

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**HIGIENIZAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE  
ESGOTO POR COMPOSTAGEM TERMOFÍLICA**

ACÂDEMICO: MATHEUS GARCIA PIANA

Florianópolis, novembro de 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**HIGIENIZAÇÃO DE LODO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE  
ESGOTO POR COMPOSTAGEM TERMOFÍLICA**

ACÂDEMICO: MATHEUS GARCIA PIANA

Professor orientador: Paul Richard Momsen Miller, Ph.D.

Supervisor: Eng. Agrônomo Gerson Koning Jr.

Florianópolis, novembro de 2009.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, em especial ao meu pai Dr. Zenório Piana e a minha mãe Arlete Maria Garcia Piana.

Ao professor Rick Miller pela experiência passada durante os 3 anos em que estagiei no Laboratório de Biotecnologia Neolítica e pela orientação no trabalho e ao Eng. Agrônomo Gerson Koning Jr. pela amizade e pela supervisão no estágio de conclusão de curso.

Aos verdadeiros amigos, a minha namorada Ludmila Machado, a todos bolsistas do Laboratório de Biotecnologia Neolítica e a Deus.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	ii
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE GRÁFICOS.....	vii
LISTA DE FOTOS.....	viii
RESUMO.....	ix
1. DELIMITAÇÃO.....	2
2. JUSTIFICATIVA.....	3
3. OBJETIVO.....	4
3.1 Objetivo Geral.....	4
3.2 Objetivo específico.....	4
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
4.1 Saúde da população e qualidade da água.....	5
4.2 Lodo de esgoto.....	6
4.3 Alternativas para disposição final do lodo.....	8
4.3.1 Incineração.....	8
4.3.2 Disposição oceânica.....	8
4.3.3 Disposição superficial.....	9
4.3.4 Aterro sanitário.....	9
4.3.5. Uso agrícola.....	10
4.4 Patógenos presentes no lodo.....	11
4.5 Nutrientes.....	13
4.6 Metais pesados.....	13
4.7 Compostagem.....	14
4.7.1 Eficiência na redução e eliminação dos microorganismos patogênicos..	17

4.7.2 Eficiência relacionada a temperatura.....	17
5. METODOLOGIA.....	20
5.1 Levantamento de dados do lodo de esgoto da Estação Insular da CASAN.....	20
5.2 Teste de matéria seca do lodo de esgoto.....	20
5.3 Lodo de esgoto (material principal).....	20
5.4 Leiras experimentais.....	22
5.4.1 Data e local do trabalho.....	22
5.4.2 Materiais utilizados na montagem das leiras de compostagem.....	22
5.5 Descrição da matéria prima utilizada na montagem do experimento.....	23
5.5.1 Resíduos orgânicos (material auxiliar).....	23
5.5.2 Material inoculante.....	24
5.5.3 Serragem.....	25
5.5.4 Palhas e folhas.....	26
5.6 Montagem das leiras.....	26
5.6.1 Laboratório de Biotecnologia Neolítica da UFSC.....	26
5.6.2 COMCAP.....	28
5.7 Monitoramento do experimento- coleta de dados.....	30
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO).....	31
6.1 Lodo de esgoto da CASAN).....	31
6.2 Características da patogenicidade do lodo).....	32
6.2.1 Pesquisa de estreptococos fecais).....	32
6.2.2 Avaliação da presença de ovos de helmintos parasitas humanos em duas amostras de lodo sanitário).....	32
6.2.3 Pesquisa de <i>Salmonella spp</i> ).....	32

6.3 Metais pesados).....	33
6.3.1 Relação entre metais pesados e aplicação no solo.....	35
6.4 Teste de matéria seca).....	36
6.5 Leira do Laboratório de Biotecnologia da UFSC).....	36
6.6 Leira COMCAP).....	40
6.7 Avaliação entre tempo e temperatura na redução de patógenos.....	42
6.8 Diferenças entre as leiras UFSC e COMCAP).....	45
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS).....	48
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Concentração de patógenos em bio sólidos produzidos em diversas ETEs do Brasil.....	12
<b>Tabela 2</b> – Ponto de morte térmica de patógenos que causam doenças no homem.....	19
<b>Tabela 3</b> - Temperatura e tempo necessários para a destruição de patógenos presentes no lodo de esgoto.....	19
<b>Tabela 4</b> - Análise do extrato lixiviado.....	34
<b>Tabela 5</b> - Análise do extrato solubilizado.....	35
<b>Tabela 6</b> – Quantidades de metais pesados que podem ser aplicados no solo conforme a legislação de diversos países e do Estado do Rio Grande do Sul..	36
<b>Tabela 7</b> – Peso bruto, peso seco e teor de matéria seca presente nas amostras do lodo de esgoto da CASAN.....	37

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Médias das temperaturas em três camadas da leira de compostagem da UFSC.....	38
<b>Gráfico 2</b> - Médias das temperaturas na camada central da leira de compostagem da UFSC.....	38
<b>Gráfico 3</b> - Médias das temperaturas do lodo de esgoto na parte de borda e no centro da leira.....	39
<b>Gráfico 4</b> - Comportamento geral da leira de compostagem UFSC.....	40
<b>Gráfico 5</b> - Médias das temperaturas obtidas no processo de compostagem..	41
<b>Gráfico 6</b> - Médias de temperatura do lodo de esgoto no processo de compostagem em dois tratamentos.....	42
<b>Gráfico 7</b> - Comportamento geral da leira de compostagem COMCAP.....	43
<b>Gráfico 8</b> - Curvas mostrando a temperatura por regime de tempo necessário para inativação do número desejado de logs de bacteriófagos.....	45



## LISTA DE FOTOS

<b>Foto 1</b> – Lodo de esgoto da Estação de Tratamento da CASAN.....	21
<b>Foto 2</b> - Máquina usada no processo de desidratação do lodo de esgoto....	22
<b>Foto 3</b> - Caminhão tanque usado para o transporte do lodo até o aterro sanitário.....	22
<b>Foto 4</b> - Resíduos orgânicos sendo depositados sobre a leira de compostagem da COMCAP.....	24
<b>Foto 5</b> - Bombonas plásticas com capacidade de 50L para armazenamento dos resíduos orgânicos.....	25
<b>Foto 6</b> - Composto orgânico utilizado como inoculante sendo colocado sobre os resíduos orgânicos na leira de compostagem na COMCAP.....	26
<b>Foto 7</b> - Lodo de esgoto depositado sobre a leira de compostagem da UFSC.	29
<b>Foto 8</b> - Dois tratamentos sendo utilizados para a deposição do lodo de esgoto sobre a leira de compostagem na COMCAP.....	30
<b>Foto 9</b> - Leira de compostagem da COMCAP sendo manejada com o auxílio de máquina escavadeira.....	30
<b>Foto 10</b> - Termômetro sendo utilizado para a coleta dos dados na leira de compostagem.....	32
<b>Foto 11</b> - Leiras em atividade no Laboratório de Biotecnologia Neolítica.....	47
<b>Foto 12</b> - Leira de compostagem da COMCAP em fase de maturação.....	47

