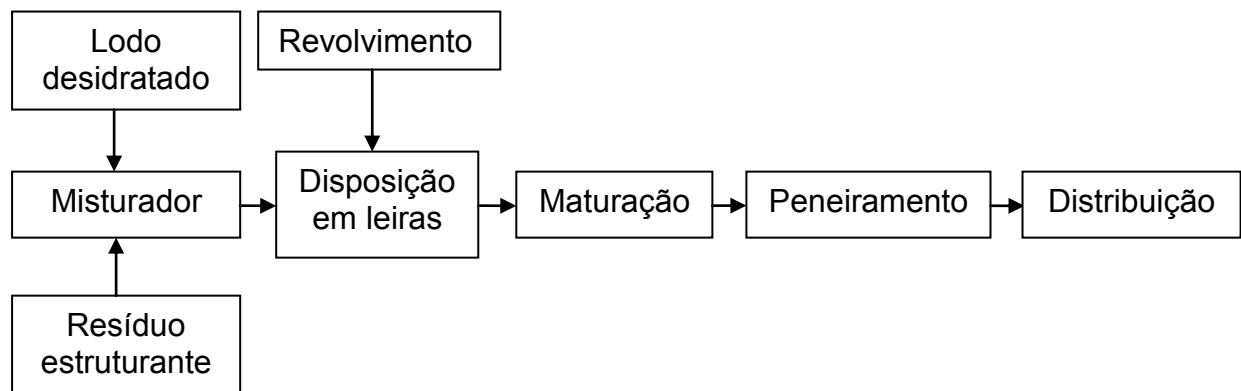


Figura 5. Esquema geral aplicável à compostagem do lodo de esgoto em sistema de leiras revolvidas.

Fonte: PROSAB, 1999

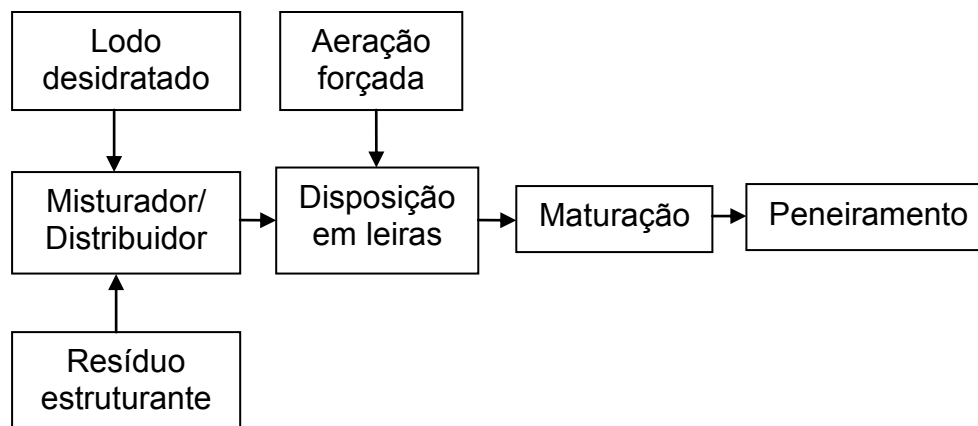


Figura 6. Esquema geral aplicável à compostagem do lodo de esgoto em sistemas de leiras estáticas aeradas.

Fonte: PROSAB, 1999

A Tabela 5 apresenta as vantagens e desvantagens dos métodos de compostagem.

Tabela 5. Comparação entre os métodos de compostagem.

Método de compostagem	Vantagens	Desvantagens
Leiras revolvidas	Baixo custo de investimento Baixo custo de operação e manutenção	Requer grandes áreas Possível problema de odor Dificuldade em atingir a temperatura necessária Potencial problema de mistura Grande período de compostagem
Leiras estáticas	Melhor controle de odores Condições melhores para manter a temperatura Menor tempo de reação	Investimentos para o sistema de aeração Custos moderados de operação e manutenção
Reatores biológicos	Requer área de instalação pequena Alto grau de controle de processo Facilidade em controlar temperatura e odores	Maior custo de implantação e de operação e manutenção Economicamente aplicável apenas para grande escala

Fonte: Teixeira Pinto (2001)

2.3.2.2. Comparação entre os processos de higienização

Os processos de higienização dos lodos, dos quais destacam-se a compostagem, digestão aeróbia autotérmica, caleação ou estabilização alcalina, pasteurização e secagem térmica, apresentam como objetivo garantir baixos índices de patogenicidades nos bio sólidos, diminuindo ao máximo os possíveis impactos no solo, à população, e aos trabalhadores que irão manusear diretamente o lodo. A reutilização agrícola exige valores mínimos de agentes, portanto, a higienização deve ser criteriosa (VON SPERLING, 2005).

No que se refere aos processos de higienização de lodos, as Tabelas 6 e 7 apresentam os métodos comparativos entre as metodologias.

Tabela 6. Comparação entre as tecnologias de higienização (implantação).

Processo	Área	Pessoal especializado	Energia externa	Produtos químicos	Biomassa externa	Custo de const	Custo de O&M
Compostagem (leiras)	+++	+	+ / +++	+	+++	+	+
Compostagem (reator)	++	++	++	+	+++	++	++
Digestão aeróbia autotérmica	++	++	++	+	+	++	++
Pasteurização	++	++	+++	+	+	++	++
Caleação	++	+ / +++	+	+++	+	+	++
Secagem térmica	+	+++	+++	+	+	+++	+++

+++ : Significativa importância ++ : Moderada importância + : Pouca importância ou inexistente

Fonte: Teixeira Pinto (2001)

Tabela 7. Comparação entre as tecnologias de higienização (operação).

Processo	Efeito contra os patógenos			Estabil. do produto	Red. volume	Potencial de odor	Obs.
	Bactéria	Vírus	Ovos				
Compostagem (leiras)	+++/**	++/+	+++/**	+++	↑	+++	Efeito depende da mistura
Compostagem (reator)	+++	+++/**	+++	+++	↑	++	Efeito depende da mistura
Digestão aeróbia autotérmica	+++/**	+++/** +	+++	++	++	++	Efeito depende da operação
Pasteurização	+++	+++	+++	++	+	++	Deve ser previamente estabilizado
Caleação	+++/**	+++	+++/** +	++/**	↑	+++/**	Efeito depende da manutenção do pH
Secagem térmica	+++	+++	+++	+++	+++	+	Estabilização e inativação total
Incineração	+++	+++	+++	+++	+++	+	Estabilização e inativação total

+++ : Significativa importância ++ : Moderada importância + : Pouca importância ou inexistente ↑ : Aumento de volume
 Fonte: Teixeira Pinto (2001)

2.3.3. Disposição final do lodo

As metodologias utilizadas para a destinação final do lodo de esgoto normalmente são influenciadas pelo gerenciamento do material nas etapas anteriores à disposição (Tabelas 8 e 9).

Tabela 8. Principais alternativas de disposição final do lodo.

Alternativa	Comentário
Descarga oceânica	Destinação de esgotos no mar, após pré-condicionamento, através de emissários oceânicos ou de navios lameiros. Disposição sem fins benéficos.
Incineração	Processo de decomposição térmica via oxidação, onde os sólidos voláteis do lodo são queimados na presença de oxigênio, convertendo-os em dióxido de carbono e água, sendo que uma parcela dos sólidos fixos é transformada em cinzas. Disposição sem fins benéficos.
Aterro sanitário	Disposição de resíduos em valas ou trincheiras, compactadas e recobertas com solo até seu total preenchimento, quando então são seladas. O lodo de esgoto pode ser disposto em aterro sanitário exclusivo ou co-disposto com resíduos sólidos urbanos. Disposição sem fins benéficos.
“Landfarming” no solo	– Áreas de disposição de resíduos onde o substrato orgânico do resíduo é degradado biologicamente na camada superior do solo e a parte inorgânica é transformada ou fixada nesta mesma camada de solo. Disposição sem fins benéficos.

Recuperação de área degradada Disposição de altas doses de lodo em locais drasticamente alterados, como áreas de mineração, onde o solo não oferece condições ao desenvolvimento e fixação da vegetação, em função da falta de matéria orgânica e de nutrientes no solo.

Reciclagem agrícola Disposição do lodo em solos agrícolas em associação ao plantio de culturas. Destinação benéfica para o lodo, neste caso, considerado biossólido.

Fonte: adaptado de Lara et al. (2001)

Tabela 9. Vantagens e desvantagens das alternativas de disposição de lodo comumente adotadas.

Alternativa de disposição	Vantagens	Desvantagens
Descarga oceânica	• Baixo custo	• Poluição das águas, flora e fauna oceânica
Incineração	• Redução drástica de volume • Esterilização	• Custos elevados • Disposição das cinzas • Poluição atmosférica
Aterro sanitário	• Baixo custo	• Necessidade de grandes áreas • Localização próxima a centros urbanos • Características especiais de solo • Isolamento ambiental • Produção de gases e percolato • Dificuldade de reintegração da área após desativação

“Landfarming” – disposição superficial no solo	• Degradação microbiana de baixo custo • Disposição de grandes volumes por unidade de área	• Acúmulo de metais pesados e elementos de difícil decomposição no solo • Possibilidade de contaminação do lençol freático • Liberação de odores e atração de vetores • Dificuldade de reintegração da área após desativação
Recuperação de áreas degradadas	• Taxas elevadas de aplicação • Resultados positivos sobre a reconstituição do solo e da flora	• Odores • Limitações de composição e uso • Contaminação do lençol freático, fauna e flora
Reciclagem agrícola	• Grande disponibilidade de áreas • Efeitos positivos sobre o solo • Solução a longo prazo • Potencial como fertilizante • Resposta positiva das culturas ao uso	• Limitações referentes à composição e a taxas de aplicação • Contaminação do solo com metais • Contaminação de alimentos com elementos tóxicos e organismos patogênicos • Odores

Fonte: Lara et al. (2001)

No que se refere à disposição final do lodo, vários são os fatores intervenientes no processamento, assim, observa-se na Tabela 10, as relações quanto à destinação

(VON SPERLING, 2005).

Tabela 10. Relações entre os vários fatores intervenientes no processamento e as principais alternativas de destino final do lodo.

Parâmetro	Aplicações no solo	Disposição em aterro sanitário	Incineração	Disposição oceânica
<i>Tratamento do lodo</i>				
-Desidratação	+/-	+	+	-
-Estabilização	+	+/-	-	-
<i>Escala de produção do lodo</i>				
-Desidratação	-	-	+	+
<i>Requisitos de solo</i>				
-Disponibilidade de área	+	+	-	-
-Hidrogeologia	+	+	-	-
<i>Estocagem</i>				
-Estocagem	+	+/-	+/-	+
<i>Boas práticas</i>				
-Boas práticas	+	+	+	+
<i>Qualidade do lodo</i>				
-Patógenos	+	-	-	-
-Poluente orgânico	+	+/-	+/-	+/-
-Metais	+	+/-	+/-	+/-
-Nutrientes	+	-	-	-
<i>Aceitação pública</i>				
-Odor, estética	+	+	+	+/-
-Tráfego	+	+	+	-
<i>Transporte</i>				
-Transporte	+	+	-	+/-
<i>Demanda de energia</i>				
-Demanda de energia	-	-	+	-

Fonte: adaptado da EPA, citado por Malina (1993)

Na Tabela 11 estão relacionados os riscos ambientais da disposição do lodo.

Tabela 11. Impactos ambientais relacionados a diferentes alternativas de disposição de lodo de esgoto.

Alternativa de disposição de lodo de esgoto	Potenciais impactos ambientais negativos
Descarga oceânica	Poluição da água e do sedimento Alteração de comunidades da fauna marinha Transmissão de doenças Contaminação de elementos da cadeia alimentar
Incineração	Poluição do ar Impactos associados com o local de disposição das cinzas
Aterro sanitário	Poluição das águas superficial e subterrânea
• Exclusivo • Co-disposição com lixo urbano	Poluição do ar Poluição do solo Transmissão de doenças Impactos estéticos e sociais
“Landfarming” disposição superficial no solo	– Poluição das águas superficial e subterrânea Poluição do solo Poluição do ar Transmissão de doenças
Recuperação de área degradada	Poluição das águas superficial e subterrânea Poluição do solo Odor Contaminação de elementos da cadeia alimentar Transmissão de doenças
Reciclagem agrícola	Poluição das águas superficial e subterrânea Poluição do solo Contaminação de elementos da cadeia alimentar Impactos estéticos e sociais

Fonte: Lara et al. (2001)

Em função disso, os impactos podem ser mais ou menos complexos, em função principalmente, da quantidade de lodo disposto num determinado local, bem como suas características físicas, químicas e biológicas (VON SPERLING, 2005).

2.4. Lodo de esgoto e metais pesados

Apesar das vantagens apresentadas pela introdução do lodo de esgoto no solo, os metais pesados ainda apresentam-se como fatores limitantes à reciclagem agrícola, pois exercem alto poder de toxicidade. Existe uma variação muito grande de lodo de esgoto em função das diferentes formas de tratamento nas ETEs, portanto, os teores de metais pesados variam constantemente, mesmo dentro de uma mesma estação de tratamento. Devido a essa instabilidade de compostos, o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), em sua Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006, definiu critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodo de esgoto gerado em estações de tratamento de esgotos sanitários e seus produtos derivados.

Os metais pesados podem ser tóxicos às plantas, ao solo, entrar na cadeia alimentar, contaminar as diversas fontes de recursos hídricos, enfim, afetar diretamente a saúde humana. Um fator importante e que permite verificar e controlar os metais pesados é sua reação no solo. Geralmente, os metais pesados apresentam maior solubilidade em condições de acidez e reduzem sua disponibilidade para as plantas com aumento do pH do solo, proporcionado pela calagem. Em trabalho realizado por Borges e Coutinho (2004), ao elevar o pH do solo, verificou-se uma redistribuição dos metais da fração trocável para formas com menor fitodisponibilidade (orgânica e, ou, de óxidos), sendo que a aplicação de biossólido promoveu maiores acréscimos nos teores dos metais das frações mais fitodisponíveis.

A partir do estabelecimento das normas ambientais, os índices de aplicação de lodo de esgoto em áreas agricultáveis devem ser monitorados e acompanhados frequentemente, com a finalidade de preservar a qualidade ambiental. Foi estabelecido ainda pelo CONAMA nº 375/2006, os requisitos mínimos de qualidade do lodo de

esgoto quanto às substâncias inorgânicas, tais como arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco (Tabela 12), determinando as concentrações máximas permitidas.

Tabela 12. Lodos de esgoto ou produto derivado (substâncias inorgânicas).

Substâncias Inorgânicas	Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg kg ⁻¹ , base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromo	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

Fonte: CONAMA nº 375/2006

Apesar dos benefícios em relação à higienização do lodo, por apresentar eliminação de patógenos, baixo custo de operacionalização e simplicidade de instalação, várias características físicas, químicas e biológicas são alteradas pela adição de cal. Fatores observados pela adição de cal promovem a fixação dos metais pesados, podendo haver insolubilização do fósforo e perdas de nitrogênio por volatilização da amônia (CEOLATO, 2007).

Quanto à concentração de patógenos, tais como os coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, *Salmonella* e vírus entéricos, também são determinados os valores mínimos de referência para a reciclagem agrícola (Tabela 13).

Tabela 13. Classes de lodo de esgoto ou produto derivado (agentes patogênicos).

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes $<10^3 \text{NMP g}^{-1}$ de ST Ovos viáveis de helmintos $< 0,25 \text{ ovo g}^{-1}$ de ST Salmonella ausência em 10 g de ST Vírus $< 0,25 \text{ UFP ou UFF g}^{-1}$ de ST
B	Coliformes Termotolerantes $<10^6 \text{NMP g}^{-1}$ de ST Ovos viáveis de helmintos $< 10 \text{ ovos g}^{-1}$ de ST

ST: Sólidos Totais; NMP: Número Mais Provável; UFF: Unidade Formadora de Foco; UFP: Unidade Formadora de Placa

Fonte: CONAMA nº 375/2006

Outro fator a ser considerado é a utilização contínua do lodo de esgoto em solos, despertando uma preocupação nos sistemas de gerenciamento e uso do lodo, porém, em estudos de campo realizados por Corey et al. (1987), foram verificados dados em que a absorção de metais pesados não aumentaram linearmente com as taxas de aplicação de lodo de esgoto, e sim, a partir de determinadas doses do resíduo, atingindo e estabelecendo um valor máximo, comportamento este denominado de “resposta platô”, ou “plateau theory”.

Segundo essa teoria, a capacidade de adsorção específica dos metais pesados adicionados ao solo, por meio do lodo de esgoto, persistirá enquanto esses elementos estiverem no solo, sugerindo, portanto, que os metais não permaneceriam em formas prontamente disponíveis às plantas e que o resíduo, fonte de contaminação, tem em sua carga orgânica uma forma de aumentar a capacidade dos solos para retê-los. Assim, após as concentrações de metais no tecido vegetal terem alcançado o chamado platô, em decorrência de sucessivas aplicações de lodo de esgoto, estas permanecerão nestes níveis até mesmo depois da interrupção das aplicações do resíduo (CHANG et al., 1987; LOGAN et al., 1997).

Entretanto, de acordo com Mc Bride (1995), após serem encerradas as aplicações de lodo de esgoto, com os processos de degradação do carbono orgânico e a acidificação natural do solo, os metais pesados até então em formas indisponíveis para as plantas, passariam a formas solúveis e disponíveis. Melo (2006) avalia que os processos bioquímicos que ocorrem no solo com a introdução do lodo de esgoto, desempenham fundamental importância no comportamento das plantas, podendo tanto estimular a atividade biológica, devido ao aumento de carbono e de nutrientes disponíveis, como inibir, devido à presença de metais pesados e outros poluentes.

Os metais pesados podem exercer vários fatores negativos ao solo, e atualmente, apresentam-se como um grave problema ambiental, portanto, a fiscalização e o monitoramento da aplicação do lodo de esgoto devem realmente ser assíduos e intensos, para que sua utilização traga muito mais benefícios que malefícios (Tabela 14).

Tabela 14. Frequência de monitoramento.