## RESUMO

Durante o estágio foi realizado um experimento no Laboratório de Biotecnologia da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) e no pátio de compostagem da COMCAP (Companhia de Melhoramento da Capital) com a finalidade de realizar a construção de leiras de compostagem com resíduos orgânicos urbanos e lodo de esgoto. O experimento constou com duas leiras de compostagem. Inicialmente foram feitas leiras com resíduos orgânicos até atingirem temperaturas elevadas consideradas ideais para o processo e sobre a camada de resíduos orgânicos foi depositado o lodo de esgoto proveniente da Estação Insular da CASAN de Florianópolis. Ao passar pelo processo de compostagem o lodo atingiu temperaturas acima de 50°C na COMCAP e acima de 60°C na UFSC, comprovando eficiência na obtenção de temperaturas necessárias para higienização do lodo de esgoto através da destruição dos patógenos presentes no mesmo.

## 1. DELIMITAÇÃO

As Estações de tratamento de águas e esgotos (ETES) em seu processo final acabam por gerar uma crescente quantidade do subproduto denominado biossólido ou lodo de esgoto. Este resíduo exige uma alternativa para destinação final segura em termos de saúde pública ambientalmente aceitável.

A maioria das ETEs não possui uma forma de destino adequada para tais resíduos. Na cidade de Florianópolis a CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento), é a empresa responsável pelo processo de saneamento, e destina o lodo de esgoto gerado para aterros sanitários, onde o resíduo é simplesmente descartado, não havendo sua reutilização.

Dentre as alternativas adequadas para a destinação do lodo de esgoto a reciclagem agrícola é a mais promissora, tanto no aspecto ambiental quanto no econômico, podendo transformar um rejeito em um ótimo insumo para a agricultura.

Através do processo de compostagem, no qual os resíduos são submetidos à decomposição aeróbia da matéria orgânica gerando temperaturas acima de 55°C, é possível reciclar o lodo de esgoto, gerando um material estável e livre de patógenos que constituirá um composto orgânico de alta qualidade para fins agrícolas.

Neste trabalho será realizado um experimento que visa à utilização do lodo de esgoto proveniente da Estação Insular da CASAN em associação com resíduos orgânicos urbanos para realização do processo de compostagem em leiras estáticas termofílicas com aeração natural, analisando as temperaturas atingidas pelo processo, buscando a eliminação dos patógenos presentes no lodo para a posterior utilização na agricultura com o composto orgânico gerado.

## 2. JUSTIFICATIVA

As questões ambientais estão cada vez obtendo mais destaque, tanto em nível nacional, quanto mundial. Um dos grandes problemas é o destino inadequado dos resíduos. A produção de resíduos sólidos vem aumentando de forma gradativa, sendo necessário identificar formas adequadas para reciclagem desses materiais, reintroduzindo-os novamente ao ambiente de forma qualitativa.

O lodo de esgoto é um resíduo produzido durante o processo de tratamento de águas residuárias. A produção de lodo proveniente de esgoto cresce na medida em que o saneamento básico se torna universal, sendo necessário buscar soluções para o tratamento correto destes resíduos, e suas possíveis aplicações no ambiente.

Atualmente as formas usuais para destinação deste resíduo são os aterros sanitários, incineração, oceano, assim como o possível uso agrícola. Porém para este subproduto ser utilizado na agricultura, é necessário que o mesmo apresente características adequadas, vindo a ser empregado como condicionador de solo, disponibilizando nutrientes as plantas, transformando um problema de enorme expressão em uma ótima solução (BETTIOL & CAMARGO, 2000).

O uso do lodo como forma de adubação para a agricultura, pode vir a contaminar o solo com patógenos ou metais pesados, além da possível atração de vetores e de doenças, assim como a produção de odores desagradáveis. O teor de metais pesados e os patógenos presentes no lodo de esgoto são os maiores obstáculos quanto a sua utilização para fins agrícolas (STENTIFORD, 1993 citado por GOUVÊA & PEREIRA NETO, 1997).

Uma possível solução é utilizar o lodo de esgoto em processos de compostagem termofílica. Neste processo ocorre a decomposição biológica e estabilização de substratos orgânicos, sob condições que permitem o desenvolvimento de temperaturas termofílicas como resultado do calor produzido biologicamente, para produzir um produto final que é estável, livre de patógenos e pode ser benéficamente aplicado na terra (HAUG, 1993 citado por INACIO & MILLER, 2009).

O processo de compostagem é uma solução adequada para o problema do lodo, sendo uma opção viável, apresentando muitos benefícios tanto para o ponto ambiental como em fins econômicos. A partir do mesmo é possível obter um produto final denominado composto orgânico com alta qualidade, podendo vir a ser usado na agricultura respeitando as normas sanitárias e ambientais (ANDREOLLI et al., 1994).

### 3. OBJETIVO

#### 3.1. Objetivo geral

Avaliar a decomposição do lodo de esgoto proveniente da CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento), através do processo de compostagem em leiras estáticas termofílicas com aeração natural.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Avaliar a composição do lodo de esgoto a partir de laudos existentes da CASAN;
- Medir as temperaturas atingidas no processo de compostagem;
- Comparar as temperaturas obtidas com as temperaturas mínimas para a eliminação de patógenos presentes no lodo;
- Comparar as diferenças entre os processos de compostagem nos pátios da UFSC e COMCAP.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. Saúde da população e a qualidade da água

Atualmente, devido ao descaso que vem ocorrendo nas últimas décadas por parte do homem em relação ao ambiente, os recursos naturais vêm se esgotando, gerando aumento na poluição, intensificado pelo crescente aumento da população em sua maioria de forma aglomerada em grandes centros urbanos. Existe a dificuldade de se implantar de modo aglomerado em um determinado lugar em meio a natureza uma população densa, que possua expressão harmônica e satisfatória em relação ao meio ambiente no que diz respeito à qualidade sanitária e estética do local (MONTEIRO, 2002).

Um aumento na geração per capita de resíduos sólidos tem sido observado, e pode ser associada ao intenso processo de industrialização, apontando o homem como um grande gerador de resíduos, sendo que os mesmos muitas vezes não possuem um destino correto, assim acarretando em grandes problemas ambientais.

A relação entre situações sanitárias precárias e problemas de saúde pública é conhecida há séculos. As civilizações antigas já se preocupavam com a coleta das águas servidas, sendo que em 3.750 a.C. já existem relatos da construção de galerias de esgoto em Nipur (Índia) e na Babilônia (AZEVEDO NETTO, 1984).