Quantidade de lodo de esgoto ou produto derivado destinado para aplicação na agricultura em toneladas ano ⁻¹ (base seca)	Frequência de monitoramento
até 60	Anual, preferencialmente anterior ao período de maior demanda pelo lodo de esgoto ou produto derivado
de 60 a 240	Semestral, preferencialmente anterior aos períodos de maior demanda pelo lodo de esgoto ou produto derivado
de 240 a 1.500	Trimestral
de 1.500 a 15.000	Bimestral
acima de 15.000	Mensal

Fonte: CONAMA nº 375/2006

A utilização do lodo de esgoto na reciclagem agrícola promove além de

alterações nos atributos químicos e físicos do solo, influência direta na atividade biológica, dependendo diretamente da qualidade, quantidade e composição do lodo de esgoto utilizado, ressaltando a importância da caracterização da matéria orgânica utilizada e sua ação para a composição física do solo.

2.5. Lodo de esgoto e atributos físicos do solo

Diversas práticas de manejo e de culturas podem afetar diretamente a qualidade do solo, e consequentemente a produtividade agrícola, econômica e sustentabilidade ambiental. A quantificação e compreensão do impacto causado pelo uso e manejo do solo são muito importantes para o desenvolvimento de novos sistemas agrícolas que visem o uso sustentável dos recursos naturais (DEXTER; YOUNGS, 1992).

A qualidade do solo consiste em sua avaliação sistêmica, e deve ser considerada como um sistema aberto, com enfoque na sustentabilidade do sistema solo-planta-organismos (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009), exercendo suas funções na natureza, funcionando como um ambiente para o desenvolvimento das plantas, ciclagem de nutrientes, fluxo de água, energia, e demais fatores que propiciam o solo a exercer suas funções em plenitude (LARSON; PIERCE, 1994; KARLEN et al., 1997; CARTER, 2001; VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Os atributos físicos do solo são afetados diretamente pela introdução do lodo de esgoto, alterando sua composição quanto à porosidade (macroporos e microporos), resistência mecânica, densidade, condutividade hidráulica, profundidade que as raízes podem alcançar, distribuição de partículas, capacidade de armazenamento de água, infiltração, nutrientes e energia (INGARAMO, 2003).

Em estudo realizado por Alves et al. (2007), foram realizadas técnicas de recuperação de uma área utilizando-se adubação verde, aplicação de lodo de esgoto e introdução de planta nativa com a finalidade de recuperar os atributos físicos de um Latossolo Vermelho remanescente de uma área onde foi retirado solo para terraplanagem, sendo que como indicadores de qualidade foram utilizados a densidade

do solo e infiltração de água. A partir dos resultados obtidos, os autores verificaram que a adição de lodo de esgoto e adubação verde proporcionaram melhorias na qualidade do solo, diminuindo a densidade e aumentando as taxas de infiltração de água no solo.

O solo é formado por diferentes estruturas físicas, químicas e biológicas, atuando como um habitat de organismos vivos, portanto, qualquer alteração, induzida ou não, possui a capacidade de alterar todos os outros fatores do solo, pois suas características são interdependentes. Assim, a partir dessa interação entre os fatores do solo, um conjunto mínimo de atributos deve ser utilizado para avaliar a sua qualidade e identificar suas alterações (MELLONI, 2007).

A matéria orgânica, quando presente no solo, melhora seus atributos biológicos, a capacidade de agregação das partículas do solo, diminuindo a densidade, aumentando a aeração, capacidade de retenção de água, capacidade de troca de cátions, alteração na dinâmica de mineralização e liberação de nutrientes, evitando principalmente a imobilização de N, além de aumentar os estoques e o retorno de nutrientes ao solo (GUEDES, 2005). Assim, a aplicação do lodo de esgoto no solo, exerce influência em seus atributos físicos e conseqüentemente no desenvolvimento da planta.

A qualidade do solo depende da matéria orgânica, pois esta se caracteriza pela liberação gradativa de nutrientes, reduzindo conseqüentemente os processos de lixiviação, volatilização e fixação, estando extremamente relacionada com o tipo de material orgânico adicionado, taxas de decomposição, microorganismos, temperatura, umidade, mineralogia, textura e demais fatores, como a composição química do material, metais pesados e patógenos (ZECH et al., 1997).

Em experimento realizado por Leite et al. (2003), foram avaliados os efeitos do sistema de produção de milho com adubação orgânica e mineral nos estoques totais de carbono orgânico (COT), nitrogênio (NT) e também de compartimentos de carbono orgânico, em um Argissolo Vermelho-Amarelo. Os autores verificaram que a presença de adubação orgânica aumentou os estoques de COT e NT, em relação aos sistemas de produção com adubação mineral ou mesmo, sem adubação, o que reflete a uma estratégia importante de manejo e conservação da qualidade do solo.

A aplicação do lodo de esgoto em solos tropicais resulta em aumento na macroporosidade e diminuição da resistência do solo à penetração (BARBOSA; TAVARES FILHO; FONSECA, 2002). Portanto, a adição do lodo de esgoto no solo propicia como já citada, a agregação do solo, e como consequência, seus atributos físicos podem ser alterados (BAYER; MIELNICZUK, 1999). A capacidade do fluxo de água relaciona-se diretamente com os atributos físicos do solo, sendo influenciada pelas características específicas resultadas da ação conjunta de vários fatores, como o teor e mineralogia da fração argila, teor de matéria orgânica, densidade e estrutura do solo (REICHARDT, 1988; FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999; BEUTLER et al., 2002).

O solo pode apresentar originalmente boa estrutura, assim, mesmo com a aplicação de grandes quantidades de lodo de esgoto, podem não ocorrer melhorias em seus atributos físicos, principalmente em atributos com grande variabilidade espacial, como as de transmissão de água no solo (MARCIANO et al., 2001). Melo et al. (2004), avaliando o efeito da aplicação de biossólido em atributos físicos de dois Latossolos, verificaram que os efeitos do lodo de esgoto dependem do tipo de solo e quantidade aplicada, que a macroporosidade é superior na camada de 0,0 – 0,1 m, a partir de doses de 47,5 Mg ha⁻¹ e 50,0 Mg ha⁻¹ de biossólido, no Latossolo Vermelho distrófico, textura média (LVd) e Latossolo Vermelho eutroférico argiloso (LVef), respectivamente; constataram também que a densidade do solo é inferior na dosagem de 50,0 Mg ha⁻¹ no LVd de textura média apenas na camada de 0,0 – 0,1 m e que os solos avaliados apresentaram menor densidade em relação à testemunha e à dose de 25 Mg ha⁻¹.

Souza et al. (2005), avaliaram o efeito da aplicação de biossólidos durante cinco anos na estabilidade de agregados e na resistência à penetração de dois Latossolos, concluindo que a aplicação de 50 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto aumentou a agregação do solo na camada de 0,0-0,1 m, onde foi incorporado, e que não influenciou sobre a resistência do solo à penetração.

Verificando os atributos físicos e químicos do solo, Trannin, Siqueira e Moreira (2008) avaliaram os efeitos da aplicação durante dois anos consecutivos de doses crescentes de biossólidos e adubação mineral no cultivo do milho em um Cambissolo

distrófico mantido sob vegetação de *Brachiaria* sp, onde foi possível constatar que a aplicação do biofóssido melhorou a fertilidade do solo e, em doses superiores a 12 Mg ha⁻¹, apresentou maiores teores de C orgânico, nutrientes, Na, CTC, soma de bases, porcentagem de saturação por bases e menor pH em relação à testemunha até a profundidade de 0,4-0,6 m; também verificou-se que a estabilidade de agregados, a porosidade total e a microporosidade do solo aumentaram e a densidade diminuiu com o aumento das doses de biofóssido, melhorando assim, a fertilidade e estrutura do solo para o cultivo do milho.

Estudos realizados em Londrina, Paraná, em Latossolo Vermelho eutroférico, verificou-se que após dois anos de aplicação de lodo de esgoto, houve tendência na formação de agregados maiores (BARBOSA; TAVARES FILHO; FONSECA, 2002). De Maria, Kocsis e Dechen (2007), verificaram também, em solos tratados com lodo de esgoto, um aumento gradativo no diâmetro dos agregados, de acordo com a dose aplicada.

Campos e Alves (2008) avaliaram a influência do lodo de esgoto na recuperação dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho degradado, cultivado há 2,5 anos com eucalipto (*Eucalyptus citrodora* Hook) e braquiária (*Brachiaria decumbens*), no município de Selvíria, MS. Como conclusão, os autores verificaram que a densidade, porosidade total e a macroporosidade foram os melhores indicadores de recuperação do solo, influenciando diretamente em seus atributos físicos, quando comparados ao solo exposto. O uso agrícola do lodo de esgoto como adubo orgânico apresenta vários resultados positivos, apresentando-se como uma alternativa viável e promissora como destinação final, principalmente na recuperação de áreas degradadas.

A aplicação da matéria orgânica no solo relaciona-se intimamente com a resistência à penetração, sendo este, um dos atributos físicos mais adotados como indicador da compactação do solo, relacionando-se diretamente com o desenvolvimento da parte aérea e raízes das plantas (FREDDI et al., 2006). A resistência à penetração, estabelecida fisicamente pela pressão, se dá pela força necessária para a introdução do penetrômetro, provido de um cone em sua extremidade, cuja área basal é conhecida como constante.

Alterações causadas por diversos fatores na agricultura, tais como as concentrações e tipos de íons na solução do solo, variações do pH e a concentração crítica de floculação das partículas, podem causar alterações na fração argila do solo, degradando sua estrutura e ocasionando o adensamento do solo promovido pelo bloqueio dos poros pelas argilas dispersas na solução do solo (FRENKEL; GOERTZEN; GOERTZEN, 1978; RENGASAMY, 1983). A aplicação do lodo de esgoto no solo pode alterar seus atributos químicos, assim como a estabilidade de agregados e a dispersão de argila no solo, proporcionados pela maior atividade microbiana.

O estágio de humificação também influi nos atributos físicos do solo, favorecendo os diversos fatores proporcionados pela adição de matéria orgânica, porém, deve ser observado o estágio de decomposição das substâncias presentes no material adicionado, pois são esses fatores que interferem na disponibilidade de nutrientes e a capacidade de atuar como condicionador do solo (HSU; LO, 1999). Em experimento realizado por Melo, Silva e Dias (2008), foram caracterizadas a matriz orgânica de vários resíduos, indicando que quanto maior o teor de C-fração ácido húmico, mais elevada é a capacidade de absorver cátions dos resíduos orgânicos.

O grau de maturação dos resíduos orgânicos é, contudo, muito importante para a determinação da qualidade do resíduo, e em razão à grande variação de valores, Moral et al. (2005) verificaram que não é possível fazer generalizações quanto as frações orgânicas e a velocidade de liberação de nutrientes no solo, pois os resíduos possuem diferentes composições, podendo variar até mesmo dentro de uma mesma fonte geradora.

Assim, várias são as características do lodo de esgoto que influenciam nos atributos físicos do solo, porém, devem ser avaliadas as diferenças estruturais originadas da pedogênese, aspectos granulométricos e conteúdo de matéria orgânica já existente, somente assim, será possível verificar os benefícios quanto a porosidade, infiltração, fluxo de água, energia, nutrientes, CTC, pH, temperatura, C orgânico, macro e microporos, resistência mecânica, estado de agregação, condutividade hidráulica, e demais fatores que são influenciados diretamente pela qualidade física do solo.

2.6. Lodo de esgoto e microrganismos do solo

Devido às características apresentadas pelo lodo de esgoto (elevada taxa de organismos patogênicos, componentes putrescíveis e odores característicos), a estabilização torna-se um processo indispensável para otimizar a matéria orgânica disponibilizada pelo resíduo. A estabilização do lodo de esgoto pode ser realizada de diversas maneiras, variando em função da temperatura (estabilização térmica), com adição de produtos químicos (estabilização química) ou com a atividade de microrganismos (estabilização biológica). Os microrganismos atuam como agentes estabilizadores da fração biodegradável da matéria orgânica, sendo assim, os processos de digestão anaeróbia e aeróbia, são os mais utilizados no Brasil (VON SPERLING, 2005).

Quando adicionado ao solo, o lodo de esgoto, como já discutido causa inúmeras alterações, porém, tais características são influenciadas diretamente pela quantidade e qualidade da matéria orgânica, assim, o lodo de esgoto pode inibir a atividade microbiana pela presença de metais pesados, como pode também estimular tal atividade, pois propicia o aumento no teor de C, nutrientes, retenção de água, altera a temperatura, dentre outros fatores que beneficiam o desenvolvimento dos microrganismos, conseqüentemente a disponibilidade de nutrientes às plantas (BAATH, 1989; PONTES, 2002).

Várias são as técnicas utilizadas para realizar a quantificação da biomassa microbiana do solo, pois esta representa o principal componente que regula o fluxo de energia, ciclagem de nutrientes, produtividade e funcionalidade do ecossistema em que se insere, transformando a matéria orgânica e servindo como fonte/dreno de nutrientes e catalisador de processos enzimáticos no solo (DUXBURY et al., 1989; MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 1999; CARDOSO, 2004).

Assim, com base em informações e determinadas concentrações de elementos e substâncias celulares presentes no solo, torna-se possível estimar a massa microbiana viva (DE-POLLI; GUERRA, 1999). Tais métodos caracterizam-se pela microscopia direta, ATP, respiração induzida pelo substrato ou fisiologia da taxa de respiração,

fumigação-incubação, fumigação-extração, dentre outros, porém são técnicas que exigem habilidade e devem ser direcionadas de acordo com a necessidade dos resultados (CARDOSO, 2004).

Os microrganismos presentes no solo apresentam uma variedade muito grande, podendo relacionar-se com o ciclo do nitrogênio (diazotróficos, desnitrificadores, amonificadores) e também com o ciclo do C, envolvendo desde os degradadores até as *Arqueas*, atuando nos ciclos bioquímicos (TORSVIK; ØVREAS, 2002). Os microrganismos representam cerca de 60 a 80% da matéria orgânica, atuando diretamente na fertilidade do solo, estado de agregação das partículas, processos de intemperização, decomposição, biorremediação e demais fatores envolvidos com a atividade microbiana (VAL-MORAES, 2008).

A aplicação de doses de lodo de esgoto promove aumento em alguns grupos de organismos, como foi constatado por Val-Moraes (2008), indicando a concentração de Acidobactérias (40,5%), Actinobactérias (25,9%), Verrucomicrobia (16%), Bacteroidetes (39%) e Firmicutes (60,8%). As bactérias classificadas como Proteobactérias aumentaram em média 18,8% e as Deltaproteobactérias aumentaram 145,5%, assim, a introdução do lodo de esgoto tem a capacidade de alterar as estruturas das comunidades presentes no solo. Dentre as atividades microbianas dos organismos presentes em solos que receberam doses de lodo de esgoto, destacam-se o papel ecológico, versatilidade metabólica, capacidade quimiorganotrófica, ciclagem de nutrientes, fluxo de energia, dentre outros.

2.7. Lodo de esgoto em florestas

O uso agrícola do lodo de esgoto no Brasil ainda não é expressivamente considerável, porém, já é reconhecido por diversos programas e é utilizado como fonte de estudo por diversos órgãos governamentais, sendo assim, apresenta grande potencial e características promissoras, principalmente devido ao fato de caracterizar-se como um resíduo com potencial para a agricultura e de fácil acesso e disponibilidade.

No Brasil, as pesquisas referentes à inserção de lodo de esgoto na agricultura iniciaram-se na década de 80, visto que as primeiras publicações ocorreram a partir de 1982. No que se refere às pesquisas florestais, o tema é ainda mais recente, já que a preocupação com a recuperação de áreas degradadas é tema da atualidade (GUEDES et al., 2006).

No âmbito internacional, a utilização dos bio sólidos em solos agricultáveis vem sendo aceita nas últimas décadas, devido, principalmente, aos inúmeros resultados obtidos de tal utilização em pesquisas de campo, viabilizando fundamentos teóricos e práticos para a aplicação adequada e ambientalmente aceitável (SMITH; CARNUS, 1997). Em algumas cidades, tal como ocorre em Bremerton, em Washington, o bio sólido vem sendo aplicado há vários anos, chegando a 100% de destinação em florestas, o que é significativamente importante, visto que a destinação adequada além de beneficiar o ambiente, auxilia na solução quanto ao gerenciamento do resíduo (LEONARD; MCKINNEY, 1997).

O lodo de esgoto, rico em matéria orgânica, pode disponibilizar às plântulas de espécies florestais, condições suficientes para seu desenvolvimento, atuando de forma benéfica também na estruturação dos substratos destinado ao cultivo de plantas, favorecendo as condições físicas, químicas e biológicas do solo. Vale ressaltar ainda, que a escolha do substrato depende das características da espécie vegetal utilizada, bem como suas necessidades, assim, conhecer a planta é fundamental para a formulação do substrato adequado (FONSECA et al., 2002).

O reaproveitamento do lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas apresenta-se como uma alternativa viável, visto que apresenta baixo custo em relação aos substratos comerciais (TRIGUEIRO; GUERRINI, 2003). De acordo com um estudo realizado por Maia (1999), utilizando lodo de esgoto, observou-se que a utilização do solo na composição do substrato dispensável, porém, outro material deve ser agregado, visto que o lodo de esgoto não apresenta a porosidade adequada ao desenvolvimento das plantas. Normalmente, apenas um material não satisfaz todas as necessidades nutricionais e fisiológicas de um vegetal, assim, a mistura, proveniente de várias fontes torna-se mais benéfica e eficaz. Vale ressaltar ainda, que quando

utilizados isoladamente, certos materiais podem interferir na qualidade da planta, podendo ocorrer situações indesejáveis no sistema produtivo (CALDEIRA et al., 2011).

O uso do lodo de esgoto em sistemas agroflorestais relaciona-se diretamente com os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Segundo Ludovice (2000), o lodo apresenta um potencial agrônomo inquestionável, porém, sua aplicação deve ser realizada de forma consciente e controlada, visando evitar possíveis riscos à saúde, ao meio ambiente e ao produtor rural.

2.8. Substrato vegetal e o lodo de esgoto

O substrato caracteriza-se como sendo uma combinação de componentes utilizada para a produção de plantas, capaz de fornecer a estas condições físicas e químicas favoráveis à germinação das sementes de uma determinada espécie, bem como seu desenvolvimento e vigor para a obtenção de plantas com qualidade, oferecendo, dentre outras coisas, a sustentação necessária. Quanto à composição, os substratos podem ser formulados a partir de uma enorme variedade de componentes, porém, normalmente se utiliza uma mistura com vistas a subsidiar a espécie desejada a densidade, equilíbrio nutricional, retenção de água, dentre outros fatores indispensáveis (PROSAB, 2006).