Diante de um sistema precário de saneamento em 1826 ocorreu uma terrível epidemia de cólera na Europa, atingindo grandes proporções na Inglaterra no ano de 1831, com 50 mil mortes (AZEVEDO NETTO, 1984). A partir do ano de 1840, comunidades da Europa começaram a desenvolver tecnologias para o tratamento de lixo e esgoto, diante do medo de novas epidemias, reduzindo assim drasticamente a mortalidade causada por doenças epidêmicas (JEWELL & SEABROOK, 1979 citado por ANDREOLI, 1997).

A partir do grande desenvolvimento das cidades outros países começaram a se preocupar com o tratamento dos esgotos, sendo que em 1887

foi construída a Estação Experimental Lawrence, em Massachusetts, nos EUA (METCALF & EDDY, 2003).

No Brasil apenas 35% da população possui coleta de esgoto, sendo que 75,5 milhões de pessoas não possuem acesso a estes serviços. Destes 35%, somente 10% do esgoto coletado sofre algum tipo de tratamento, e desta forma o que ocorre é o lançamento de 10 bilhões de litros de esgoto bruto nos rios brasileiros. Para os próximos anos a tendência é que a população continue aumentando e se não houver um tratamento adequado ocorrerá um agravamento deste problema (ANDREOLI et al., 1997). A falta de um saneamento adequado apresenta índices alarmantes no Brasil, que apresenta 65% das internações hospitalares conseqüentes de doenças de veiculação hídrica (DINIZ; ANJOS; TORRES et al., 1994 citado por ANDREOLI et al., 1997).

Pires (2006) afirma que a maioria das cidades brasileiras não apresenta estações de tratamentos para o esgoto. O destino dado a esses dejetos é praticamente um crime, onde o resíduo é lançado diretamente nas coleções hídricas, poluindo de forma desnecessária o ambiente. Tendo em vista esta problemática é necessária que inicialmente sejam feitas Estações de Tratamento de esgotos (ETEs) nas cidades, com a finalidade de captar as águas residuárias tratando-as corretamente e assim devolvendo de forma racional aos mananciais. O tratamento do esgoto é essencial para a saúde pública no meio urbano e está diretamente relacionado com a qualidade da água.

#### 4.2. Lodo de Esgoto

Diante da grande quantidade de resíduos produzidos pelos centros urbanos, na questão de águas, o lodo de esgotos é o resultado de parte do processo de recuperação dessas águas (CETESB, 1987).

O tratamento dos esgotos, que é um fator que contribui para evitar a poluição dos rios, resulta na produção de um lodo rico em matéria orgânica e nutrientes, chamado de lodo de esgoto ou biossólido (BETTIOL et al., 2000). Tsutiya (2001) confirma que através do controle de poluição das águas com o

tratamento correto dos esgotos surge uma segunda etapa que é a produção de um lodo gerado no tratamento da fase líquida.

O lodo orgânico é o principal subproduto do tratamento de esgotos, podendo conter qualquer produto que tenha sido utilizado em áreas de drenagem em estações de tratamento de esgotos (ETE) onde foi produzido (LUDUVICE et al., 1995). A constituição do lodo de esgoto é variável, sendo um resíduo sólido com alto teor de matéria orgânica, geralmente separado da fase líquida por processos de floculação ou decantação (METCALF & EDDY 2003). A produção de lodo proveniente de esgoto pode atingir valores muito altos, sendo necessário buscar soluções para o tratamento correto destes resíduos, e suas possíveis aplicações no ambiente.

Os esgotos urbano-industriais são considerados uma grande fonte poluidora do meio ambiente. É necessário o tratamento correto do subproduto denominado lodo de esgoto, que deve ser disposto de forma adequada, evitando possíveis problemas tanto para o ambiente como para a saúde pública. Porém a maioria dos projetos de tratamento de esgoto não prevê um destino final para o lodo produzido, sendo esta considerada uma etapa problemática dentro do processo operacional das estações de tratamento (BETTIOL et al., 2000). Andreoli et al.(2001), afirma que os projetos de estações de tratamento simplesmente ignoram a forma de destino desse material, que acaba se tornando uma situação gerenciada de forma emergencial por parte dos operadores, com altos custos financeiros e ambientais, comprometendo os benefícios de todo o sistema de coleta e tratamento de esgotos.

O destino final do lodo é uma atividade muito importante e complexa, sendo que geralmente extrapola os limites das estações de tratamentos exigindo a integração com outros setores da sociedade. Diante da legislação de vários países, assim como a brasileira, os problemas que podem vir a serem causados pelo destino inadequado são de responsabilidade dos produtores do resíduo, confirmada pela lei de crimes ambientais (Lei nº 9.605 de 12/02/1998). A maioria dos órgãos ambientais vem exigindo o detalhamento das alternativas para a disposição final no processo de licenciamento das ETES, o que demonstra um grande avanço na gestão ambiental (ANDREOLI et al., 2001).



Diante da crescente demanda da sociedade para manter e melhorar as condições ambientais é inevitável que sejam tomadas providências cabíveis em relação ao destino desses resíduos.

#### 4.3. Alternativas para disposição final do lodo

Segundo Andreoli et al.(2001) mais de 90% de todo lodo produzido no mundo tem sua disposição final por meio de dois processos principais que são a disposição em aterros sanitários e o uso agrícola. Outros métodos conhecidos são a de disposição oceânica, a disposição superficial e a incineração, sendo que estes não são mais utilizados na atualidade.

O condicionamento do lodo deve promover redução do potencial patogênico dos agentes presentes no material aumentando seu grau de estabilização, assim também reduzindo os problemas potenciais da geração de odor, da atração de vetores, além de riscos de recontaminação (EPA, 1994 citado por ANDREOLI et al., 1997).

Devem ser analisados não apenas os aspectos econômicos, mas principalmente os possíveis impactos ambientais para a definição de alternativas para disposição final do lodo de esgoto (ANDREOLI et al., 1997).

##### 4.3.1. Incineração

Este método utiliza a decomposição térmica via oxidação, tornando o resíduo menos volumoso, menos tóxico, ou convertendo-o em gases ou resíduos incombustíveis. Os sólidos voláteis do lodo são queimados na presença de oxigênio, transformando em dióxido de carbono e água. É uma alternativa utilizada nos Estados Unidos, Europa e Japão, porém no Canadá esta ocorrendo um processo de desativação dos incineradores, visto que a população tem se manifestado contra esta técnica, incentivando processos mais ecológicos (BETTIOL et al., 2000).

#### 4.3.2. Disposição oceânica

Esta disposição representa cerca de 6% dos biossólidos produzidos nos Estados Unidos e na Europa, sendo que atualmente vem sendo substituída pelo uso agrícola. A prática foi proibida nos Estados Unidos e desde o ano de 1992 não é mais utilizada (BETTIOL et al., 2000). Segundo Tsutiya (2001) provavelmente no futuro bem próximo não haverá mais a disposição oceânica de lodos.