A reutilização de resíduos do saneamento obtidos em estações e tratamento de efluentes (ETE) para a produção de substratos auxilia no gerenciamento integrado desses resíduos, obtidos normalmente após os processos de secagem e higienização por intermédio dos processos relacionados à compostagem. Verifica-se com isso, que substratos produzidos através desse processo mostram-se eficazes para a germinação e desenvolvimento de plantas, promovendo a redução no uso de fertilizantes químicos, que normalmente encarecem o processo produtivo. Durante o cultivo das plantas, os substratos são normalmente acondicionados em recipientes específicos com vistas à otimização do espaço, que normalmente é reduzido, assim, utiliza-se sacos plásticos, sacos pretos, tubetes, bandejas plásticas ou de isopor (WENDLING; GATTO, 2002).

Vale ressaltar ainda que a utilização de recipientes para o desenvolvimento de plantas apresenta diversas vantagens e desvantagens, conforme a Tabela 15.

Tabela 15. Principais vantagens e desvantagens quanto o uso de recipientes para a produção de plantas.

Vantagens	Desvantagens
Proteção das raízes contra danos mecânicos	Maior necessidade de mão de obra e custo de aquisição
Rapidez na formação de mudas arbóreas	Maiores chances de envelopamento de raízes
Aumento na taxa de sobrevivência	Necessidade de remoção de embalagem antes do plantio
Possibilidade de plantio em várias épocas do ano	Maior peso para o transplante

Fonte: Wendling (2001)

Os substratos compostos de lodo de esgotos devem ser de preferência, acondicionados em recipientes com vistas à redução de riscos de contaminação de canteiros com elementos traços e demais poluentes possíveis de serem encontrados nesses materiais. O termo “capacidade de recipiente” se dá em relação à altura do substrato quanto ao volume de água retido após a irrigação. Tratando-se de tubetes, os quais são compostos por plástico rígido, com menor peso e diâmetro quando comparados aos outros recipientes, além de maiores condições quanto ao transporte, distribuição de mudas e reutilização, mesmo com um furo adequado à saída da água, a força gravitacional atua apenas até o ponto de equilíbrio estático. Sendo assim, nota-se que a capacidade de um determinado recipiente é a porcentagem, por volume, retida por um determinado substrato em recipiente com uma dada altura, após saturação, deixando-se drenar na ausência de evapotranspiração. Portanto, observa-se que esse é o limite máximo de água para um determinado substrato e para aquela profundidade específica do recipiente (WHITE; MASTALERZ, 1966).

Sendo assim, observa-se que a irrigação é fundamental quanto à capacidade do recipiente, principalmente quando observa-se a porosidade do solo, bem como a forma e constituição do material manejado, tais como a compactação, técnica de enchimento, dentre outros. Tanto as propriedades físicas, químicas e biológicas de um determinado substrato, como as condições sanitárias, são características variáveis, que oscilam em função da origem do material, método de produção ou obtenção, proporções de seus componentes, dentre outros. Vale ressaltar ainda, que a qualidade relaciona-se aos níveis de contaminação proporcionados pelos elementos traços, sementes de planta invasoras e patógenos, assim, um substrato considerado ideal para o desenvolvimento das plantas devem apresentar as seguintes características (PROSAB, 2006):

- Porosidade satisfatória para a aeração adequada, bem como o estado de saturação hídrica;
- Apresentar alta capacidade de retenção de água e alta capacidade de reter os nutrientes em sua estrutura;
- Estabilidade estrutural ao longo do período de desenvolvimento das plantas;
- Ter ausência de pragas, bem como agentes fitopatogênicos;
- Capacidade eficaz de tamponamento contra alterações de pH e propiciar o armazenamento;
- Ausência de substâncias inibidoras de crescimento ou que sejam prejudiciais às plantas e ter boa capacidade de re-hidratação após secagem do material;
- Apresentar previsibilidade quanto à dinâmica dos nutrientes, dentre outros.

Diversas são as vantagens e desvantagens quanto aos tipos de substratos utilizados para a produção de plantas, conforme apresentado na Tabela 16.

Tabela 16. Vantagens e desvantagens de tipos de substratos para produção de mudas, bem como suas características físico-químicas, origem e forma de produção.

Substratos	Vantagens	Desvantagens
Materiais orgânicos (lodo de esgoto, esterco, resíduos, casca de pinus e eucalipto)	-Produzido a partir de processos naturais -Boa consistência dentro de recipientes -Média a alta porosidade e drenagem -Média a alta capacidade de retenção de água e nutriente -Elevada fertilidade (macro e micronutrientes) -Fácil obtenção e processamento -Permite boa agregação do sistema radicular -Baixo custo	-Baixa porosidade e aeração quando puros -Necessitam de adubações balanceadas de N e S, principalmente em cobertura -Composição química variada em função da origem do material -Podem conter sementes de plantas invasoras -Podem conter nematóides e pequenos insetos -Difícil manuseio do lodo úmido
Turfas	-Formadas a partir de processos naturais -Elevada capacidade de retenção de água e nutrientes, quando bem decompostas -Média a alta concentração	-Apresentam características físicas e químicas muito variáveis -Podem sofrer grandes oscilações de volume -O produto não é renovável -É amplamente

	de N, P e K -Alta CTC efetiva	comercializado como substrato
Cascas de arroz e bagaço de cana carbonizados, cinza de caldeira e biomassa	-Baixa densidade global e alta porosidade -Boa homogeneidade no tamanho das partículas -Fácil obtenção e processamento -Baixo custo -Praticamente isento de inóculos de doenças, plantas invasoras e insetos	-Reduzem a capacidade de retenção de água do substrato -Possuem pH muito elevado (>6,5), podendo provocar deficiência de micronutrientes -Baixa concentração de N e S -Relação C/N muito alta
Vermiculita comercial	-Baixa densidade e partículas grandes -Elevada drenagem, aeração e porosidade -Boa padronização quanto às características físico-químicas -Praticamente isenta de inóculos de doenças e plantas invasoras	-Quando predomina no substrato, promove a formação de sistema radicular pouco aderido -Contraí-se no uso, após vários ciclos de umedecimento e secagem -Baixas concentrações de N, P, K, Ca, S, Fe, Zn e B -Deficiências e relações inadequadas entre alguns nutrientes
Subsolo, lodo de ETA	-Média a alta capacidade de retenção de água e	-Baixa porosidade e aeração quando mais

nutriente	argilosas
-Baixo custo e fácil obtenção e processamento	-Baixa capacidade de retenção de água quando mais arenosas
-Praticamente isenta de inóculos de doenças, plantas indesejáveis e insetos	-Baixas concentrações de nutrientes
	-Produto não renovável e de alta densidade

Fonte: Adaptado de Wendling e Gatto (2002)

2.9. Poda de árvores como agente estruturante

Os vegetais são constituídos de cerca de 90% de água, presente basicamente nas folhas, sendo a celulose componente da matéria seca resultante, assim como açúcares e proteínas, onde encontram-se os macro e micronutrientes. Basicamente, de um modo geral os tecidos apresentam hidratos de carbono (1 a 5%), hemiceluloses (10 a 28%), celulosas (20 a 50%), gorduras, ceras e taninos (1 a 8%), ligninas (10 a 30%), proteínas (10 a 15%), dentre outros (MIYASAKA; CAMARGO; CAVALERI, 1984).

Devido às características que apresentam, os vegetais atendem aos parâmetros para o processo de compostagem quanto à umidade, temperatura, aeração, microrganismos, dentre outros, desde que manejado para o processo, que normalmente ocorre em forma de pirâmides e propicia que uma rápida decomposição ocorra no local. Durante a compostagem desses resíduos, estão envolvidos diversos microrganismos, tais como fungos, bactérias, protozoários, algas, actinomicetos, insetos, dentre outros. O período necessário para que a estabilização do material aconteça é relativo e ocorre em função da relação C/N da massa, assim, em função disso, os microrganismos envolvidos no processo absorvem os elementos C e N na proporção de 30 partes do carbono para uma parte do nitrogênio, eliminando assim, 2/3 do carbono na forma de gás carbônico e imobilizando no seu protoplasma celular 1/3 do carbono, ficando com

uma relação C/N igual a 10/1. O nitrogênio excedente não incorporado pelos microrganismos é então liberado como amônia, sendo assim, o produto final, caracterizado como húmus, tem uma relação C/N igual a 10/1 (KIEHL, 1985).

Devido às características que a poda de árvore triturada apresenta, esta mostra-se como um importante agente estruturante para a realização da estabilização do lodo de esgoto durante o processo de compostagem, aumentando os espaços porosos da massa, absorvendo o excesso de umidade do lodo, balanceando a relação C/N das misturas, além de oferecer energia aos microrganismos na forma de sólidos voláteis biodegradáveis. Vale ressaltar que a escolha do material estruturante é fundamental para a qualidade do produto final, assim, como os vegetais são os mais utilizados, a poda de árvore apresenta-se como uma alternativa à disposição final adequada (PROSAB, 2006). Na Tabela 17, estão apresentados alguns dos resíduos vegetais utilizados como agentes estruturantes na compostagem do lodo.

Tabela 17. Características de alguns resíduos vegetais utilizados como agentes estruturantes na composição do lodo.

Estruturante	pH	H ₂ O	Sólidos fixos (%)	P%	N%	C%	C/N
Poda de árvores	6,9	30	9	0,09	1,1	51	
Bagaço de cana-de açúcar	3,7	20-40	3	0,1	0,20	47	235
Serragem	8,0	30	2	0,50	0,10	49	490
Palha de trigo	7,5	6	5	0,50	0,50	43	86
Cascas de café	5,1	10	5	0,08	1,20	46	38

Fonte: Fernandes et al. (1988); Silva e Fernandes (1998)

Em função disso, vários critérios devem ser levados em consideração na escolha do material estruturante, tais como a disponibilidade dos resíduos, custos envolvidos no processo, necessidade de pré-processamento, influencia nas características do produto final, dentre outros. Torna-se imprescindível uma avaliação preliminar quanto à composição química, teor de umidade, peso, granulometria, bem como a distância a ser percorrida para o deslocamento dos resíduos. Quanto à poda de árvore, esta pode ser

processada com o auxílio de moinhos ou trituradores, com vistas à obtenção de um produto final uniforme (PROSAB, 2006).

2.10. Lâmina de água

No que se refere à lâmina de irrigação a ser aplicada em uma determinada cultura, vários fatores devem ser levados em consideração, tais como a capacidade de armazenamento do solo, bem como a dinâmica de entrada e saída de água, ou seja, do balanço hídrico. Tais informações podem ser obtidas com o auxílio da equação 3, que segue (PROSAB, 2009):

$$I = ARM - P_{ef} + ET_c \quad (3)$$

Em que,

I: lâmina da água fornecida por irrigação (em mm)

ARM: armazenamento de água no solo (em mm)

P_{ef} : precipitação pluvial efetiva (chuva efetiva) – (em mm)

ET_c : evapotranspiração da cultura (em mm)

Para o planejamento e manejo da irrigação, torna-se indispensável a obtenção de dados relativos à evapotranspiração da cultura em questão, bem como a determinação das metodologias para sua obtenção, os fatores que interferem nesse fenômeno e como são expressos. De acordo com a FAO (2006), a evapotranspiração é considerada como um processo onde existe a combinação de dois processos, sendo a água perdida pela transpiração das culturas e pela evaporação direta que ocorre pela superfície do solo. A evaporação, propulsão pela temperatura e energia solar, é caracterizada como o processo onde a água converte-se em vapor, sendo removida da superfície pela diferença existente entre a pressão atmosférica e vapor d'água, o que acontece em plantas e solos úmidos, sendo a velocidade influenciada pela saturação da

atmosfera ao redor. Assim, vários são os fatores a serem considerados durante a avaliação da evapotranspiração, sendo a velocidade do vento, umidade do ar, temperatura e radiação solar, fatores determinantes, bem como a quantidade de água disponível e o sombreamento da cultura.

Vários são os fatores que interferem na quantidade de água na superfície do solo, tais como a água da chuva, irrigação e até mesmo a água proveniente do lençol freático, assim, o solo torna-se capaz de manter entre suas partículas a quantidade de água suficiente para manter a demanda requerida pelos diversos processos, porém, se ocorrerem grandes intervalos entre os períodos de chuva ou irrigação, a quantidade de água armazenada tende a diminuir, favorecendo o processo de secagem do solo, limitando a evaporação, podendo cessar num curto período de tempo (FAO, 1988).

A transpiração é caracterizada pela transformação da água no estado líquido para o vapor. A perda de água nas culturas ocorre principalmente pelos estômatos, estrutura capaz de permitir a passagem dos gases e vapores de água, pois praticamente toda a água absorvida pelo sistema radicular da planta é perdida na forma de vapor, sendo apenas uma pequena fração incorporada à planta. Assim como ocorre na evaporação direta, a transpiração também depende de vários fatores, tais como a radiação solar, pressão de vapor, ventos, temperatura do ar, bem como a quantidade de água presente no solo, condução pelo sistema radicular, tipo de cultura, características ambientais, manejo, dentre outros (PROSAB, 2009).

A evapotranspiração caracteriza-se, portanto, pela evaporação e transpiração, porém, torna-se difícil separar esses processos distintos. Em um solo cultivado, caracteriza-se como evaporação a disponibilidade de água presente num determinado local, bem como a intensidade da radiação solar, sendo que esta é instável, visto que com o passar do tempo, devido ao aumento do sombreamento, tende a diminuir. Conclui-se, portanto, que inicialmente os efeitos da evaporação são acentuados, influenciando diretamente nas características hídricas do cultivo, contudo, com o passar do tempo e crescimento do vegetal, a transpiração prevalece.

A evapotranspiração é definida como a quantidade de água perdida por uma superfície cultivada em unidades de altura de água, sendo expressa em milímetros por

unidade de tempo. Assim, sabe-se que um hectare corresponde a 10.000 m² e que uma perda correspondente a 1 mm de água equivale à perda de 10 m³ de água por hectare. Vários são, portanto, os fatores que interferem na evapotranspiração, assim, a capacidade de evaporação da atmosfera é expressa a uma cultura de referência, sendo caracterizado como ET_0 .

Quando as condições padrões não são observadas em campo, ocasionadas devido a vários fatores, tais como salinidade do solo, baixa fertilidade, ausência de controle de pragas, insuficiência de fertilizantes, dentre outros, utiliza-se fatores de correção, com vistas a ajustar a ET_c . Deve ser estabelecida, portanto, a diferença entre a ET_0 , a evapotranspiração da cultura sob condições padrão (ET_c) e a evapotranspiração em condições não padronizadas, definidas como $ET_{c\ aj}$. A Figura 7, expressa os conceitos referentes á evapotranspiração:

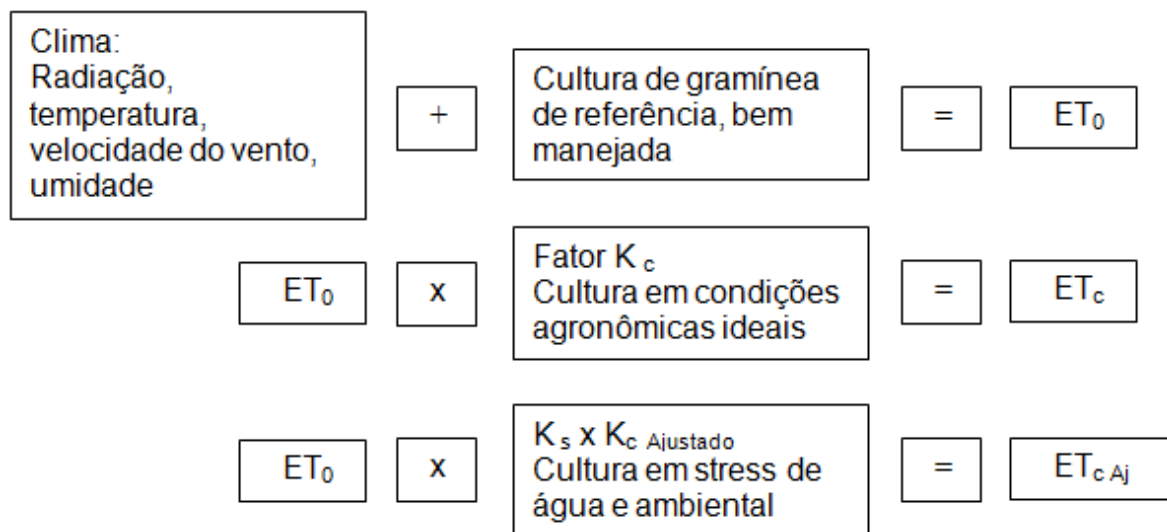


Figura 7. Evolução do conceito de evapotranspiração de culturas.
Fonte: FAO (1988)

Dentre os fatores responsáveis pelas alterações da ET_0 , destacam-se os fatores climáticos, assim, notam-se na Tabela 18 os valores médios de ET_0 para diferentes regiões climáticas.

Tabela 18. Valores médios de ET_0 para diferentes regiões agroclimáticas, $mm\ d^{-1}$.

REGIÕES	Temperatura média diária (°C)		
	10°C	20°C	30°C ou mais
Tropicais e subtropicais			
Úmido e subúmido	2 – 3	3 – 5	5 – 7
Árido e semiárido	2 – 4	4 – 6	6 – 8
Temperadas			
Úmido e subúmido	1 – 2	2 – 4	4 – 7
Árido e semiárido	1 – 3	4 – 7	6 – 9

Fonte: FAO (1988)

Observa-se, portanto, que existe uma quantidade de água necessária para repor as perdas ocasionadas pela evapotranspiração, assim, a irrigação apresenta-se como uma alternativa, sendo a diferença entre a necessidade de água de uma determinada cultura e a precipitação efetiva. As informações relativas aos dados sobre a evapotranspiração de uma determinada cultura caracteriza-se a partir de dados climáticos, determinando-se o coeficiente da cultura (K_c) pela razão ET_c/ET_0 , conforme Equação 4 (PROSAB, 2009):

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad (4)$$

Em que,

ET_c : evapotranspiração sob condições padrão

K_c : coeficiente da cultura

ET_0 : evapotranspiração da cultura de referência

As características morfológicas das plantas interferem diretamente nos índices da evapotranspiração de uma determinada área, até mesmo em culturas submetidas às mesmas condições climáticas. Tal fato demonstra o porquê valores de K_c sofrem variações e são considerados em faixas e não em valor absoluto. Nota-se na Tabela 19

a variação existente quanto aos coeficientes médios em função das culturas utilizadas, bem como quanto ao estágio de desenvolvimento das mesmas:

Tabela 19. Variação de coeficientes médios quanto às culturas utilizadas.