#### 4.3.3. Disposição superficial

Esta técnica ocorre através do espalhamento do lodo em grandes áreas, com ou sem a incorporação, para que ocorra sua oxidação, porém existem problemas ambientais relacionados ao odor, presença de vetores, à lixiviação e a contaminação do lençol freático com elementos traço e nutrientes. Também necessita de grandes áreas com características determinadas localizadas em locais de fácil acesso próximas a centros urbanos (ANDREOLI et al., 1997). Tsutiya (2001) confirma que um sistema mal projetado trará problemas em contaminação de águas superficiais e subterrâneas, ar, podendo tornar o solo impróprio para usos futuros.

#### 4.3.4. Aterro sanitário

Os aterros sanitários dependem da localização em áreas próximas aos centros urbanos onde o lodo é produzido, sendo que o terreno deve ter características especiais de impermeabilização, de disponibilidade de argila, isolamento ambiental com referência a setores e condições geomorfológicas que não venham a interferir em áreas de fraturas em pontos de jusante da bacia hidrográfica onde está inserido. Após a desativação e o selamento, é comum a produção de gases nos aterros que deverão ser drenados de forma

adequada. Estas áreas usadas como aterros apresentarão serias restrições de uso após sua utilização (ANDREOLI et al., 1997).

No caso de um aterro ser mal projetado acarretará em poluição do ar, através da exalação de odores, fumaça, gases tóxicos ou material particulado; poluição das águas subterrâneas pela infiltração de líquidos percolados (BETTIOL et al., 2000).

De acordo com o Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de efeito Estufa no Brasil, elaborado pela CETESB (2006), as duas maiores fontes de produção de metano são os aterros sanitários e o tratamento anaeróbio de esgotos e águas sanitárias (DIAS, 2009). O metano está entre os gases que mais contribui para o aquecimento global, assim sendo responsável junto a outros gases pelo efeito estufa. A emissão do metano pode durar por até 40 anos após o fechamento do aterro sanitário (TEIXEIRA, 2009). Além da produção do gás metano, o processo de anaerobiose decorrente da decomposição da matéria orgânica sem o oxigênio, comum nos aterros sanitários acaba gerando vários outros poluentes (INACIO & MILLER, 2009).

Diante da limitação econômica e técnica de espaços destinados a disposição de resíduos sólidos, a Comunidade Econômica Européia tem incentivado a reciclagem, formulando uma diretiva adotada pelos países membros que proíbe a disposição de resíduos com possíveis aplicações de reciclagem nos aterros desde o ano de 2002, sendo esta medida estabelecida também nos Estados Unidos da América a partir de 2004 (BUTTENBENDER, 1999).

#### 4.3.5. Uso agrícola

A valorização agrícola de solos com a aplicação de lodos de ETEs devidamente tratados constitui uma forma de descarte ambientalmente adequada deste resíduo, sendo usado para recuperação de solos com possibilidades de retorno econômico positivo para a atividade agrícola. O material orgânico presente nesses resíduos aumenta a resistência dos solos à erosão, atuando como excelente fonte de nutrientes, principalmente de

nitrogênio e fósforo (Andreoli et al., 2001). Bettioli (2000) afirma que os biossólidos contêm matéria orgânica, macro e micronutrientes que exercem um papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo, melhorando a capacidade de armazenamento e de infiltração de água no solo, aumentando a resistência dos agregados e reduzindo a erosão.

Esta alternativa possui o grande benefício, pois transforma um resíduo em um insumo agrícola capaz de fornecer matéria orgânica e nutrientes ao solo, assim como reduz os efeitos adversos à saúde causados pela incineração, diminuindo a dependência de fertilizantes químicos, melhorando as condições para o balanço do CO<sub>2</sub> pelo incremento da matéria orgânica no solo (OUTWATER, 1994 citado por ANDREOLI, 1997). Porém Andreoli (1997) afirma que sua utilização pode trazer riscos relativos aos elementos traço, nitrogênio, agentes patogênicos e problemas de odor e atração de vetores.

O uso do lodo como forma de adubação para a agricultura, pode vir a contaminar o solo com patógenos ou metais pesados, além da possível atração de vetores, assim como a produção de odores desagradáveis (STENTIFORD, 1993 citado por GOUVÊA & PEREIRA NETO, 1997).

Diante do exposto, para a aplicação em áreas agrícolas, os biossólidos necessitam passar por processos de redução de patógenos e de atratividade de vetores, sendo a compostagem um tratamento adequado para esta finalidade (TSUTIYA et al., 2001).

A reciclagem do lodo de esgoto para sua futura utilização agrônômica é a forma mais adequada para um destino correto, contribuindo para a diminuição dos problemas ambientais, atuando como fertilizante e condicionador do solo (VAZ & GONÇALVES, 2002).

#### 4.4. Patógenos presentes no lodo

Nos esgotos sanitários são encontrados quatro grupos de organismos patogênicos: fungos, bactérias, vírus e parasitos. Estes microorganismos concentram-se no lodo de esgoto, sendo que a densidade de patógenos presentes no lodo é variável, estando diretamente relacionada com as

características da população e o tipo de tratamento do lodo (TSUTIYA et al., 2001).

Sabe-se que em sua constituição, o lodo de esgoto apresenta uma quantidade significativa de ovos de helmintos, sendo este um dos grandes problemas o uso deste material sem um tratamento adequado. A remoção destes ovos é apontada como um grande problema para o saneamento ambiental, sendo que a maioria dos tratamentos não consegue a remoção com total eficiência (Andreoli et al., 2001).

Os helmintos são considerados organismos patogênicos de alta resistência aos processos de sanitização, decorrentes das adaptações morfofisiológicas características desta espécie (Andreoli et al., 2001). De acordo com Pilotto (2004), a partir da sedimentação do material sólido em tanques sépticos para a remoção de matéria orgânica, acaba por diminuir a presença de organismos patogênicos dos esgotos, porém este processo também contribui em um ambiente favorável a sobrevivência dos helmintos.

**Tabela 1** - Concentração de patógenos em biossólidos produzidos em diversas ETEs do Brasil:

Concentração de patógenos

ETE	Coliformes fecais NMP/g	Salmonella sp NMP/4g	Helmintos Ovos viáveis/4g	Cistos de protozoários NMP/g
Barueri 1 (São Paulo/SP)	5,4	Ausente	1,25	Ausente
Barueri 2 (São Paulo)	475.000	36,5	Ausente	Ausente
Suzano (São Paulo)	< 3,0	Ausente	Presente em 25% das amostras	Ausente
Lavapés ( São José dos Campos/SP)	138	Ausente	Não disponível	Não disponível
Franca	760.000	3,1	1,4	0,2

(Franca/SP)				
Belém (Curitiba/PR)	864.000	Presentes em 17% das amostras	17,2	0,1
Brasília (Brasilia/DF)	1.000.000	Não disponível	16	Não disponível

Fonte: TSUTIYA, 2001.