Cultura	Estádio de desenvolvimento			
	I	II	III	IV
Feijão	0,3 – 0,4	0,7 – 0,8	1,05 – 1,2	0,65 – 0,75
Algodão	0,4 – 0,5	0,7 – 0,8	1,05 – 1,25	0,8 – 0,9
Amendoim	0,4 – 0,5	0,7 – 0,8	0,95 – 1,1	0,75 – 0,85
Milho	0,3 – 0,5	0,8 – 0,85	1,05 – 1,2	0,8 – 0,95
Cana-de-açúcar	0,4 – 0,5	0,7 – 1,0	1,0 – 1,3	0,75 – 0,8
Soja	0,3 – 0,4	0,7 – 0,8	1,0 – 1,15	0,7 – 0,8
Trigo	0,3 – 0,4	0,7 – 0,8	1,05 – 1,2	0,65 – 0,75

Observações: Estádio I: Emergência até 10% do desenvolvimento vegetativo; Estádio II: 10% a 80% do desenvolvimento vegetativo; Estádio III: 80% a 100% do desenvolvimento vegetativo; Estádio IV: Maturação

Fonte: Reichardt (1990)

2.11. Caracterização da espécie

A *Croton urucurana* Baill., pertencente à família Euphorbiaceae, conhecida popularmente como urucurana, sangra d'água, urucuana, lucurana, sangue d'água, sangue de drago, capixingui, dentre outros, caracteriza-se por se uma espécie decídua, heliófita, seletiva higrófito, pioneira, típica de terrenos muito úmidos e brejosos, principalmente em florestas latifoliadas semidecíduas. Dentre as características morfológicas, destacam-se a altura, já que a planta pode atingir de 7 a 14 metros, tronco com cerca de 25 a 35 centímetros de diâmetro, folhas simples, pubescentes, prateadas no limbo superior, com cerca de 9 a 18 centímetros de comprimento (LORENZI, 1992).

Normalmente a ocorrência natural da espécie ocorre na Bahia, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul até o Rio Grande do Sul em matas ciliares de várias formações florestais. A madeira é moderadamente pesada, com cerca de $0,83 \text{ g cm}^{-3}$, resistente, dura, de média durabilidade quando exposta. Quanto à fenologia, floresce durante um longo período do ano, iniciando-se em dezembro e prolongando-se até junho, sendo a frutificação quase simultânea, com maturação entre fevereiro e julho.

O processo germinativo, quando em condições adequadas, ocorre em cerca de 15 a 25 dias, sendo a taxa germinativa geralmente alta. Quando utilizada comercialmente, a madeira apresenta-se propícia para a construção de canoas, obras hidráulicas, carpintaria, marcenaria, dentre outros. Além disso, pode ser empregada na arborização urbana, desde que seja planejada por intermédio de um plano de arborização, bem como para plantios mistos em áreas ciliares degradadas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Delineamento experimental

O experimento foi desenvolvido junto ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP, Brasil, localizado a 575 metros de altitude, 21° 15' 22" S de latitude e 48° 18' 58" W de longitude, no setor de plasticultura, e no viveiro municipal de mudas de Pirangi, Estado de São Paulo, localizado a 959 metros de altitude, 21° 05' 55" S de latitude e 48° 40' 17" W de longitude.

A classificação climática para as regiões, segundo Köppen, é do tipo Cwa, ou seja, subtropical úmido com estiagem no inverno. A precipitação e as temperaturas médias anuais situam-se próximas de 1.400 mm e 21°C, respectivamente.

O período de realização do experimento foi de janeiro de 2012 a dezembro de 2013 e o delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, fatorial, com 6 adubações, 3 lâminas de irrigação e 3 repetições, sendo cada parcela representada por 25 plantas.

3.2. Instalação e condução do experimento

3.2.1. Identificação da ETE

Inicialmente foram realizadas pesquisas e coletas de dados provenientes do tratamento dos esgotos sanitários domésticos no município de Pirangi, SP, originados na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), composta por duas lagoas, sendo uma anaeróbia e a outra facultativa (Figuras 8, 9 e 10).



Figura 8. Vista do ponto de encontro entre as lagoas anaeróbia e facultativa.



Figura 9. Ponto de entrada dos efluentes domésticos na lagoa anaeróbia.



Figura 10. Vista geral da lagoa facultativa do município de Pirangi, SP.

Foram realizados também, diagnósticos relativos ao sistema de abastecimento de água e de esgotos sanitários, estação elevatória, população atendida pelo projeto, vazão média, vazão máxima diária, vazão máxima horária, dentre outras características relevantes ao estudo, com o auxílio das Equações 5, 6 e 7.

- Vazão Média (Q_M)

$$Q_M = \frac{P.c.q}{86.400} + I \text{ (l/s)} \quad (5)$$

- Vazão Máxima Diária ($Q_{máx,D}$)

$$Q_{máx,D} = \frac{P.c.q}{86.400} \times K_1 \times K_2 + I \text{ (l/s)} \quad (6)$$

- Vazão Máxima Horária ($Q_{máx,H}$)

$$Q_{máx,H} = \frac{P.c.q}{86.400} \times K_1 \times K_2 + I \text{ (l/s)} \quad (7)$$

O dimensionamento do diâmetro do recalque foi efetuado por intermédio da Equação 8.

$$D = K \cdot \sqrt[3]{Q} \quad (8)$$

Onde:

D = Diâmetro do tubo, em metros

K = Coeficiente de custo de investimento e custo operacional

Q = Vazão de adução, em $m^3 s^{-1}$

3.2.2. Padrões de lançamento e enquadramento do corpo receptor

Foram realizadas as determinações por meio de análises de amostras do esgoto antes da entrada do material no sistema de tratamento, e ao término do processo, em

pontos previamente definidos para a amostragem, de acordo com as metodologias estabelecidas pela CETESB (2011):

1. Determinação das vazões (afluente e efluente) do sistema para obtenção do cálculo da carga poluidora e eficácia do tratamento;
2. Escolha de local representativo, ou seja, com turbulência suficiente para a obtenção de amostras com boa mistura;
3. Amostras provenientes no centro do canal, pois a velocidade é mais alta e conseqüentemente a sedimentação de sólidos é mínima;
4. Local de fácil acesso para a coleta das amostras.

Após a definição dos pontos de coleta (Figura 11) e dos parâmetros a serem analisados, foi definido o tipo de amostra, que no presente estudo foi denominada como simples, pois foi realizada de forma manual e não apresentava vazão e composição variáveis, já que o sistema trata apenas os efluentes domésticos de cerca de 9.000 moradores da área urbana do município de Pirangi, SP (IBGE, 2010).

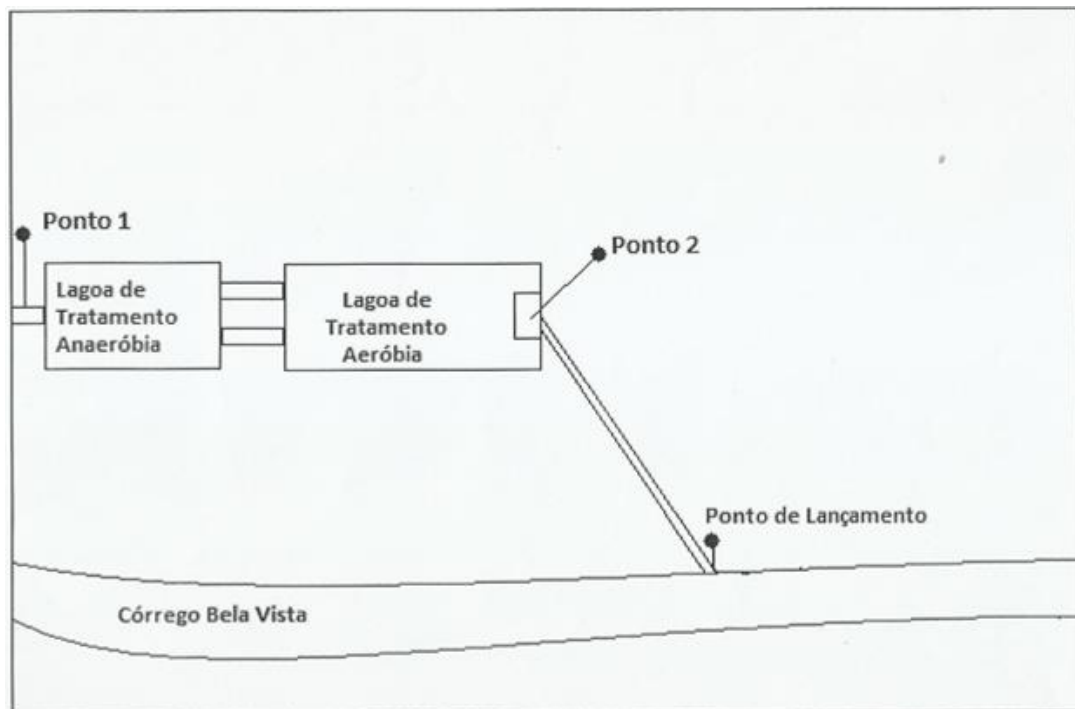


Figura 11. Pontos de coleta para a avaliação do efluente antes e depois do tratamento na ETE.

Após a coleta, os materiais foram encaminhados em laboratório para análise de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio) e pH, levando-se em consideração a data da coleta, registro de chuvas nas últimas 24 horas, temperatura do ar, temperatura da amostra, dentre outros, de acordo com metodologia da APHA, 2005.

Os dados das análises foram comparados com o estabelecido na Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, alterada pelas Resoluções 410/2009 e 430/2011, que dispõem sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Em função disso, foi realizada a classificação do corpo hídrico receptor do efluente após o tratamento quanto aos parâmetros de enquadramento de classe, principalmente no que se refere aos seguintes padrões de qualidade:

- Presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;
- Coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução CONAMA nº 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;
- Cor verdadeira: até $75 \text{ mg Pt}^{-1} \text{ L}$;
- Turbidez: até 100 UNT;
- DBO 5 dias a 20°C até $5 \text{ mg L}^{-1} \text{ O}_2$;
- OD, em qualquer amostra, não inferior a $5 \text{ mg L}^{-1} \text{ O}_2$;
- Clorofila a: até $30 \mu\text{g L}^{-1}$;
- Densidade de cianobactérias: até $50000 \text{ cel mL}^{-1}$ ou $5 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$.

3.2.3. Coleta e avaliação do lodo de esgoto

O lodo de esgoto utilizado no presente estudo para a composição dos substratos foi obtido junto à Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) do município de Pirangi, Estado de São Paulo, operada pela empresa Hidro Forte Administração e Operação Ltda. O sistema de tratamento, composto por uma lagoa anaeróbia e uma lagoa facultativa encontra-se em funcionamento desde 2007, quando foi obtida a licença de operação junto à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), por intermédio do processo nº 40/00032/01. A ETE localiza-se em uma área rural, denominada de Fazenda Bela Vista, no Km 1,5 da estrada vicinal PGI 010, inserida na bacia hidrográfica dos rios Turvo e Grande.

A partir da coleta do material, foram realizados os processos de gerenciamento do lodo com o auxílio do adensamento por gravidade, estabilização biológica e higienização com o auxílio da compostagem, desaguamento e disposição final por meio da produção de substratos, com vista à avaliação dos dados junto à Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006, que “Define os critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências”. Em função disso, foram avaliados os seguintes parâmetros:

a. Potencial agrônômico, sendo eles:

- I - carbono orgânico;
- II - fósforo total;
- III - nitrogênio total
- IV - pH em água (1:10);
- V - potássio total;
- VI - sódio total;
- VII - enxofre total;
- VIII - cálcio total;
- IX - magnésio total;

X - sólidos voláteis e totais.

b. Substâncias orgânicas e inorgânicas potencialmente tóxicas, sendo elas:

I - Arsênio;

II - Bário;

III - Cádmio;

IV - Chumbo;

V - Cobre;

VI - Cromo;

VII - Mercúrio;

VIII - Molibdênio;

IX - Níquel;

X - Selênio; e

XI - Zinco.

c. Indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos, sendo eles:

I - coliformes termotolerantes;

II - ovos viáveis de helmintos;

III - *Salmonella*; e

IV - vírus entéricos.

d. Estabilidade, sendo eles:

I - o lodo de esgoto ou produto derivado será considerado estável se a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 0,70.

3.2.4. Coleta e avaliação da poda de árvore

Os resíduos da poda de árvores foram obtidos também no município de Pirangi, Estado de São Paulo, e no dia da coleta, foi realizado um acompanhamento durante o

processo de trituração para a devida identificação das espécies que iriam compor o resíduo. As Figuras 12, 13 e 14 demonstram o método de coleta realizado pela Prefeitura Municipal de Pirangi, bem como a utilização do triturador de galhos.



Figura 12. Caracterização das espécies utilizadas para compor os resíduos de poda.



Figura 13. Triturador de galhos da Prefeitura Municipal de Pirangi, SP.



Figura 14. Galhos da espécie *Licania tomentosa* sendo triturados.

Após a realização desse processo, os resíduos foram encaminhados até o local da compostagem dos materiais, localizado junto ao viveiro municipal de mudas, sito à Rua Álvaro Mendes Campos, nº 492, Bairro Jardim Bela Vista, Pirangi, SP.

3.2.5. Compostagem

Após a obtenção dos resíduos provenientes de lodo de esgoto e poda de árvores, bem como a caracterização destes, iniciou-se o processo de compostagem, onde foram levados em consideração parâmetros físico-químicos fundamentais para o processo, tais como a aeração, temperatura, umidade, relação C/N, estrutura e pH.

Quanto à temperatura, esta foi avaliada a cada dois dias com o auxílio de um termômetro digital para o monitoramento constante, já que este processo é um importante indicador da eficiência da estabilização e higienização do material (EPSTEIN, 1997; GEISLER, 2000).

Quanto à composição do material a ser compostado, realizou-se um cálculo para o equilíbrio da relação carbono/nitrogênio, sendo assim utilizou-se 50% de lodo de

esgoto e 50% de material estruturante (poda de árvores), organizados em uma pirâmide dimensionada em formato triangular, com 1,20 m de altura, 1,50 m de largura e 3,0 m de comprimento, em um barracão coberto com 3% de declividade de acordo com metodologia de Silva et al. (2002). Em seguida foram misturados com um forçado curvo 3 vezes por semana (HAY et al., 1984), durante 3 meses, até o término do processo de estabilização, objetivando aerar a massa de resíduos em compostagem, pois por possuir granulometria fina, o lodo apresenta aspecto pastoso, o que dificulta a difusão do ar, sofrendo, inclusive, a compactação natural devido ao peso próprio. Assim, o revolvimento foi realizado para homogeneizar a mistura, expondo as camadas externas às temperaturas mais elevadas do interior da pirâmide, melhorando a eficiência da desinfecção, reduzindo a granulometria dos resíduos, bem como o teor de umidade do composto, segundo metodologia de Kuter (1995).

No período de maturação, o composto foi revolvido com menor frequência, sendo revolvido a cada 15 dias até a conclusão do estágio final. A umidificação do meio durante as atividades de revolvimento das leiras foram realizadas em quantidades adequadas, variando em torno de 50 a 60%, já que valores de referência acima ou abaixo destes podem tanto inibir as atividades microbianas, quanto impedir a passagem livre do oxigênio (PROSAB, 2006).

3.2.6. Composição dos substratos

Após a obtenção dos compostos, foi realizada a mistura dos substratos, que em seguida, foram distribuídos em diferentes frações junto ao Latossolo Vermelho arenoso, (terra de barranco), distribuído nas seguintes composições:

- 1 – 100% de terra de barranco com adubação mineral (100% TBAM);
- 2 – 100% de terra de barranco sem adubação (100% TBSA);
- 3 – 25% de composto orgânico + 75% de terra de barranco (25%CO);
- 4 – 50% de composto orgânico + 50% de terra de barranco (50%CO);
- 5 – 75% de composto orgânico + 25% de terra de barranco (75%CO);

6 – 100% de composto orgânico (100%CO).

Foram realizadas as misturas a partir de diferentes concentrações de composto com terra de barranco (0, 25, 50, 75 e 100%) para a produção de mudas de *Croton urucurana*, bem como um tratamento adicional com adubação mineral convencional, segundo metodologia de Trani et al. (1997), juntamente com 3 níveis de irrigação (50, 100 e 150% da evapotranspiração), e 3 repetições, sendo 25 plantas por tratamento. O delineamento experimental utilizado durante o experimento foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 6x3x3 (Tabela 20).

Tabela 20. Distribuição dos tratamentos utilizados para a condução do experimento.

Tratamentos	Formulação	Irrigação (%)
Tratamento 1	100% TBAM	50
Tratamento 2	100% TBAM	100
Tratamento 3	100% TBAM	150
Tratamento 4	100% TBSA	50
Tratamento 5	100% TBSA	100
Tratamento 6	100% TBSA	150
Tratamento 7	25% CO	50
Tratamento 8	25% CO	100
Tratamento 9	25% CO	150
Tratamento 10	50% CO	50
Tratamento 11	50% CO	100
Tratamento 12	50% CO	150
Tratamento 13	75% CO	50
Tratamento 14	75% CO	100
Tratamento 15	75% CO	150
Tratamento 16	100% CO	50
Tratamento 17	100% CO	100
Tratamento 18	100% CO	150

A partir da formulação dos tratamentos, foi realizado o preenchimento dos tubetes, que apresentavam capacidade de 300 cm³, distribuídos em um suporte feito com tela de arame e acondicionados em local onde a retenção da luminosidade solar atingia 30% de capacidade.