#### 4.5. Nutrientes

A composição química do lodo de esgoto depende de sua origem e dos tratamentos de depuração às quais ele é submetido. Em geral, o lodo de esgoto é rico em N, o que significa que possuem alto potencial para serem utilizados como fertilizantes nitrogenados. Este N está presente em várias formas orgânicas e inorgânicas e nem todas elas são disponíveis para a nutrição da planta (VAZ & GONÇALVES, 2002).

Em geral o lodo de esgoto contem aproximadamente 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo e 0,4% de potássio, constituindo nutrientes essenciais e benéficos para o desenvolvimento dos vegetais. A análise da composição do lodo destaca o seu potencial para o uso na agricultura como condicionador das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, podendo até substituir em parte a calagem. Estes elementos presentes no lodo se encontram em grande parte na forma orgânica, sendo liberados ao solo gradativamente, por meio de processos oxidativos, aumentando a possibilidade de que estes nutrientes sejam absorvidos pelas plantas e diminuindo o risco de poluição ambiental (BETTIOL, 2000).

Tsutiya et al.(2001) confirma que os biossólidos possuem matéria orgânica, macro e micronutrientes que exercem um papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo.

#### 4.6. Metais pesados

Os metais pesados se encontram distribuídos por toda a natureza, e nos solos são originários da rocha de origem e de outras fontes adicionadas ao solo

como precipitação atmosférica, cinzas, calcário, fertilizantes químicos e adubos orgânicos (TSUTIYA et al., 2001).

O lodo de esgoto contém metais pesados originários da atividade industrial, através do recebimento dos esgotos sanitários nas estações de tratamento. Desta forma devem ser levadas em consideração as concentrações máximas de metais pesados nos bio sólidos, as concentrações máximas de metais em solos agrícolas e as cargas cumulativas máximas de metais em solos para a aplicação de bio sólidos (TSUTIYA et al., 2001).

Estes metais também estão presentes em outros fertilizantes e corretivos do solo como já foi evidenciado por Tsutiya et al.(2001), e apesar de serem considerados elementos não desejáveis, vários trabalhos de pesquisa já realizados em condições de solos afirmam que não há informação de toxicidade para os vegetais. Não há dúvidas de que através de um manejo adequado o lodo de esgoto constitui um excelente fertilizante orgânico (BETTIOL, 2000).

#### 4.7. Compostagem

A compostagem é um processo no qual os resíduos orgânicos são reaproveitados passando por práticas biooxidativas, onde os principais elementos envolvidos são os fungos, bactérias e outros microorganismos (PAZ et al., 2003). Este processo é definido como uma decomposição aeróbia e termofílica de resíduos orgânicos por populações microbianas quimiorganotróficas que se encontram presentes nos resíduos, e através de condições ideais e favoráveis pode produzir um material estabilizado de lenta decomposição (PARR & WILSON, 1980 citado por INÁCIO & MILLER 2009).

Azevedo e Pereira Neto (1995) afirmam que o processo de compostagem é desenvolvido por uma população mista de microorganismos sendo efetuada primeiramente por reações de oxidação bioquímicas mais intensas sob condições exotérmicas atingindo temperaturas na faixa termofílica, e posteriormente ocorre a parte de maturação do material, em um processo de humificação com a produção do composto propriamente dito.

Por se tratar de um processo biológico, os fatores que definem a degradação da matéria orgânica são a aeração, os nutrientes e a umidade. A temperatura é um fator relacionado à rapidez do processo de biodegradação e a eliminação de patógenos, sendo referente ao resultado da atividade biológica (BETTIOL et al., 2000).

Um bom composto pode ser obtido tanto através de tecnologias simples, assim como por tecnologias complexas, sendo que o importante é que os resíduos sejam adequados e que ocorram boas condições para o processo biológico (ANDREOLI et al., 2001).

Seria natural que os resíduos urbanos como o lixo e o lodo de esgoto fossem utilizados como forma de substrato, sendo que são obtidos excelentes resultados a partir da compostagem, tornando-se um dos processos mais difundidos no tratamento desses resíduos. O processo de compostagem pode ser aplicado tanto para lodos digeridos anaerobicamente como nos outros tipos de lodos brutos, sendo considerado como processo substitutivo da digestão anaeróbica, promovendo a estabilização biológica da matéria orgânica, com redução de massa pela diminuição dos sólidos voláteis e da umidade (TSUTIYA et al., 2001).

Nos Estados Unidos ocorre um intenso aumento do número de ETEs que utilizam o processo de compostagem, sendo que inicialmente em 1973 foi construída a primeira usina na cidade de Los Angeles, na Califórnia, e após 23 anos, em 1995 já existiam 330 projetos e 228 unidades em funcionamento. Seguindo nesta mesma linha, o Reino Unido já possuía 57 usinas em atividade no ano de 1998 (TSUTIYA et al., 2001).

Através da atividade microbiológica o processo de compostagem pode atingir naturalmente temperaturas de 50 a 60°C em poucos dias, sendo um mecanismo eficiente na eliminação de patógenos. Quanto mais elevada for a temperatura mais rápida será a eliminação dos patógenos, sendo que a temperatura próxima a 60°C é considerada de alta eficiência para tal mecanismo. A compostagem é altamente eficiente na eliminação de patógenos primários do lodo de esgoto (ANDREOLI et al., 2001).

É importante conhecer as características físicas e químicas do lodo de esgoto para obter êxito durante o processo de compostagem. Após a



desidratação o lodo deve apresentar umidade até 70 %, pois um lodo muito plástico tende a ser de difícil compostagem, e também se devem respeitar os limites de metais pesados que constem na legislação. A relação C/N é importante, pois os microorganismos necessitam de carbono como fonte de energia e de nitrogênio para a síntese de proteínas, sendo que no lodo essa relação é baixa, entre 5 a 11, podendo haver perdas durante a compostagem por volatilização da amônia. Por isso, em muitos casos para evitar este tipo de perda são utilizados agentes estruturantes com alto teor em carbono e pobres em nitrogênio, conferindo uma boa relação C/N na mistura (TSUTIYA et al., 2001).

O lodo de esgoto é um resíduo de granulometria fina, sendo que na forma desidratada apresenta-se com aspecto pastoso, no qual é difícil a difusão do ar, desta forma é recomendada a mistura do lodo com outro tipo de resíduo com granulometria mais grosseira, atuando como um agente estruturante na mistura, assim permitindo a criação de espaços vazios que conferem uma maior aeração (BETTIOL et al., 2000). Franz (1987) comenta a partir de um estudo com vários pesquisadores que para uma decomposição positiva é necessário leiras adequadas com alta temperatura, assim surgindo um composto com alta capacidade fertilizadora, muito maior do que o do lodo não processado.