3.2.7. Irrigação

Os tratamentos foram submetidos a três níveis de irrigação (50, 100 e 150% da evapotranspiração de referência), realizadas em turno de rega diária, no período matutino, por aspersão manual e controlada por meio da evaporação calculada com base no Tanque Classe A, e corrigida segundo os coeficientes recomendados por Pereira, Villa Nova e Sediama (1997).

3.2.8. Análise das plantas

As sementes foram obtidas a partir de frutos coletados em árvores localizadas em um reflorestamento realizado pela Prefeitura Municipal de Pirangi (Figura 15), às margens do córrego Bela Vista, na área urbana do município, no período de abril a junho de 2013.



Figura 15. Imagem aérea da área onde foram coletados os frutos de *Croton urucurana*.
Fonte: Google Earth, 2014

A partir da obtenção dos frutos, estes foram acondicionados em condições secas ao sol, para completarem a abertura e conseqüente liberação das sementes de maneira espontânea. Devido à deiscência explosiva, utilizou-se um telado visando evitar a perda das sementes, segundo metodologia de Lorenzi (1992).

As sementes foram utilizadas logo após serem liberadas, com o objetivo de evitar possíveis interferências de fatores ambientais e do tempo de armazenamento, que normalmente diminuem consideravelmente o vigor e o índice de germinação das mesmas. Portanto, logo após a montagem dos tratamentos, foi realizada a semeadura diretamente nos tubetes. Utilizou-se para o processo germinativo, 2 sementes por recipiente, que foram introduzidas a 0,5 cm de profundidade.

3.2.9. Teste de germinação e emergência

Para os tubetes onde verificou-se a germinação de mais de uma semente, realizou-se o desbaste em torno dos 30 dias, sendo deixada apenas a planta mais sadia, central e robusta por recipiente. Durante o processo inicial, foram realizadas avaliações relativas ao período necessário para a germinação e emergência das plântulas, que ocorreram a cada dois dias. A partir das contagens das plantas emergidas, foram determinadas as porcentagens relativas ao sucesso germinativo (LABOURIAU, 1983). As avaliações relativas a esses parâmetros foram realizadas durante um período de 50 dias após a semeadura, visto que as sementes de *Croton urucurana* necessitam de um período de 15 a 25 dias para iniciarem o processo germinativo (LORENZI, 1992). Vale ressaltar ainda, que foram consideradas como sementes germinadas, aquelas que apresentavam o hipocótilo acima da superfície do substrato.

Após o estabelecimento das plantas, foram realizadas avaliações referentes às seguintes características:

- Altura da parte aérea (cm);

- Diâmetro do coleto (mm);
- Número de folhas;
- Comprimento da raiz axial (cm);
- Massa da matéria fresca do sistema radicular (g);
- Massa da matéria fresca da parte aérea (g);
- Massa da matéria fresca total (g);
- Massa da matéria seca do sistema radicular (g);
- Massa da matéria seca da parte aérea (g);
- Massa da matéria seca total (g).

Para a realização das medições, tais como a altura da parte aérea e comprimento do sistema radicular axial (maior raiz), foram utilizadas réguas graduadas em milímetros; para a pesagem dos materiais coletados, tanto para a avaliação da matéria fresca quanto seca, utilizou-se uma balança analítica com resolução de 0,001 g; para o diâmetro do coleto, utilizou-se um paquímetro, e para a secagem dos materiais para a avaliação da matéria seca utilizou-se uma estufa com circulação forçada de ar, onde as partes dos vegetais foram acondicionadas em embalagens de papel e em seguida submetidas à secagem em 65°C por um período de 72 horas, até a obtenção de peso constante, segundo metodologia de Benincasa (2003). As avaliações foram realizadas 150 dias após a semeadura, e os dados coletados foram submetidos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características da ETE

Dentre os resultados obtidos verificou-se que a ETE do município de Pirangi, SP, é composta por uma estação elevatória, que transfere os esgotos a partir de um ponto para outro, além de um tratamento primário e de lagoas anaeróbia e facultativa, promovendo o tratamento dos esgotos domésticos e melhorando a qualidade hídrica do corpo receptor Ribeirão da Tabarana. A composição do sistema de duas lagoas faz com que a área requerida para o sistema de tratamento seja menor, visto que uma lagoa facultativa única requer uma grande área. A partir disso, o requisito de área total para o presente estudo é menor, obtendo-se uma economia de área na ordem de 1/3 quando comparada a uma lagoa facultativa única (VON SPERLING, 2005).

No município de Pirangi, SP, a constituição dos sistemas de lagoas na estrada vicinal PGI 010, Km 1,5 na Fazenda Bela Vista, apresenta a seguinte distribuição (Figura 16):



Figura 16. Disposição das lagoas anaeróbia e facultativa da ETE de Pirangi, SP.

Fonte: Google Earth, 2014.

Foi possível verificar com o levantamento dos dados, que os esgotos sanitários distribuem-se por intermédio de aproximadamente 31 quilômetros de rede coletora, com 2.566 ligações, que em seguida destinam-se à estação elevatória, sendo bombeados por meio de uma tubulação de 0,20m de diâmetro em uma extensão de 553m, e um desnível de 24m até o PV-1. A partir desse ponto, os esgotos deslocam-se com o auxílio da gravidade até a lagoa anaeróbia, por uma extensão de 600m, em uma tubulação de 0,25m.

Em função dos dados diagnosticados para a demanda da ETE, verificou-se um consumo *per capita* de 190 L hab dia⁻¹, o que está de acordo com os levantamentos do SNIS (2010), onde a região Norte do Brasil apresenta uma média de consumo *per capita* de água de 151,2 litros; a região Nordeste apresenta índices inferiores, com média de 120,6 litros; a região Sudeste demonstra o maior consumo, com uma média de 189,7 litros; a região sul se mantém em 147,9 litros e o Centro-Oeste com um consumo em 2011, de 157,5 litros. Assim, a média do Brasil em 2011 foi de 162,6 L hab dia⁻¹. Em função dos dados expostos, verifica-se, portanto, que o município de Pirangi, por situar-se na região Sudeste do Brasil, apresenta índices de consumo *per capita* de acordo com o perfil da região.

Quanto aos dados relativos à vazão, foram obtidos valores médios de 19,89 L s⁻¹, sendo a máxima diária de 24,47 L s⁻¹ e a máxima horária de 35,94 L s⁻¹. Segundo dados do PROSAB (2006), as vazões de esgotos variam durante um dia, bem como de acordo com os dias da semana e com as estações do ano, assim sendo, os dados obtidos no sistema de tratamento da referida ETE, demonstram essas variações.

O município de Pirangi, SP possui 10.623 habitantes, porém, aqueles atendidos pelo sistema de tratamento de esgotos domésticos representam apenas 9.528 habitantes, visto que estes localizam-se na área urbana (IBGE, 2010). Quanto aos moradores da área rural, estes não são contemplados pelo sistema de tratamento municipal, utilizando para tanto, sistemas alternativos, tais como fossas sépticas, dentre outros.

Dentre as características avaliadas quanto ao dimensionamento, foram obtidos dados relativos ao diâmetro do recalque, sendo assim, adotou-se um valor comercial

imediatamente superior ao obtido, passando de 170mm para 200mm, com vistas ao atendimento do sistema pela demanda requerida, conforme preconiza a NBR 9.649 de 1986, que dispõe sobre a elaboração de projeto de redes coletoras de esgoto sanitário.

Sendo assim, foram obtidos os seguintes resultados quanto ao sistema de tratamento, em função de uma carga orgânica de 54g de DBO hab dia⁻¹:

Estação Elevatória de Esgoto:

- Vazão: 129,38 m³ h⁻¹
- Altura manométrica: 32 mca
- Potência: 25 HP

Lagoa Anaeróbia:

- Dimensões: Área média de 49,50 m x 49,50 m
- Área: 2.450,25 m²
- Td: 5 dias

Lagoa Facultativa:

- Dimensões: Área média de 72,00 m x 217,00 m
- Área: 15.624,00 m²
- Td: 16,38 dias

Vale ressaltar ainda, que adotou-se o valor de referência para a DBO de 54g hab dia⁻¹ para fins de cálculo e projeção da ETE em função do número de habitantes, de acordo com a NB 570 da ABNT.

Quanto ao dimensionamento da caixa de areia, verificou-se como Vazão Máxima Horária ($Q_{\max.H}$), 35,94 L s⁻¹ e como Vazão Mínima Horária ($Q_{\min.H}$), 10,72 L s⁻¹. Quanto à Calha Parshall, obteve-se $w = 6''$, já para o comprimento da caixa de areia, verificou-se que a mesma possui 4,0 m, com uma largura de 0,70 m, sendo o volume acumulado na semana de 0,45 m³.

Quanto à grade, diagnosticou-se que a seção da barra é de 6mm x 40mm, espessura de 6mm, abertura de 20mm e inclinação de 45°, com uma eficiência de 77%. A velocidade a montante constatada foi de 0,58 m s⁻¹, a perda de carga na grade limpa foi de 0,017m e em grade obstruída a 50% foi de 0,14m, com largura do canal a montante de 0,30m.

4.2. Diagnóstico do tratamento e remoção da carga orgânica

Após a constatação do sistema de tratamento utilizado pela ETE de Pirangi, SP, foram realizadas as coletas das amostras, respeitando-se a ausência de chuvas nas últimas 24 horas, bem como realizado o registro da temperatura do ar, que no momento da coleta foi registrada em 26 °C e a temperatura da amostra, identificada em 25 °C. Em seguida, foram realizadas as análises referentes à DBO, DQO e pH nos pontos de coleta definidos previamente, caracterizados como “ponto 1” e “ponto 2” (Figura 17), ou seja, na entrada e na saída da ETE (Figura 11). Em função do exposto, foram obtidos os seguintes resultados (Tabela 21):

Tabela 21. Dados relativos à DBO, DQO e pH dos pontos de coleta 1 e 2.

Resultados analíticos do Ponto 1 (entrada na ETE)					
Parâmetro	Resultado	V.M.P (*)	Unidade	Limite Quantificação	Método Referência
Orgânicos					
DBO	406		mg L.O ₂ ⁻¹	1	SM 5210-B
DQO	793,0		mg L O ₂ ⁻¹	0,10	SM 5220-D
Físico-Químicos					
pH	7,5	5** a 9*		0	SM 4500-H B
Resultados analíticos do Ponto 2 (entrada na ETE)					
Parâmetro	Resultado	V.M.P (*)	Unidade	Limite Quantificação	Método Referência
Orgânicos					
DBO	32		mg L.O ₂ ⁻¹	1	SM 5210-B
DQO	124,0		mg L.O ₂ ⁻¹	0,10	SM 5220-D
Físico-Químicos					
pH	7,7	5** a 9*		0	SM 4500-H B

* Valor máximo permitido; ** Valor mínimo permitido; ***Valor máximo recomendado

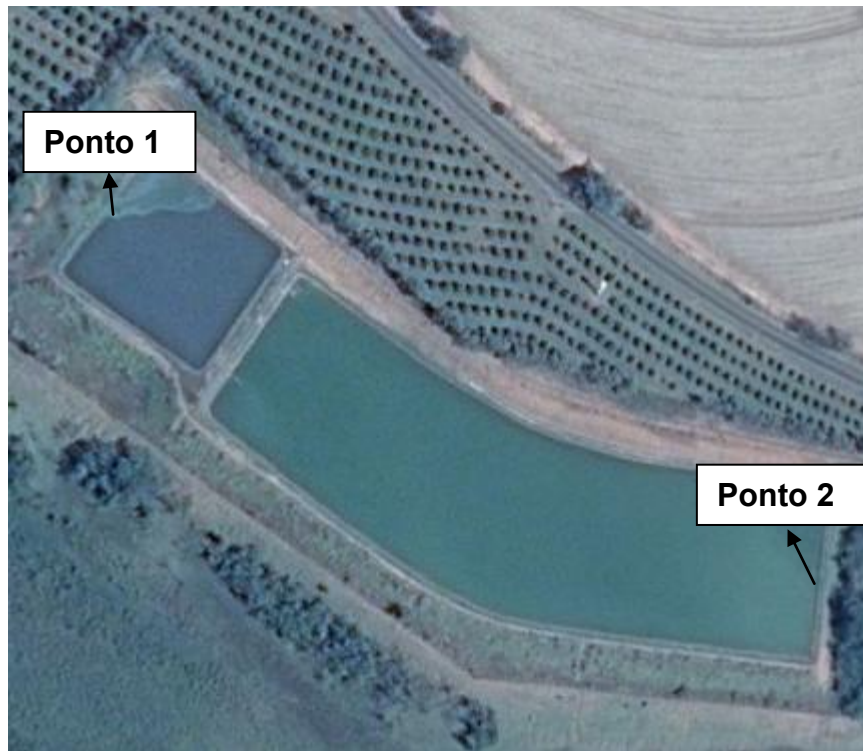


Figura 17. Imagem aérea da identificação dos pontos de coleta (Ponto 1 e Ponto 2).
Fonte: Google Earth, 2014

Em função dos dados obtidos, verificou-se que os valores de DBO no ponto 1 e no ponto 2 sofreram variação em função do tratamento realizado pela ETE, com uma redução da carga orgânica de 92,12%, sendo assim, constatou-se uma DBO equivalente a 32 mg L O_2^{-1} , ou seja, a amostra encontra-se de acordo com a Seção II, Artigo 15, da Resolução CONAMA nº 357/2005. A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), medida em 5 dias, a 20°C , está associada à fração biodegradável dos componentes orgânicos carbonáceos, sendo uma medida do oxigênio consumido após 5 dias pelos microrganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica.

Braile e Cavalcanti (1993), demonstraram variações e concentrações típicas de $\text{DBO}_{5,20}$ de esgoto doméstico e efluentes industriais (Tabela 22). Assim, verifica-se que no município de Pirangi, SP, as concentrações de DBO antes do tratamento pela ETE encontra-se próxima à faixa típica de concentração descrita por Braile e Cavalcanti (1993).

Tabela 22. Concentrações e contribuições unitárias típicas de DBO_{5,20} de esgoto doméstico e efluentes industriais.

Tipo de Efluente	Concentração DBO _{5,20} (mg L ⁻¹)		Contribuição unitária de DBO _{5,20} (kg dia ⁻¹)	
	Faixa	Valor típico	Faixa	Valor típico
Esgoto sanitário	110-400	220		54 g hab dia ⁻¹
Celulose branqueada (processo Kraft)		300		
Têxtil	250-600			
Laticínio	1000-1500			
Abatedouro bovino		1125		6,3 kg 1000 kg ⁻¹ peso vivo
Cortume (ao cromo)		2500		88 kg t ⁻¹ pele salgada
Cervejaria	1611-1784	1718		10,4kg m ³ ⁻¹ cerveja
Refrigerante	940-1335	1188		4,8 kg m ³ ⁻¹ refrigerante
Suco cítrico concentrado	2100-3000			2,0 kg 1000 kg ⁻¹ laranja
Açúcar e álcool		25.000		

Fonte: Braile e Cavalcanti (1993)

Quanto à Demanda Química de Oxigênio (DQO), na coleta do ponto 1, obteve-se um resultado de 793,0 mg L O₂⁻¹, já no ponto 2, ao final do tratamento, a DQO apresentava-se em 124,0 mg L O₂⁻¹, assim sendo, esta representa a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar quimicamente a matéria orgânica carbonácea, onde utiliza-se fortes agentes oxidantes em condições ácidas. Os valores de DQO normalmente são superiores ao da DBO_{5,20}, o que pode ser verificado no resultado da

análise da amostra, visto que o teste é realizado num menor período (CETESB, 2011). De acordo com dados obtidos por Von Sperling (2002), em sistemas de tratamento de esgotos compostos por lagoa anaeróbia e lagoa facultativa, as concentrações típicas do efluente referente à DQO variam de 120 a 200 mg L⁻¹, sendo assim, os valores obtidos para a ETE avaliada encontra-se de acordo com a média para o referido sistema. A Tabela 23 apresenta as principais características dos sistemas de tratamento quanto à DBO e DQO obtidas por Von Sperling (2002).

Tabela 23. Características dos principais sistemas de lagoas sem aeração quanto aos índices de DBO e DQO.

Item geral	Item específico	Lagoa facultativa	Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa	Lagoa anaeróbia + Lagoa facultativa + maturação	Reator UASB + Lagoas de polímero
Concentração típica do efluente	DBO (mg L ⁻¹)	50-80	50-80	40-70	40-70
	DQO (mg L ⁻¹)	120-200	120-200	100-180	100-180
Eficiência	DBO (%)	70-80	75-85	80-85	77-87
	DQO (%)	65-75	65-80	70-83	70-83
Requisitos	Área (m ² hab ⁻¹)	2,0-4,0	1,5-3,0	3,0-5,0	1,5-2,5

Fonte: Von Sperling (2002)

Em função do exposto, verifica-se, portanto, que a redução da DQO foi na ordem de 669 mg L⁻¹, ou seja, 84,36%. Conforme apresentado pela CETESB (2011), tais parâmetros apresentam-se satisfatórios quanto ao tratamento do esgoto doméstico do município de Pirangi, SP.

Realizou-se também a determinação do pH para as amostras coletadas, sendo que no ponto 1, o pH manteve-se em 7,5, já ao final do tratamento, ou seja, na amostra

do ponto 2, diagnosticou-se um pH de 7,7. De acordo com os padrões de lançamento e condições de qualidade da água estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005, o pH deve estar entre 6,0 a 9,0, portanto, os resultados foram satisfatórios. Segundo dados obtidos por Santos (2004), foram identificados valores de pH próximos aos obtidos na ETE de Pirangi, SP, variando de 7,01 a 7,88 num período de janeiro a julho, ou seja, em sete meses.

Para a realização do lançamento do efluente tratado no corpo receptor, denominado de Ribeirão Tabarana, foi observado o enquadramento do mesmo, que até o momento está na Seção I do Capítulo II da Resolução CONAMA nº 357 de 2005, ou seja, na Classe 2.

Além do enquadramento de classe, foram obtidos dados relativos aos seguintes parâmetros: coliformes termotolerantes; cor verdadeira: até 75 mg Pt L⁻¹; turbidez: até 100 UNT; OD, em qualquer amostra, não inferior a 5 mg L O₂⁻¹; Clorofila a: até 30 µg L⁻¹; Densidade de cianobactérias: até 50.000 cel mL⁻¹ ou 5 mm³ L⁻¹; óleos e graxas. Tais resultados podem ser verificados na Tabela 24.