A compostagem do lodo de esgoto através da reciclagem com destino para utilização como fertilizante orgânico pode ser adotada como uma alternativa ambiental segura e sustentável, que cumpre com aspectos técnicos contidos na legislação, resultando na diminuição da pressão sobre os aterros sanitários, promovendo reciclagem de nutrientes contidos no lodo com redução de custos operacionais. Através da compostagem, é possível reduzir a atratividade de vetores sobre o lodo, proporcionando estabilização do material orgânico facilmente putrescível, buscando higienização, reduzindo a densidade de organismos patogênicos, aumentando significativamente o teor de sólidos do produto final, produzindo um fertilizante orgânico de boa qualidade (ANDREOLI et al., 2001).

Com a finalidade do uso de bio-sólidos para a agricultura, é através da compostagem que se obtêm os processos mais eficientes de estabilização do lodo de esgoto. Através das altas temperaturas obtidas no processo de compostagem ocorre a eliminação dos microorganismos patogênicos, permitindo o manuseio do composto sem restrições ou mesmo risco para o ambiente. Por estes motivos, o uso do composto não possui nenhuma restrição quanto ao seu uso tanto na legislação americana como na europeia, sendo utilizado de forma ampla em inúmeras áreas como, adubação de frutíferas, em parques, campos de golfe, viveiros, jardinagem, entre outras (TSUTIYA et al., 2001).

A utilização do processo de compostagem é uma solução adequada para o problema do lodo, sendo uma opção viável, apresentando uma série de benefícios do ponto de vista ambiental e econômico. É possível obter um material de alta qualidade como insumo agrícola respeitando critérios agrônômicos, sanitários e ambientais (ANDREOLLI et al., 1994).

#### 4.7.1. Eficiência na redução e eliminação dos microorganismos patogênicos

De acordo com a norma norte americana USEPA 40 CFR Part 503 (1997) e norma da CETESB (1999) é recomendado a utilização de processos de redução de patógenos no lodo de esgoto, sendo a compostagem um processo eficiente na redução e eliminação dos microorganismos patogênicos. O uso de compostagem tem crescido muito nos últimos anos em países desenvolvidos, sendo usado em larga escala nos Estados Unidos produzindo um condicionador de solos a partir do lodo. A partir da compostagem pode-se converter biologicamente a matéria orgânica putrescível para uma forma estabilizada, destruir os patógenos, reduzir a umidade do lodo através da mistura e remoção de sólidos voláteis e assim produzir um produto que possa ser utilizado na agricultura (TSUTIYA, 2001).

Um grande problema ligado ao uso do lodo de esgoto para utilização agrícola são os ovos de helmintos que estão presentes neste tipo de resíduo. Andreoli et al. (2001) comenta que já foram realizados experimentos utilizando

o lodo de esgoto misturados com podas de árvores em processos de compostagem na região de Londrina, sendo que os resultados comprovam que a eliminação dos ovos não é total, mas está dentro dos limites estabelecidos pela Norma, e desta forma atribui mais um ponto positivo na implementação do processo de compostagem.

#### 4.7.2. Eficiência relacionada à temperatura

O melhor método de redução de patógenos presentes no lodo é sem dúvida a compostagem, desde que bem conduzida. Processos de tratamento que tenham efeito de temperatura associado ao tempo são os melhores no combate aos agentes patogênicos, sendo que há uma relação direta entre o aumento de temperatura e a diminuição do tempo de sobrevivência dos patógenos (BETTIOL et al., 2000).

A temperatura é um fator indicativo do equilíbrio biológico dentro da leira de compostagem, sendo que o registro de temperatura da ordem de 40-60°C no segundo ou terceiro dia é sinal que o ecossistema está bem equilibrado e que a compostagem tem todas as chances de ser bem sucedida (BETTIOL et al., 2000).

A compostagem é considerada um processo de redução significativa de patógenos, originando um bio sólido classe B, quando a temperatura for superior a 40°C durante 5 dias e diariamente durante 4 horas no mínimo, atingir a 55 °C. Será considerado um processo de redução avançada de patógenos originando um bio sólido classe A, se a temperatura for igual ou superior a 55°C durante 5 a 15 dias, conforme o processo utilizado (TSUTIYA,2001).

A elevação da temperatura acima de 55 °C é ideal para a boa eliminação de patógenos, sendo que a 60°C, a eliminação de coliformes fecais é seis vezes mais rápida que a 55°C. A temperatura de 60°C alia boa eficiência de eliminação de patógenos à alta taxa de biodegradação da matéria orgânica. Um fator importante é a tecnologia de compostagem utilizada, sendo que as leiras estáticas aeradas são a alternativa mais eficaz na eliminação de

patógenos, sendo necessário atingir temperaturas mínimas de 55 °C por pelo menos 3 dias (ANDREOLI, 2001).

As tabelas 2 e 3 estão relacionadas ao tempo e a temperatura necessárias para a morte de alguns patógenos:

**Tabela 2** - Ponto de morte térmica de patógenos que causam doenças no homem.

Organismos	Temperatura (°C)
<i>Salmonella typhosa</i>	Parada de crescimento a 46°C; morte 30 min. a 55-60°C
<i>Salmonella spp</i>	Morte 15-20 min. A 60°C; 1 h a 55°C
<i>Escherichia coli</i>	Morte 15-20 min. A 60°C; 1 h a 55°C
<i>Endamoeba histolytica</i>	Morte a 68 °C
<i>Taenia saginata</i>	Morte em 5 min. A 71 °C
<i>Trichinella spiralis</i>	Redução efetiva 1h em exposição a 50°C; morte 62-72 °C
<i>Necator americanus</i>	Morte 50 min. a 45 °C
<i>Micrococcus pyogenes</i>	Morte 50 min. a 50 °C
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Morte 10 min. a 54 °C
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Morte 15-20 min. a 66 °C

Fonte: GOLUEKE,1984

**Tabela 3** - Temperatura e tempo necessários para a destruição de patógenos presentes no lodo de esgoto.

Microorganismos	Tempo de exposição em minutos				
	50°C	55 °C	60 °C	65 °C	70 °C
Cistos de <i>Entamoeba histolytica</i>	5	--	--	--	--
Ovos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	60	7	--	--	--
<i>Brucella abortus</i>	--	60	--	3	4
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	--	45	--	--	4
<i>Salmonella typhi</i>	--	--	30	--	4
<i>Escherichia coli</i>	--	--	60	--	5

Fonte: Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants – Manual of Practice – MOP 11 – Volume 3 – Water Environment Federation – Fifth Edition. Alexandria. USA. 1996. Retirado de TSUTIYA, 2001.

## 5. METODOLOGIA

### 5.1. Levantamento de dados do lodo de esgoto da Estação Insular da CASAN

Os dados iniciais sobre a composição do lodo de esgoto da CASAN foram obtidos através de uma série de testes realizados a pedido da CASAN e da UFSC, diante da proposta visando alternativas para aplicabilidade do lodo gerado nas ETEs com outras finalidades como o uso agrícola, aproveitamento energético, redução do volume, entre outros.