Tabela 24. Dados relativos ao lançamento do esgoto tratado no corpo receptor Classe II (água doce) denominado Ribeirão Tabarana, no município de Pirangi, SP.

Parâmetro	Unidade	Padrão de lançamento	Valor obtido
Coliformes termotolerantes	NMP 100 ml ⁻¹	Até 1.000	218
Cor verdadeira	mg Pt L ⁻¹	Até 75	52
Turbidez	UNT	Até 100	9,7
OD	mg L O ₂ ⁻¹	Não inferior a 5	7
Clorofila a	mg L ⁻¹	Até 30	10,2
Densidade de cianobactérias	Células ml ⁻¹	Até 5.000	429
Óleos e graxas	mg L ⁻¹	20/50	VA

VA: virtualmente ausentes; Óleos e graxas: óleos minerais: 20 mg L⁻¹; óleos vegetais e gorduras animais: 50 mg L⁻¹

No que se refere aos coliformes termotolerantes, estes apresentam-se como indicadores adequados da inativação de bactérias e vírus em lagoas de estabilização, sendo assim, a ausência dos patógenos no efluente corresponderá certa densidade de coliformes e não necessariamente sua ausência. Sendo assim, a estimativa quanto à eficiência de remoção varia em torno de 70% a 90%.

Assim, em função do exposto observa-se que o sistema de tratamento composto pela etapa primária e secundária diminui significativamente os coliformes termotolerantes, reduzindo os mesmos a taxas aceitas pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para o lançamento em corpos hídricos de Classe 2. A eficiência típica na remoção dos coliformes totais é de cerca de 99% por meio da lagoa facultativa, conforme descrito por Von Sperling (2003), e apresentado na Tabela 25.

Tabela 25. Faixas de eficiências de remoção de organismos patogênicos e indicadores em lagoas de estabilização.

PARÂMETROS	Eficiência típica de remoção (% ou unidade log removidas)*			
	Lagoa facultativa	Lagoa anaeróbia + facultativa	Lagoa facultativa + maturação	Lagoa anaeróbia + facultativa + maturação
-Coliformes	1 – 2 log	1 – 2 log	3 – 6 log	3 – 6 log
-Bactérias patogênicas	1 – 2 log	1 – 2 log	3 – 6 log	3 – 6 log
-Vírus	≤ 1 log	1 log	2 – 4 log	2 – 4 log
-Cistos de protozoários	100%	100%	100%	100%
-Ovos de helmintos	100%	100%	100%	100%

*1 log = 90%; 2 log = 99%; 3 log = 99,9%; 6 log = 99,9999%

Fonte: Von Sperling (2003)

De acordo com os dados acima descritos, observa-se que os índices obtidos para os coliformes na ETE de Pirangi, SP, estão de acordo com a literatura. Os dados obtidos com o diagnóstico do projeto demonstram que inicialmente realizou-se um cálculo de remoção dos coliformes na lagoa facultativa, onde se adotou um regime

hidráulico de fluxo disperso, com uma produção *per capita* de 1.10^8 CT hab dia⁻¹, sendo assim, o cálculo dessa concentração multiplicado pelo número de habitantes ofereceu subsídios para a projeção e planejamento da lagoa em função do período de detenção do esgoto. A partir disso, obteve-se o coeficiente de remoção de coliformes, calculado em $3,072.10^3$ CF 100 ml⁻¹, com uma eficiência de remoção de 93,8%. Observa-se, portanto, que o sistema de lagoas do município de Pirangi apresenta uma remoção superior à estimada. Já para o ponto de mistura, onde se considera a concentração dos coliformes totais com o rio, após o lançamento do efluente, obteve-se o valor de 159,21 CF 100 ml⁻¹.

Quanto à cor verdadeira, caracterizada pelo nível de cor natural do corpo de água, requerida em até 75 mg Pt L⁻¹, observa-se que para a amostra analisada o resultado obtido foi de 52, sendo assim, apresenta-se de acordo com o preconizado para o padrão de lançamento de corpo receptor de Classe II.

A turbidez da água verificada para a amostra coletada no ponto 2, indica que o valor está de acordo com o Resolução, que dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o enquadramento e condições e padrões de lançamento de efluentes, sendo assim, com uma turbidez de 9,7 UNT (unidade de turbidez), o curso hídrico está apto para receber da ETE o esgoto tratado. Tal característica demonstra que a água apresenta substâncias que alteram a penetração da luz através da difusão e absorção, sendo, portanto, necessário um tratamento específico para o consumo humano, visto que a água, quando entra no sistema de distribuição para o consumo, deve apresentar um valor máximo de 1 UNT, ou 5 UNT se for demonstrado que a desinfecção não foi comprometida, de acordo com o estabelecido pela Resolução nº 36, de 19 de janeiro de 1990.

O oxigênio dissolvido (OD), expresso em mg L O₂⁻¹, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 não deve ser inferior a 5 em corpos hídricos de água doce Classe II, sendo assim, como resultado da amostra coletada no ponto 2, obteve-se o valor de 7 mg L O₂⁻¹, ou seja, de acordo com o que preconiza a Resolução supra citada. Vale ressaltar que o OD caracteriza-se por ser um fator limitante para a manutenção da

vida aquática e de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais e estações de tratamento de esgotos.

No que se refere à clorofila *a*, obteve-se a partir da análise no ponto de lançamento, o valor de 10,2 mg L⁻¹, sendo que a Resolução nº 357/2005 preconiza que o valor limítrofe é de até 30 mg L⁻¹. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que a ETE proporciona o lançamento dentro dos parâmetros estabelecidos, não oferecendo prejuízos ao corpo receptor. Vale ressaltar, que a presença de clorofila *a* no sistema de tratamento, indica o índice de eutrofização do mesmo. De acordo com Carlson (1977), o índice de clorofila *a* auxilia na identificação da categoria do estado trófico do corpo hídrico, juntamente com o fósforo total e a transparência da água.

Quanto à avaliação da densidade de cianobactérias, cujo limite estabelecido para o lançamento é de até 5.000 células ml⁻¹, obteve-se o valor de 429 células ml⁻¹, o que representa um baixo índice de cianobactérias, de acordo com Silva et al. (2012). Vale ressaltar ainda, que a ocorrência de florações de cianobactérias representa um grave problema de saúde pública, sendo assim, a determinação dos valores para o lançamento torna-se indispensável.

Os óleos e graxas também foram determinados durante a avaliação do esgoto tratado, sendo assim, verificou-se que estes encontram-se virtualmente ausentes, ou seja, não são perceptíveis pela visão, olfato ou paladar, de acordo com as determinações da Resolução CONAMA nº 357/2005. Vale ressaltar ainda, que de acordo com a referida resolução, é aceitável o lançamento de 20 a 50 mg L⁻¹. Quanto à ausência dos mesmos, pode verificar que as etapas de tratamentos executadas pelas lagoas anaeróbia e facultativa estão atendendo às expectativas do projeto.

4.3. Diagnóstico do lodo de esgoto produzido pela ETE

A partir da coleta do lodo de esgoto da ETE de Pirangi, SP, realizou-se a avaliação de diversos parâmetros, sendo obtidos os seguintes resultados (Tabela 26):

Tabela 26. Potencial agronômico do lodo de esgoto da ETE de Pirangi, SP.

Parâmetros avaliados	Dados obtidos
Carbono orgânico	275,6 g kg ⁻¹
Fósforo total	39 g kg ⁻¹
Nitrogênio total	23,4 g kg ⁻¹
pH em água (1:10)	5,8
Potássio total	4,7 g kg ⁻¹
Sódio total	0,4 g kg ⁻¹
Cálcio total	8,9 g kg ⁻¹
Magnésio total	2,6 g kg ⁻¹
Sólidos voláteis e totais	Relação inferior a 0,7

Os valores obtidos quanto ao potencial agronômico do lodo de esgoto proveniente da ETE de Pirangi, SP, demonstraram semelhanças ao obtidos por Nascimento (2004), que em seu estudo, avaliou o potencial agronômico do lodo de esgoto produzido na Estação de Tratamento de Esgoto da Mangueira, em Recife, pertencente à COMPESA (Companhia Pernambucana de Saneamento). Em função dos resultados obtidos, verificou-se que o lodo de esgoto apresenta concentrações interessantes para o cultivo de plantas.

Quanto às substâncias orgânicas e inorgânicas potencialmente tóxicas, foram obtidos os resultados expressos na Tabela 27:

Tabela 27. Dados relativos às substâncias orgânicas e inorgânicas potencialmente tóxicas na ETE de Pirangi, SP.

Parâmetros avaliados	Dados obtidos mg kg ⁻¹	Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto (mg kg ⁻¹ , base seca)
Arsênio	4	41
Bário	154	1300
Cádmio	27	39
Chumbo	29	300

Cobre	91	1500
Cromo	230	1000
Mercúrio	4	17
Molibdênio	27	50
Níquel	191	420
Selênio	26	100
Zinco	409	2800

Os dados obtidos na Tabela 27 demonstram que o lodo de esgoto obtido na ETE de Pirangi, SP, enquadra-se na Resolução CONAMA nº 357/2005, pois as substâncias potencialmente tóxicas encontram-se em concentrações abaixo do permitido, o que reforça o potencial para a reutilização do resíduo.

Para os indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos, tais como coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, *Salmonella* e vírus entéricos, verificou-se os dados obtidos na Tabela 28, conforme a Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006:

Tabela 28. Avaliação de indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos da ETE do município de Pirangi, SP.

Parâmetros	Concentração de referência	Valores obtidos	Classificação do lodo
Coliformes termotolerantes	$<10^3$ NMP g de ST ⁻¹	187 NMP g de ST ⁻¹	A
Ovos viáveis de helmintos	$< 0,25$ ovo g de ST ⁻¹	Ausente	A
<i>Salmonella</i>	Ausência em 10 g de ST	Ausente	A
Vírus entéricos	$< 0,25$ UFP ou UFF g de ST ⁻¹	0,01 UFP ou UFF g de ST ⁻¹	A

ST: Sólidos Totais; NMP: Número Mais Provável; UFF: Unidade Formadora de Foco; UFP: Unidade Formadora de Placa

Resultados semelhantes foram obtidos por Mass (2010), que avaliando o biossólido obtido pela Companhia de Saneamento da Capital-SANECAP, Cuiabá, gerado na ETE instalada no bairro Maria de Lourdes que atende cerca de 3.504 pessoas, verificou a ausência de ovos de helmintos, bem como valores de $2,1.10^2$ NMP g^{-1} ST e $1,7.10^2$ NMP g^{-1} ST, sendo portando, um lodo classe A, de acordo com a Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006.

4.4. Caracterização da poda de árvores

Durante a coleta dos resíduos provenientes da poda de árvores, verificou-se que estes eram compostos basicamente pela espécie *Licania tomentosa*, conhecida popularmente como oiti, e pertencente à família Chrysobalanaceae (Figura 18).



Figura 18. Espécie (*Licania tomentosa*) utilizada para a compostagem.

Após o material ser triturado, este foi encaminhado para a área da compostagem, onde foram iniciados os processos de estabilização (Figura 19).



Figura 19. Poda de árvore triturada utilizada para a compostagem.

4.5. Avaliação da compostagem

Durante o período de estabilização dos resíduos provenientes da poda de árvores, e do lodo de esgoto da ETE de Pirangi, SP, foram realizadas as avaliações da temperatura, que oscilaram durante o período do experimento, conforme apresentado na Figura 20, que demonstra os dados de acordo com a média da temperatura semanalmente.

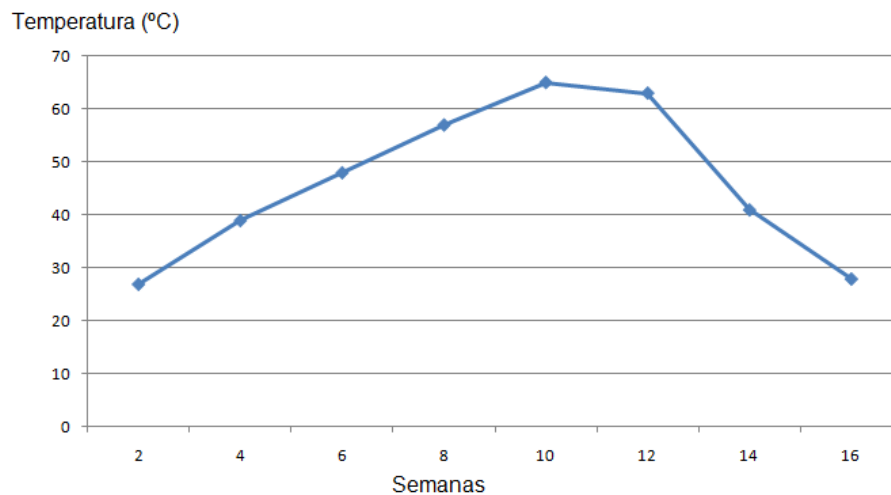


Figura 20. Oscilação da temperatura durante o processo de estabilização do composto.

De acordo com os dados obtidos, verificou-se que a temperatura manteve-se acima de 40° durante as primeiras 10 semanas, evidenciando a necessidade de um período mínimo de 3 meses para a bioestabilização do material. A partir desse período, a temperatura decresceu, estabilizando-se a partir da 14ª semana. Vale ressaltar ainda, que quando a umidade, o ar e os nutrientes estão nas proporções ideais requeridas pelo processo de bioestabilização, a temperatura eleva-se até valores próximos à 80°C, porém, torna-se necessário que a temperatura eleve-se acima de 55°C, por período mínimo de 5 dias, para que a higienização ocorra em índices significativos, pois o lodo de esgoto requer condições específicas para o uso (USEPA, 1995). De acordo com os dados obtidos, verificou-se que a temperatura atingiu os valores mínimos para a eliminação de organismos patogênicos, visto que atingiu 62°C durante um período de 8 dias.

A oscilação na temperatura da compostagem apresentou o presente padrão devido ao fato de que existem três fases, caracterizadas pela sucessão de microrganismos saprófitos, sendo assim, o processo inicia-se com os organismos mesófilos, característicos no início do processo e responsáveis por elevarem a temperatura em cerca de 45°C (fase mesófila). Em seguida, predominam no processo os microrganismos termófilos (fase termófila), que desenvolvem-se em temperaturas que variam de 55 a 80°C, aumentando significativamente a taxa de decomposição da matéria orgânica. Em seguida a essa intensa atividade, há um decréscimo de microrganismos termófilos, devido à exaustão da matéria orgânica, prevalecendo assim, os organismos mesófilos, caracterizando a terceira fase do processo (mesófila) onde as temperaturas decrescem e ocorre a síntese de matéria húmica e fúlvica (Epstein, 1997).

Observa-se, portanto, que a passagem por essas três fases caracterizadas no presente estudo é fundamental para o sucesso durante a bioestabilização do material orgânico original, auxiliando na eliminação dos patógenos e higienização do composto. Em estudo realizado por Golueke (1975), este demonstrou que patógenos humanos possuem a capacidade de sobreviverem por um período maior, mesmo quando submetidos a temperaturas entre 55 a 80°C, do que quando submetidos à compostagem, na presença de microrganismos saprófitos. As Figuras 21 e 22 ilustram

as transformações ocorridas no material orgânico em função da ação dos microrganismos.



Figura 21. Compostagem do lodo de esgoto com poda de árvore triturada no início (fase mesófila inicial) do processo de bioestabilização.



Figura 22. Compostagem do lodo de esgoto com poda de árvore triturada na fase intermédia (termófila) do processo de bioestabilização.

No que se refere à relação carbono/nitrogênio, a pirâmide de compostagem foi montada utilizando-se 50% de lodo de esgoto e 50% de material estruturante, caracterizado como poda de árvores trituradas. Sendo assim, no início da compostagem obteve-se uma relação C/N de 25:1 na mistura, obtida a partir da mistura de 2,0 m³ de lodo de esgoto e 2,0 m³ de poda triturada. Ao final do estudo, obteve-se uma redução de cerca de 62,5% do material total utilizado para a compostagem, ou seja, restando apenas, 1,5 m³. Resultados semelhantes foram obtidos por Corrêa et al. (2007), que estudando a compostagem de lodo de esgoto com poda de árvore, verificaram uma redução de 25% da soma de cada material separadamente, a partir da utilização de 3,0 m³ de lodo de esgoto e 5 m³ de poda triturada, demonstrando que a alta porosidade das fontes de carbono, bem como a absorção de água do lodo pelos resíduos de poda, são os responsáveis pela redução volumétrica da referida mistura.

Sendo assim, com a perda de água e a respectiva compostagem dos materiais, obteve-se ao final do período, um produto bioestabilizado (figura 23).



Figura 23. Características do composto obtido ao final da bioestabilização.

Apesar do lodo de esgoto utilizado para a compostagem não apresentar valores significativos de ovos de helmintos, vale ressaltar que a questão sanitária é extremamente importante quando trata-se de manipulação do lodo, sendo assim, a compostagem destaca-se devido à sua importância para a inativação desses ovos. Em estudo realizado por Fernandes et al. (1996), verificou-se que a redução no número de ovos viáveis de helmintos foi de 86%. Os autores demonstram ainda, que o maior índice de inativação ocorre na fase termofílica da compostagem, momento em que a temperatura atinge níveis mais elevados.

Além disso, ressalta-se que o composto apresentou potencial à vermicompostagem, pois durante o processo de compostagem foi possível observar a presença de minhocas, sobretudo da espécie africana. Assim sendo, no que se refere à presença de ovos de helmintos, a vermicompostagem apresenta-se como uma alternativa viável, já que é capaz de eliminar os ovos viáveis remanescentes nas pirâmides de compostagem (MAPA, 2004).

Em um estudo realizado por Dionísio e Ressetti (1997), 100% dos ovos e larvas viáveis de *Ascaris lumbricoides*, *Enterobius vermicularis* e ancilostomídeos foram eliminados ao inocularem minhocas da espécie *Eisenia fetida* em biossólido compostado.