### 5.2. Teste de matéria seca do lodo de esgoto

O teste foi realizado no laboratório de solos do Centro de Ciências Agrárias da UFSC, no departamento da Engenharia Rural. Foram retiradas três amostras aleatórias do lodo de esgoto da CASAN Insular, colocadas em bandejas individuais para cada amostra e pesadas em balança eletrônica de precisão. Em seguida as amostras foram conduzidas a estufa onde ficaram durante três dias (72 horas) a uma temperatura de 35°C. Após serem retiradas da estufa foi realizada nova pesagem e calculado a porcentagem de matéria seca das amostras.

### 5.3. Lodo de esgoto (material principal)

O lodo de esgoto (Foto1) utilizado para a montagem das leiras no experimento é proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos da CASAN, na área central da cidade de Florianópolis denominado de sistema Insular, com modalidade de aeração prolongada.

Este sistema ocorre através de um processo biológico onde o esgoto afluyente, na presença de oxigênio dissolvido, agitação mecânica e pelo crescimento e atuação de microorganismos específicos, forma flocos denominados lodo ativado ou lodo biológico. Essa fase do tratamento objetiva a remoção de matéria orgânica biodegradável presente nos esgotos. Após essa etapa, a fase sólida é separada da fase líquida em outra unidade operacional denominada decantador. O lodo ativado separado (foto 2) retorna para o processo ou é retirado para tratamento específico ou destino final.



**Foto 1** - Lodo de esgoto da Estação de Tratamento da CASAN.



**Foto 2** - Máquina usada no processo de desidratação do lodo de esgoto.



**Foto 3** - Caminhão tanque usado para o transporte do lodo até o aterro sanitário.

## 5.4. Leiras experimentais

### 5.4.1. Data e local do trabalho

Este trabalho foi realizado durante os meses de agosto, setembro e outubro de 2009 no município de Florianópolis em duas localidades diferentes, sendo utilizado o pátio de compostagem da COMCAP (Companhia de Melhoramento da Capital), localizado no bairro do Itacorubi, e o Laboratório de Biotecnologia Neolítica da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), localizado no Departamento de Microbiologia no bairro Córrego Grande.

#### 5.4.2. Materiais utilizados na montagem das leiras de compostagem

- Palhas;
- Folhas;
- Serragem ou maravalha contendo fezes de animais;
- Resíduos orgânicos (restos de comida);
- Bombonas plásticas com capacidade de 50l para transporte dos resíduos orgânicos;
- Garfo agrícola;
- Composto orgânico utilizado como inoculante;
- Trator;
- Lodo de esgoto da CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento).

#### 5.5. Descrição da matéria prima utilizada na montagem do experimento

##### 5.5.1. Resíduos orgânicos (material auxiliar)

Os resíduos orgânicos (foto 4) utilizados foram restos de alimentos, cascas, e outros materiais orgânicos que não possuíam mais utilidade para a alimentação humana, sendo assim descartados pelos bares e restaurantes da Universidade Federal de Santa Catarina, bem como pela rede de supermercados Hippo que tem um projeto de reciclagem junto ao pátio de compostagem da UFSC. No pátio de compostagem da COMCAP o material orgânico utilizado foi obtido do Supermercado Nacional e do Feirão Direto do



Campo que também possuem projetos de reciclagem. Estes restos da fração orgânica foram acondicionados em bombonas plásticas azuis com capacidade para 50 litros (foto 5), possuindo duas alças que auxiliam no transporte e deslocamento das mesmas, bem como facilitam o depósito do conteúdo orgânico para dentro das leiras de compostagem, atuando de forma prática e higiênica no manejo dos resíduos.



**Foto 4** - Resíduos orgânicos sendo depositados sobre a leira de compostagem da COMCAP.



**Foto 5** - Bombonas plásticas com capacidade de 50L para armazenamento dos resíduos orgânicos.

#### 5.5.2. Material inoculante

O material utilizado como inoculante (foto 6) foi o composto orgânico já em fase final de maturação (estabilização) proveniente do processo de compostagem termofílica dos resíduos orgânicos, que apresenta uma alta atividade microbiológica.

O uso de inoculantes promove uma rápida colonização dos resíduos, tornando o processo inicial bem sucedido com elevação da temperatura da leira em um curto espaço de tempo. Este inoculante serve como fonte extra de microorganismos ideais para uma aceleração inicial da temperatura. A utilização do próprio composto, sendo este pronto ou não, como fonte de inoculação é muito eficiente, tornando possível o alcance de temperaturas termófilas em 24 horas após o início do processo de compostagem (INACIO & MILLER, 2009).



**Foto 6** - Composto orgânico utilizado como inoculante sendo colocado sobre os resíduos orgânicos na leira de compostagem na COMCAP.

### 5.5.3. Serragem

A serragem ou maravalha é utilizada antes e depois da colocação dos resíduos orgânicos ou do lodo de esgoto. Este material melhora a aeração das leiras de compostagem e assim contribui para elevar a temperatura no interior da mesma, sendo que inicialmente é utilizada uma grande quantidade para formar uma cama sobre o solo, aumentando a aeração na leira.

No experimento foram utilizados serragem proveniente do biotério da UFSC, para a leira do Laboratório de Biotecnologia Neolítica, e serragem vinda da Hípica da rodovia SC 401 de Florianópolis para a leira do pátio da COMCAP.

Um aumento na aeração das leiras de compostagem auxilia em um menor tempo de degradação da matéria orgânica e contribui para a ausência de maus odores. A aeração é um fator muito importante a ser considerado no processo de decomposição da matéria orgânica na prática de compostagem (KIEHL, 2002).

#### 5.5.4. Palhas e folhas

Estes materiais são utilizados com a finalidade de comportarem a estrutura das leiras de compostagem, formando a camada de parede ou borda evitando o extravasamento do material depositado no interior da leira e permitindo com que a oxigenação seja feita de modo natural no interior da mesma. A parte superior também é coberta com as folhas e palhas, mantendo o ambiente propício para degradação da matéria orgânica, assim como evitando o ataque de animais e insetos nocivos ao processo.

#### 5.6. Montagem das leiras

##### 5.6.1. Laboratório de Biotecnologia Neolítica da UFSC

Inicialmente foram utilizados para a construção da parede da leira os restos das aparas de grama e palhas, bem como folhas caídas recolhidas no campus da UFSC transportadas para o Laboratório de Biotecnologia Neolítica. Estes materiais possuem estrutura fibrosa e assim conferem firmeza na formação da parede da leira, sendo que também permitem a aeração do ambiente interno da mesma. A dimensão das bordas da leira foi de 2 metros de largura, por 7 metros de comprimento.