4.6. Germinação e avaliação das plantas

A partir da análise química e granulométrica do solo utilizado no experimento, denominado como terra de barranco obteve-se os dados expressos na Tabela 29:

Tabela 29. Análise química e granulométrica de uma amostra composta do solo utilizado.

pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	m	V	Argila	Areia	Silte
água 1:2,5	(dg kg ⁻¹)	mg dm ⁻³		----- (cmol _c /dm ³) -----							----- (%) -----				
5,8	26,4	1	42	0,7	0,2	0,3	5,0	1,2	1,4	6,0	25,6	19,0	64	17	19

A partir da obtenção do composto orgânico, formulado por meio do lodo de esgoto e poda de árvores, foram elaborados os tratamentos, que foram distribuídos em função dos níveis de irrigação, que variaram entre 50%, 100% e 150% da evapotranspiração potencial calculada. Inicialmente foram obtidos os dados relativos à emergência das sementes, conforme dados apresentados na Tabela 30, e, em seguida, verificou-se a interferência dos fatores adubação e irrigação na emergência das plântulas.

Tabela 30. Dados relativos à emergência de *Croton urucurana*, representados em número de plântulas emergidas (com hipocótipo acima da superfície do substrato) em função dos substratos e lâminas de água aos 50 dias após a semeadura.

Substratos	Irrigação		
	50%	100%	150%
100%TBAM	11,3 cD	16,6cC	14,0 cC
100%TBSA	12,0 cD	15,3 cC	14,3 cC
25%CO	14,0 bC	25,0 bB	23,0 bB
50%CO	16,3 aC	28,6 aA	24,6 aB
75%CO	16,6 aC	29,0 aA	24,6 aB
100%CO	18,6 aC	29,3 aA	26,0 aB

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna (irrigação) e da mesma letra minúscula na linha (substrato) não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey

Em função dos dados obtidos, verificou-se maiores porcentagens de germinação em relação às concentrações mais elevadas de matéria orgânica, características dos tratamentos 100%CO, 75%CO e 50%CO, bem como quando utilizou-se 100% da evapotranspiração calculada, já que não apresentaram diferenças significativas a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. No que se refere aos tratamentos 100%TBAM e 100%TBSA, não foram observadas diferenças significativas quanto aos substratos e lâminas de água, apresentando resultados inferiores aos demais. Vale ressaltar que para o processo germinativo, são levados em consideração fatores associados à

intensidade luminosa, disponibilidade de matéria orgânica no substrato, bem como a disponibilidade de água, sendo assim, mesmo com um tratamento apresentando adubação mineral, esta não influenciou na germinação das sementes de *Croton urucurana*. Lucena et al. (2004), ao avaliarem a germinação de essências florestais em substratos fertilizados com matéria orgânica, observaram que deve-se levar em consideração a fonte da matéria, bem como a dosagem utilizada.

Andrade et al. (2013), verificaram que o índice de velocidade de emergência de plântulas da espécie *Myracrodruon urundeuva* apresentaram-se superiores em tratamentos formulados a partir de matéria orgânica, pois estes apresentam menor impacto físico à emergência, bem como auxiliam quanto à capacidade hídrica do solo.

Durante os estágios de desenvolvimento das plântulas, verificou-se que em *Croton urucurana* a germinação é faneroepígea, seguida pela projeção da radícula e desenvolvimento do hipocótilo, com expansão das folhas cotiledonares cerca de 10 a 15 dias após a germinação. Normalmente, a plântula apresenta um sistema radicular bem desenvolvido aos 20 dias após a emergência, o que explica os mesmos índices germinativos mesmo quando se utilizou a adubação mineral (PAOLI et al., 1995).

Na Tabela 31 estão apresentadas as informações relativas à altura da parte aérea, diâmetro do coleto, número de folhas e comprimento da maior raiz das plantas da espécie *Croton urucurana* aos 150 dias após a semeadura. Os dados demonstram características semelhantes às obtidas quanto à germinação das sementes, visto que as plantas notavelmente desenvolveram-se melhor onde as concentrações de matéria orgânica apresentaram-se maiores, conforme os tratamentos denominados de 100%CO, 75%CO e 50%CO, visto que quanto associados à irrigação de 100 e 150% da evapotranspiração potencial calculada, apresentaram diferenças significativas a 5% de probabilidade para o teste de Tukey. Para os tratamentos 100%CO e 75%CO, as médias obtidas para a altura das plantas, diâmetro do coleto, número de folhas e comprimento da raiz axial mostraram-se todas superiores quando aliadas as lâminas de 100% da evapotranspiração, seguidas pelas lâminas de 150% da evapotranspiração, porém, quando utilizou-se a lâmina de 50%, ocorreram quedas significativas quanto às características avaliadas.

Tabela 31. Dados médios para a altura das plantas (H), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF) e comprimento da raiz axial (CRA) aos 150 dias após a semeadura.

	Irrigação	H	DC	NF	CRA
	(%)	(cm)	(mm)	(nº)	(cm)
100%TBAM	50	14,8 c	5,5 c	7,5 d	13,9 b
	100	20,9 b	7,1 b	9,8 c	17,4 b
	150	21,1 b	7,8 b	11,5 c	14,1 c
100%TBSA	50	14,3 c	4,1 c	6,7 d	15,8 b
	100	17,1 b	6,3 b	8,4 c	14,9 c
	150	16,9 b	6,2 b	8,1 c	12,1 c
25%CO	50	18,1 b	6,5 b	9,3 c	16,8 b
	100	21,2 b	7,9 b	12,3 b	17,3 b
	150	21,9 b	8,1 b	12,1 b	14,4 c
50%CO	50	18,7 b	6,7 b	9,4 c	20,1 a
	100	24,9 a	9,1 a	12,8 b	21,3 a
	150	25,1 a	9,0 a	13,1 b	15,4 b
75%CO	50	19,1 b	6,9 b	9,6 c	22,9 a
	100	26,9 a	9,7 a	14,7 a	22,4 a
	150	26,8 a	9,6 a	14,8 a	16,8 b
100%CO	50	22,0 b	8,3 b	12,9 b	24,1 a
	100	29,8 a	11,1 a	16,1 a	23,2 a
	150	30,0 a	11,3 a	15,9 a	19,4 b

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey

A espécie em estudo, *Croton urucurana*, caracteriza-se por ser uma planta pioneira nativa, adaptada às regiões próximas às margens dos rios, sendo assim, observa-se que a escassez de água provoca alterações em seu desenvolvimento (CORDEIRO, 1985). Nascimento et al. (2004), avaliaram o desenvolvimento de plantas com a aplicação de doses de lodo de esgoto, o que permitiu concluir que este

apresenta potencial como fertilizante, pois as plantas responderam de maneira significativa e positivamente às doses de esgoto.

Tais resultados são fundamentos pelos dados obtidos nos tratamentos 50%CO, 25%CO e 100%TBSA, demonstrando que quando os teores de matéria orgânica são reduzidos para a referida planta, as características referentes à altura, diâmetro do coleto e número de folhas são afetadas. De acordo com dados obtidos por Faustino et al. (2005), quanto à produção de plantas de *Senna siamea*, estes verificaram que as plantas desenvolveram-se melhor em substratos combinados pela formulação de 50% de lodo de esgoto associado a 50% de fibra de coco, ou seja, um substrato completamente formulado à partir de resíduos orgânicos. Porém, quanto estes utilizaram 50% de solo, 25% de lodo de esgoto e 25% de fibra de coco, tais dados mostraram-se inferiores. Sendo assim, no referido estudo os substratos com maiores proporções de matéria orgânica apresentaram dados satisfatórios quanto as características morfológicas externas das plantas avaliadas.

No que se refere à adubação mineral, caracterizada no tratamento 100%TBAM, verificou-se que esta não influenciou no processo germinativo, como demonstra a Tabela 30, porém, após a emergência, as plântulas iniciaram seu desenvolvimento gradativamente, após o fortalecimento do sistema radicular, que se estabeleceu num período de tempo maior do que quando a matéria orgânica se fez presente na formulação, já que o solo nessas condições tende à compactação. De acordo com dados obtidos por Paoli et al. (1995), o sistema radicular de *Croton urucurana* torna-se desenvolvido num período de cerca de 3 meses, sendo assim, devido à avaliação ter ocorrido aos 150 dias após a semeadura, deve-se levar em consideração que a adubação mineral poderia ainda exercer influências e estimular o desenvolvimento da planta.

Quanto ao comprimento da raiz axial, nota que os níveis de água utilizados quanto à evapotranspiração potencial calculada (50, 100 e 150%) influenciaram diretamente nos resultados. Sendo assim, observou-se que em todos os tratamentos ocorreram diferenças significativas quanto aos níveis de água, visto que em 100%CO, 75%CO e 50%CO nas lâminas onde utilizou-se 50 e 100% de água, os resultados

foram semelhantes, porém, quando utilizou-se 150% da evapotranspiração, o sistema radicular apresentou-se inferior aos demais.

Para os tratamentos 25%CO, 100%TBAM e 100%TBSA, verificou-se que o sistema radicular demonstrou menor desenvolvimento quando comparado aos demais tratamentos, mesmo utilizando-se as lâminas de 50 e 100%, sendo assim, observa-se novamente que a quantidade de matéria orgânica influencia diretamente no desenvolvimento do sistema radicular. Em função disso, observa-se que o lodo de esgoto, estruturado com resíduos provenientes de poda de árvores, apresenta excelentes resultados em diversas pesquisas realizadas com espécies florestais nativas, apresentando efeitos benéficos quanto utilizados como substrato (FAUSTINO et al., 2005). O desenvolvimento do sistema radicular relaciona-se à constituição do substrato, sendo assim, o lodo de esgoto por proporcionar o aumento da densidade e consequentemente do percentual dos microporos, aumenta a retenção de água, sendo assim, a poda de árvore, quando associada ao lodo de esgoto, possui o potencial de elevar a macroporosidade da mistura, reduzindo a retenção de água e proporcionando condições ao pleno desenvolvimento do sistema radicular (GONÇALVES et al., 2000).

Tais dados obtidos quanto ao desenvolvimento do sistema radicular, demonstram que variações na composição da mistura para o desenvolvimento das plantas podem restringir, ou até mesmo impedir o desenvolvimento das mesmas, dificultando a acessibilidade da coifa no perfil do solo (TAVARES FILHO et al., 1999). No que se refere à lâmina de 50% da evapotranspiração, vale ressaltar que o déficit hídrico pode apresentar um impacto negativo durante o crescimento e desenvolvimento de uma determinada planta, porém, o que pode explicar o aumento em comprimento da maior raiz em sistemas onde ocorre a falta de água é a necessidade da planta em intensificar a busca pelo recurso hídrico. De acordo com Kelling (1995), o efeito do déficit sobre uma determinada espécie vegetal vincula-se ao período de ocorrência, sendo assim, o desenvolvimento de mecanismos de adaptação é influenciado por diversos fatores (GRANT, 1992). O contato das raízes com o solo é maximizado quanto se observa o déficit hídrico, estimulando a expansão do sistema radicular às regiões mais profundas e úmidas do solo, sendo assim, tal expansão, caracterizada no presente

estudo, é explicada pela menor disponibilidade de água nos tratamentos onde foram utilizados apenas 50% da evapotranspiração potencial calculada (HOOGENBOMM et al., 1987).

Quanto às avaliações referentes à massa da matéria fresca da parte aérea, do sistema radicular e total, os dados apresentam-se descritos na Tabela 32.

Tabela 32. Dados referentes às avaliações da massa da matéria fresca da parte aérea (MFA), massa da matéria fresca do sistema radicular (MFR) e massa da matéria fresca total (MFT).

Irrigação (%)		MFA (g)	MFR (g)	MFT (g)
100%TBAM	50	43,3 c d	19,2 c d	62,5 c d
	100	67,1 b	29,1 a b	96,2 b
	150	67,3 b	24,3 b	91,6 b
100%TBSA	50	43,1 c d	19,6 c d	62,7 c d
	100	58,3 b c	26,3 b	84,6 b c
	150	56,1 c	22,1 c	78,2 c
25%CO	50	59,1 b c	20,3 c	79,4 c
	100	67,4 b	29,0 a b	96,4 b
	150	68,2 b	25,4 b	93,6 b
50%CO	50	60,3 b c	24,3 b	84,6 b c
	100	77,8 a	33,6 a	111,4 a
	150	78,9 a	27,4 b	106,3 a b
75%CO	50	61,0 b c	27,1 b	88,1 b
	100	79,2 a	34,3 a	113,5 a
	150	79,0 a	29,1 a b	108,1 a b
100%CO	50	68,0 b	26,2 b	94,2 b
	100	82,9 a	35,1 a	118,0 a
	150	83,1 a	33,2 a	116,3 a

* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

Os dados referentes à avaliação da massa da matéria fresca da planta, demonstram algumas variações, tais como as verificadas no sistema radicular, que mesmo apresentando diferenças significativas para os tratamentos 100%CO, 75%CO e 50%CO onde foram utilizadas lâminas de água de 50%, o que estimula o aumento da raiz para as regiões mais profundas do solo em busca da umidade (HOOGENBOMM et al., 1987), não apresentaram massa da matéria fresca relevante, conforme descrito na Tabela 32, visto que os mesmos tratamentos sob as mesmas condições de disponibilidade hídrica, não apresentaram os resultados satisfatórios. Quanto às lâminas de 100 e 150% da evapotranspiração calculada, observou-se que não houveram diferenças significativas a 5% de probabilidade para o teste de Tukey no tratamento 100%CO quanto à matéria fresca do sistema radicular, o que pode ter sido influenciado pela presença da matéria orgânica, bem como pela disponibilidade de água suficiente durante a germinação e desenvolvimento do vegetal. Os demais tratamentos apresentaram dados inferiores quanto à variável MFR, principalmente em 100%TBSA e 100%TBAM, irrigados a 50% da evapotranspiração.

No que se refere à avaliação da matéria fresca da parte aérea, dados significativos foram observados nos tratamentos 100%CO, 75%CO e 50%CO em lâminas de água de 100 e 150% da evapotranspiração potencial calculada, porém, em lâminas de 50%, observou-se dados inferiores para a produção de matéria fresca aérea. No tratamento 25%CO, foram verificados dados inferiores, mesmo onde a irrigação foi calculada a 100 e 150% da evapotranspiração. Em 100%TBSA e 100%TBAM, verificou-se a menor produção de matéria fresca da parte aérea quando utilizou-se 50% da lâmina de água, sendo assim, observou-se que a massa da matéria fresca total mostrou-se significativa para os tratamentos 100%CO, 75%CO e 50%CO em lâminas de 100% da evapotranspiração, seguida pelos demais tratamentos.

A partir da obtenção da massa da matéria fresca foram realizados os procedimentos para a avaliação da matéria seca do sistema radicular, da parte aérea, bem como a matéria seca total das plantas coletadas, conforme dados apresentados na Tabela 33.

Tabela 33. Dados referentes às avaliações da massa da matéria seca da parte aérea (MSA), massa da matéria seca do sistema radicular (MSR) e massa da matéria seca total (MST).

Irrigação (%)		MSA	MSR	MST
		(g)	(g)	(g)
100%TBAM	50	5,7 b	12,9 b	18,6 b
	100	5,8 b	12,7 b	18,5 b
	150	3,6 c d	10,0 c	13,6 c
100%TBSA	50	5,8 b	12,9 b	18,7 b
	100	5,2 b	11,0 b c	16,2 b c
	150	3,3 d	8,4 c d	11,7 c d
25%CO	50	6,0 a	17,7 a	23,7 a
	100	5,8 b	12,8 b	18,6 b
	150	3,8 c d	10,2 c	14,0 c
50%CO	50	7,2 a	18,0 a	25,2 a
	100	6,7 a	17,7 a	24,4 a
	150	4,1 b c	11,8 b c	15,9 b c
75%CO	50	8,1 a	18,3 a	26,4 a
	100	6,8 a	17,0 a	23,8 a
	150	4,3 b c	11,8 b c	16,1 b c
100%CO	50	7,8 a	20,4 a	28,2 a
	100	7,0 a	18,7 a	24,7 a
	150	4,9 b	12,4 b	17,3 b

* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade

A partir dos dados obtidos, verificou-se que a água foi um fator fundamental para definir a quantidade de matéria seca das plantas, sendo assim, verificou-se que nos tratamentos 100%CO, 75%CO e 50%CO, a matéria seca para as lâminas de água de 50 e 100% da evapotranspiração potencial calculada não apresentaram diferenças significativas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, tanto para o sistema

radicular, quanto da parte aérea. Vale ressaltar que em todos os tratamentos observou-se as menores quantidades de matéria seca para as lâminas de 150% da evapotranspiração.

Vale ressaltar ainda, que o tratamento 25%CO apresentou-se significativo para os parâmetros avaliados quando irrigado na lâmina de 50% da evapotranspiração, seguido pelas lâminas de 100 e 150%. Dados inferiores foram observados nos tratamentos 100%TBSA e 100%TBAM, bem como quando utilizou-se lâmina calculada a 150% da evapotranspiração. Segundo resultados obtidos por Gomes et al. (2013), a produção de massa seca em tratamentos com concentrações de 60% de lodo de esgoto diferiram significativamente dos demais, quando comparados com tratamentos onde utilizou-se concentrações inferiores, o que demonstra que os dados obtidos apresentam-se de acordo com a literatura.

Faria et al. (2013), obtiveram valores referentes à massa seca da parte aérea, radicular e total para a espécie *Senna alata* superiores em tratamentos cujo as doses de lodo de esgoto foram maiores, conforme identificado nos tratamentos constituídos por 80% de lodo de esgoto. Tais dados demonstram que quanto maior a massa seca obtida pelos exemplares, maior é a rusticidade da planta e, conseqüentemente, a adaptabilidade em campo depois do replante.

Sendo assim, a partir da avaliação da matéria seca, observa-se que o aumento na disponibilidade hídrica para a referida planta diminuiu significativamente o peso da matéria seca da espécie *Croton urucurana*.

5. CONCLUSÃO

O sistema de tratamento de efluentes do município de Pirangi, SP, apresenta-se de acordo com o que preconiza a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.

O lodo de esgoto produzido pela ETE apresenta potencial agronômico, podendo ser utilizado para a produção de plantas.

A bioestabilização, promovida pela compostagem, mostrou-se eficiente para os resíduos provenientes da poda de árvores e da ETE, proporcionando condições para o uso agrícola.

As sementes da espécie *Croton urucurana* emergiram e as plantas desenvolveram-se em substratos cujas concentrações do composto orgânico foram de 50 a 100%, irrigadas com lâminas de 100% da evapotranspiração.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, M. C. **Recuperação do subsolo de um Latossolo Vermelho usado para terrapleno e fundação da usina hidrelétrica de Ilha Solteira - SP**. 2001. 83 f. Tese (Livre Docência em Solos) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 4, p. 617-625, 2007.

ANDRADE, A. P.; BRITO, C. C.; SILVA JUNIOR, J.; COCOZZA, F. D. M.; SILVA, M. A. V. Estabelecimento inicial de plântulas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão em diferentes substrato. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.37, n.4, p.737-745, 2013.

ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA/UFMG; Sanepar, v.6, 2001. 484 p.

ANDREOLI, C. V. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura e sua influência em características ambientais no agroecossistema**. 1999. 278f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Londrina, 1999.

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

BAATH, E. Effects of heavy metals in soil on microbial process and population (a review). **Water, Air, and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 47, n.3-4, p.335-379, 1989.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Avaliações de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutrófico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. **Sanare**, Curitiba, v. 17, n. 17, p. 94-101, 2002.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.9-26.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

BETTIOL, W. Effect of sewage sludge on the incidence of corn stalk rot caused by *Fusarium*. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 30, n. 1, p. 16-22. 2004.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 829-834, 2002.

BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados do solo após aplicação de biossólido: I - Fracionamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 543-555, 2004.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993. 764 p.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Principais tipos e componentes de substratos para produção de mudas de espécies florestais. In: CALDEIRA, M. V. W. et al. (Ed.). **Contexto e perspectivas da área florestal no Brasil**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. p. 51-100.

CAMPOS, F. S; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 1389-1397, 2008.

CARDOSO, M. O. Métodos para quantificação da biomassa microbiana do solo. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 25, n. 1, p. 1-12, 2004.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, Lawrence, v.22, p.361-80,1977.

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In: REES, B. C.; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A. (Ed.). **Sustainable management of soil organic**. Wallingford: CAB International, 2001. p. 9-22.

CEOLATO, L. C. **Lodo de esgoto líquido na disponibilidade de nutrientes e alterações dos atributos químicos de um Argissolo**. 2007. 45 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2007.

CETESB - **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326p.

CHANG, A. C.; HINESLY, T. D.; BATES, T. E.; DONER, H. E.; DOWDY, R. H.; RYAN, J. A. Effects of long term sludge application on accumulation of trace elements by crops. In: PAGE, A. L.; LOGAN, T. J.; RYAN, J. A. (Ed.). **Land application of sludge: food chain implications**. Chelsea: Lewis Publishers, 1987. cap.4, p. 53-66.

CETESB- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Guia Nacional de Coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Resolução n. 274, de 29 de novembro de 2000. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 jan. 2001; Seção 1, p. 70-71. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=272>>. Acesso em: 24 abr. 2014.

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.357, de 25 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Brasília, 2005.

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 maio 2011; Seção 92, p. 89. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 24 abr. 2014.

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, e no art. 3º da Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008. Resolução n. 410, de 04 de maio de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 05 maio 2009; Seção 83, p. 106. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=603>>. Acesso em: 24 abr. 2014.

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente. Regulamentação do uso agrícola de lodo de esgoto. Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 ago. 2006; Seção 1, p. 141-146. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>>. Acesso em: 18 jul. 2011.

CORDEIRO, I. **A família Euphorbiaceae na Serra do Cipó, MG, Brasil**. 1985. 261f. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

CORDEIRO, J. S. Processamento de lodos de Estação de Tratamento de Água (ETA). In: ANDREOLI, C.V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento**: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RiMa / ABES / PROSAB, 2001. p. 121 – 142.

COREY, R. B.; KING, L. D.; LUE-HING, C.; FANNING, D. S.; STREET, J. J.; WALKER, J. M. Effects of sludge properties on accumulation of trace elements by crops. In: PAGE, A. L.; LOGAN, T. J.; RYAN, J. A. (Ed.). **Land application of sludge**: food chain implications. Chelsea: Lewis Publishers, 1987. cap.3, p. 25-51.

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

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, p.291-298, 2007.

DE-POLLI, H.; GUERRA, J. G. M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 389-412.

DEXTER, A. R.; YOUNGS, I. M. Soil physic toward 2000. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 24, n.2 , p. 101-106, 1992.

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.

DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAN, J. W.; JORDAN, C.; SZOTT, L. VANCE, E. Soil organic matter as a source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii Press, 1989. p. 33-67.

EPA,- United States Environmental Protection Agency. **Environmental pollution control alternatives: municipal wastewater**. Cincinatti: Technology Transfer, 1979.79 p.
EPSTEIN, E. The science of composting. Lancaster: Technomic Publishing Company, 1997. 225p.

FAO. "Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements". In:---
---**Irrigation and drainage**. Roma, 1988. (Paper, 56).

FAO. **Fisheries department, state of word aquaculture**. Roma: FAO, 2006. (Fisheries Technical Paper, 500).

FARIA, J. C. T.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LACERDA, L. C.; GONÇALVES, E. O. Substratos à base de lodo de esgoto na produção de mudas de *Senna alata*. **Comunicata Scientiae**, Piauí, v.4, n.4, p.342-351, 2013.

FAUSTINO, R., KATO, M. T., FLORÊNCIO, L., GAVAZZA, S. 2005. Lodo de esgoto como substrato na produção de *Senna siamea* Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p.278-282, 2005

FERNANDES, F.; ANDRAUS, S.; ANDREOLI, C. V.; BONNET, B. J. C. CANTO, L. A.; MEDEIROS, M. L. B. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE-Belém com vista a seu uso agrícola. **Sanare- Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v.5, n.5, p.46-58, 1996.

FERNANDES, F.; ANDREOLI, C. V. ; DOMASZAK, S. C. Caracterização preliminar dos principais tipos de lodo de esgoto do Paraná para um programa de reciclagem agrícola. **Sanare- Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v.6, n.6, p. 15-21, 1996.

FERNANDES, F.; VIEL, M.; SAYAG, D.; ANDRÉ, L. Microbial break down of fats through invessel co-composting of agricultural and urban wastes. **Biological Wastes**, Barking, n.26, p.33-48, 1988.

FERNANDES, S. A. P.; BETTIOL, W.; CERRI, C. C.; CAMARGO, P. Sewage sludge effects on gas fluxes at the soil-atmosphere interface, on soil $\delta^{13}\text{C}$ and on total soil carbon and nitrogen. **Geoderma**, Amsterdam, v.125, p.49-57, 2005.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 515-524, 1999.

FONSECA, E. P.; VALERI, S. V.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.26, n.4, p.515-523, 2002.

FREDDI, O. S.; CARVALHO, M. P.; VERONESI JÚNIOR, V.; CARVALHO, G. J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 113-121, 2006.

FRENKEL, H.; GOERTZEN, J. O.; RHOADES, J. D. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 42, p. 32-39, 1978.

GEISLER, M. Composting biosolids and food wastes. In: COMPOST 2000 DOWNUNDER CONFERENCE, 2000, Melbourne. **Proceedings...** Melbourne: DMP Conference Organisers, 2000. 9p.

GOLUEKE, C. G. **Composting** - a study of the processes and its principles. Emmaus: Rodale Press Inc Book Division, 1975. 235p.

GOMES, D. R.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES, E. O.; TRAZZI, P. A. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, Lavras, v.19, n.1, p.132-131, 2013.

GONÇALVES, J. L. M., SANTERELLI, E. G., NETO, S. P. M., MANARA, M. P. 2000. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M., BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000. p. 309- 350.

GOOGLE EARTH. [FCAV/UNESP]: 781651.34 m E 7648836.88 m S elev 581 m. Altitude do ponto de visão 1,25 km. 17 fev 2014. Jaboticabal: FCAV, UNESP, 2014.

GRANT, R. F. Interaction between carbon dioxide and water deficits affecting canopy photosynthesis: simulation and testing. **Crop Science**, Madison, v.32, p.1322-1328, 1992.

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

GUEDES, M. C. **Ciclegem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre Latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. 2005. 154 f. Tese (Doutorado)- Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

HAY, J. C. Desinfection of sewage sludge by windrow composting. In: DESINFECTION OF WASTEWATER EFFLUENTS AND SLUDGES CONFERENCE, 1984, Miami. **Proceedings...** Miami: University of Miami, 1984.

HOOGENBOOM, G.; HUCK, M. G.; PETERSON C. M. Root growth rate of soybean as affected by drought stress. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, p.697-614, 1987.

HSU, J. H.; LO, S. L. Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of pig manure. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 104, n. 2, p. 189-196, 1999.

INGARAMO, O. E. Indicadores físicos de la degradación del suelo. 2003. 298 f. Tesis (Doctoral en Edafologia) – Facultad de Ciencias, Universidade de Coruña, A Coruña, 2003.

IBGE- Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Censo demográfico 2010**. São Paulo, 2010. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=353900>>. Acesso em: 21 fev. 2014.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, n. 1, p. 4-10, 1997.

KELLING, C. R. S. **Efeito da disponibilidade de água no solo sobre os componentes do balanço hídrico e o rendimento do feijoeiro**. 1995. 91f Dissertação (Mestrado)-Santa Universidade Federal de Santa Maria, 1995.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: AC, 1985. 492p.

KUTER, G. A. (Coord.). Biosolids composting . **Water Environmental Federation**, Alexandria, VA, 187 p., 1995.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Organização dos Estados Americanos. Programa Regional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1983. 174p. (Série de Biologia. Monografia, 24).

LARA, A. I.; ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. Avaliação dos impactos ambientais e monitoramento da disposição final do lodo. In: ANDREOLI, C. V., VON SPERLING, M.,

FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG; AS – NEPAR, 2001. cap. 11, 484 p.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A., (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p. 37-51. (Special, 35)

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 821-832, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010005000006>.

LEONARD, P.; McKINNEY, B. Biosolids application to forests – Implementation and operations. In: THE FOREST ALTERNATIVE. PRINCIPLES AND PRACTICE OF RESIDUALS USE. INTERNATIONAL SYMPOSIUM IN UNIVERSITY OF WASHINGTON CAMPUS, 1997, Seattle. **Proceedings...**

LOGAN, T. J.; LINDSAY, B. J.; GOINS, L. E.; RYAN, J. A. Field assessment of sludge metal bioavailability to crops: sludge rate response. **Journal of Environmental Quality**, Madison, WI, v. 26, n. 2, p. 534-550, 1997.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 373p.

LUCENA, A. M. A.; COSTA, F. X.; SILVA, H.; GUERRA, H. O. C. G. Germinação de essências florestais em substratos fertilizados com matéria orgânica. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, João Pessoa, v. 4, n. 2, 2004

LUDUVICE, M. Experiência da companhia de saneamento do distrito federal na reciclagem agrícola de biossólido. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap. 5, p.153-162.

MAIA, C. M. B. F. Uso da casca de pinus e lodo biológico como substrato para a produção de mudas de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 39, n.1, p. 81- 92, 1999.

MALINA, J. F. Tratamento e destino final do lodo. In: SEMINÁRIO DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA, 2., 1993, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Brasileira De Engenharia Sanitária E Ambiental; Water Environment Federation, 1993. p.1-150.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto n. 4.954, de 14 de Janeiro de 2004. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 10 dez. 2004.

MARCHIORI JUNIOR, M.; MELO, W. J. Carbono, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática em um solo sob mata natural, pastagem e cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 257-263, 1999.

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

MASS, K. D. B. **Biossólido como substrato na produção de mudas de timburi**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais)- Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

McBRIDE, M. B. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective? **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 24, n. 1, p. 5-18, 1995.

MELLONI, R. Quantificação microbiana da qualidade do solo. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S., (Ed.). **Microbiota do solo e qualidade ambiental**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2007. p.193-218.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 01-110, 2008.

MELO, V. P.; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z. M.; CENTURION, J. F.; MELO, W. J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 67-72, 2004.

MELO, V. P. **Carbono, nitrogênio e atividade biológica em latossolos cultivados com milho, no sexto ano de aplicação de lodo de esgoto**. 2006. 93 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

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

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Aprova normas e o padrão de Potabilidade da Água destinada ao consumo humano. Portaria nº 36/MS/GM, de 19 de janeiro de 1990. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 23 jan. 1990. Disponível em: <http://189.28.128.100/dab/docs/legislacao/portaria36_19_01_90.pdf> Acesso em: 24 abr. 2014.

MIYASAKA, S.; CAMARGO, O. A.; CAVALERI, P.A.. **Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no estado de São Paulo**. Campinas: Fundacao Cargil, 1984. 138p.

MORAL, R.; MORENO-CASELLES, J.; PERREZ-MURCIA, M. D.; PEREZ-ESPINOSA, A.; RUFETE, B.; PAREDES, C. Characterization of the organic matter pool in manures. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 96, n. 2, p. 153-158, 2005.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B.. ALTERAÇÕES QUÍMICAS EM SOLOS E CRESCIMENTO DE MILHO E FEIJOEIRO APÓS APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO(1). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, p.385-392, 2004

PAOLI, A. A. S.; FREITAS, L.; BARBOSA, J. M. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DOS FRUTOS, SEMENTES E PLÂNTULAS DE *Croton floribundus* SPRENG. E DE *Croton urucurana* BAILL. (EUPHORBIACEAE). **Revista Brasileira de Sementes**, Viçosa, MG, v. 17, n.1, p. 57-68, 1995

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração**. São Paulo: FEALQ, 1997. 183p.

PIANA, M. G.; MILLER, P. R. M.; KOING-JUNIOR, G. Higienização de lodo de esgoto por compostagem termofílica. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 24, n. 1, 2011.

PONTES, W. L. **Mineralização de um bio sólido industrial no solo e efeito desse na biomassa e atividade microbiana**. 2002. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

PROSAB. **Manual prático para a compostagem de bio sólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 84p.

PROSAB. **Nutrientes de esgoto sanitário**: utilização e remoção. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 428 p.

PROSAB. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 427 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Piracicaba: Manole, 1990. 188 p.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 12, p. 211-216, 1988.

RENGASAMY, P. Clay dispersion in relation to changes in the electrolyte composition of dialysed red-brown earths. **Journal of Soil Science**, Navi Mumbai, v. 34, n. 4, p. 723-732, 1983.

SANTOS, A. P. R. **Efeito da irrigação com efluente de esgoto tratado, rico em sódio, em propriedades químicas e físicas de um argissolo vermelho distrófico cultivado com capim-Tifton 85**. 2004 79f.. Dissertação (Mestrado)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento**: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2011. Brasília, DF: MCIDADES, SNSA, 2013. 432 p.

SILVA, F. C. da; BERTON, R. S.; CHITOLINA, J. C.; BALESTEIRO, S. D. **Uso agrícola do composto de lixo no Estado de São Paulo: recomendações técnicas**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2002. (Circular Técnica).

SILVA, G. G.; NAVAL, L. P.; DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. Tratamento de água de reservatórios por dupla filtração, oxidação e adsorção em carvão ativado granular. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v.17 n.1, p.71-80, jan./mar. 2012.

SILVA, S. M .C . P.; FERNANDES, F. Co-compostagem de biossólidos , lodo de tratamento de água e resíduos de podas de árvores. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 26., 1998, Lima. **Anais...**p. 51.

SILVÉRIO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto, da matéria orgânica do lixo urbano e de resíduos industriais. **O Agrônomo**, Campinas, v.56, n. 1, p. 5-8, 2004.

SMITH, C. T.; CARNUS, J. M. Biosolids – planning and design. The forest alternative. Principles and practice of residuals use. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE USE OF RESIDUALS AS SOIL AMENDMENTS IN FOREST ECOSYSTEMS, 1997, Seattle,. **Proceedings...**Seattle: University of Washington, 1997. p.45-52.

SNIS- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnósticos dos serviços de água e esgoto 2010**. Brasília: Ministério das Cidades, 2010.

SOUZA, Z. M.; BEUTLER, A. N.; MELO, V. P.; MELO, W. J. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em Latossolos adubados por cinco anos com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 29, p. 117-123, 2005.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; BALBINO, L. C.; NEVES, C. S. V. J. Método do Perfil Cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, p.393-399, 1999.

TEIXEIRA PINTO, M. T. Higienização de lodos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Lodo de esgotos. Tratamento e disposição final**. Curitiba: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, SANEPAR, 2001. v.6, 484 p.

TORSVIK, V.; ØVREÅS, L. Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems. *Current Opinion in Microbiology*, London, v. 5, n. 3, p. 240–245, 2002.

TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; AZEVEDO FILHO, J. A. de. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. atual. Campinas: Instituto Agrônomo; Fundação IAC, 1997. (Boletim Técnico, 100).

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 223-230, 2008.

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

USEPA - United States Environmental Protection Agency. A guide to the biosolids risk assessments for the EPA Part 503 rule, 1995. Washington: Office of Wastewater Management, EPA/832-B-93-005, 1995. 195p. Mimeografado.

VAL-MORAES, S. P. **Impacto do lodo de esgoto na comunidade bacteriana do solo: avaliação por microarranjo de DNA**. 2008. 171f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agropecuária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos**: um manual para regiões de clima quente. Campina Grande: Epgraf, 1994. 240p.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p. (Princípio do tratamento biológico de águas residuárias, 1).

VON SPERLING, M.; JORDÃO, E. P.; KATO, M. T.; ALEM SOBRINHO, P.; BASTOS, R. K. X.; PIVELI, R. Lagoas de estabilização. In: GONÇALVES, R.F. (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, 2003. cap. 7, p.277-336.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. In: VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed. rev. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 2002. v.3, 196 p.

WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION: O & M of Trickling Filters, RBCs, and Related Processes, Manual of Practice OM-10, Water Pollution Control Federation, Alexandria, VA, 1988.

WENDLING, I.; GATTO, A. **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil Editora, 2002. 166 p.

WENDLING, I. **Planejamento e instalação de viveiros**. Viçosa, MG : Aprenda Fácil, 2001. 122p.

WHITE, J. W.; MASTALERZ, J. W. Soil moisture as related to "Container Capacity". **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Beltsville, v.89, n.1, p.758-765, 1966.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factor controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 117-161, 1997.