A partir da formação inicial da estrutura de borda, foram colocados materiais secos como folhas, restos de podas e galhos finos, bem como uma intensa camada inicial de serragem dentro desta estrutura delimitada pela borda interna da leira sobre a camada superior ao solo formando uma camada que auxilia na aeração do material em decomposição. Após esta etapa foi realizado a deposição do material orgânico (restos de alimentos, cascas, etc.) sobre a camada inicial de serragem espalhando homoganeamente o resíduo com o auxílio do garfo agrícola. O inoculante foi então colocado sobre os resíduos e misturado ao mesmo inoculando toda a proporção e em seguida foi novamente colocado uma nova camada de serragem. As camadas foram então

cobertas com a palha, mesmo material utilizado na delimitação das bordas, assim dificultando o acesso de moscas, a presença de outros insetos e de larvas no estágio inicial da decomposição da matéria orgânica.

A leira ficou em repouso durante três dias até atingir temperaturas elevadas com o início da decomposição dos resíduos orgânicos. A palha utilizada na cobertura da leira foi puxada para a lateral novamente formando uma parede com aproximadamente 30 cm de altura acima das camadas já feitas servindo para conter uma nova remessa de resíduos e serragem. Após a formação da parede foi depositado mais uma carga de material orgânico que foi revirado e agregado ao material da camada inferior, visto que o material já apresentava alta temperatura decorrente da ação dos microorganismos, atuando no efeito da decomposição e que serviu como fonte de inoculação para o novo resíduo. Foi colocada a serragem e a leira foi coberta com uma camada de palha. Esta operação foi realizada três vezes formando três camadas subseqüentes cada uma com material orgânico e serragem, até a leira atingir uma altura de 70 cm.

A partir deste momento a leira se encontrava com altas temperaturas, sendo que quando mais próximo à parede e na parte superior observou-se as mais elevadas temperaturas. A camada de palha foi puxada para a lateral formando novamente uma parede e foi depositada uma camada de 400 kg de lodo de esgoto (foto 7) proveniente da Estação de Tratamento da CASAN, sendo que o lodo foi coberto com serragem e posteriormente uma intensa camada de palha finalizando a leira de compostagem.



**Foto 7** - Lodo de esgoto depositado sobre a leira de compostagem da UFSC.

#### 5.6.2. COMCAP

O experimento também foi realizado no pátio de compostagem da COMCAP, sendo que os métodos utilizados na montagem da leira foram praticamente iguais aos usados na leira do Laboratório de Biotecnologia Neolítica da UFSC, porém o trabalho foi realizado com o auxílio de uma máquina carregadeira.

A dimensão da leira (foto 8) delimitada pelas bordas de palha foi de 2,5 m de largura por 4,5 m de comprimento. Igualmente a leira da UFSC, foram feitas 3 camadas contendo resíduos orgânicos e serragem até a leira atingir um tamanho de 1 m de altura. As camadas foram feitas a cada cinco dias até atingir esta dimensão. Foram depositados 550 kg de lodo de esgoto dividindo a leira em dois diferentes tratamentos: um lado contendo 275 kg de lodo misturado com serragem; e o outro lado contendo 275 kg de lodo de esgoto; sendo colocada a serragem sobre este material. Após o depósito dos resíduos a leira foi coberta com palha.



**Foto 8** - Dois tratamentos sendo utilizados para a deposição do lodo de esgoto sobre a leira de compostagem na COMCAP.



**Foto 9** - Leira de compostagem da COMCAP sendo manejada com o auxílio de máquina escavadeira.

## 5.7. Monitoramento do experimento - coleta de dados

O monitoramento da temperatura das leiras de compostagem foi realizado através do uso de um termômetro bi-metal com haste de 40cm (foto 10), sendo feita a coleta dos dados diariamente após o início da formação das leiras.

Na leira da UFSC foram anotadas inicialmente 4 medidas na borda e 4 medidas na parte superior próximo ao centro. A medida que a leira foi sendo refeita, ou seja colocadas novas camadas, foi possível obter um maior número de medições sendo que ao atingir o tamanho de 50 cm foram medidos 4 pontos a 20 cm do solo, 4 pontos a 40 cm do solo e 8 pontos na parte superior da leira; sendo 4 destes bem ao centro e 4 próximos a borda. A partir do momento em que a leira atingiu 70 cm foram medidos 4 pontos a 20 cm do solo, 4 pontos a 40 cm do solo, 4 pontos a 60cm do solo e 8 pontos na parte superior da leira. No nono dia após o início da leira foi colocada uma nova camada de resíduos constituindo a camada média ou segunda camada. No décimo dia foi colocada a terceira camada constituindo a camada superior. Portanto as temperaturas foram medidas a 20 cm para a camada inferior, 40 cm para a camada média e 60 cm para camada superior. No momento final, no décimo oitavo dia foi colocada sobre a camada superior da leira a camada de lodo de esgoto, resíduo que se apresentava a temperatura de 21°C. Foram medidas as temperaturas bem próximas a superfície, sendo coletados 8 pontos, sendo 4 bem ao centro e 4 próximos a borda da leira.

Na leira da COMCAP foram medidas inicialmente 18 pontos de temperatura, sendo estas realizadas na parte superior da leira. A leira foi refeita 3 vezes com resíduos orgânicos e serragem. A partir deste momento, no décimo nono dia foi colocado sobre a leira o lodo de esgoto a uma temperatura de 21°C. A leira foi dividida em dois tratamentos:

- Tratamento 1: lodo coberto com serragem
- Tratamento 2: lodo misturado com a serragem

Em cada tratamento coletou-se 9 dados de temperaturas distribuídos igualmente sobre a leira, totalizando 18 dados para toda a leira.





**Foto 10** - Termômetro sendo utilizado para a coleta dos dados na leira de compostagem.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1. Lodo de esgoto da CASAN

Diariamente são produzidos somente na Estação Insular um volume médio de aproximadamente 30 m<sup>3</sup> de lodo desidratado, sendo este retirado do local pela empresa Pró- Activa que destina todo este resíduo ao aterro sanitário da cidade de Biguaçu. No final do ano de 2008 a CASAN pagou R\$112,00 por m<sup>3</sup> de lodo removido, sendo que nesse custo estão inclusas as despesas de remoção, transporte e destinação final do lodo. O lodo é retirado da estação através de caminhões tanque e também por meio de containers com capacidade para sete toneladas. O lodo de esgoto desidratado é descartado em aterros sanitários sendo esta uma alternativa não adequada para o resíduo, que apresenta um grande potencial para o uso agrícola, podendo haver a reciclagem do mesmo assim contribuindo para diminuição dos impactos ambientais.

## 6.2. Características da patogenicidade do lodo

De acordo com as análises realizadas com o lodo de esgoto da CASAN pelo laboratório do Departamento de Microbiologia e Parasitologia do Centro de Ciências Biológicas da UFSC os resultados são expressos a seguir:

Análises microbiológicas de amostra de lodo sanitário:

### 6.2.1. Pesquisa de estreptococos fecais

Resultados:

Confirmada a presença de estreptococos fecais.

Amostra 1: < 1,8 NMP/100ml estreptococos fecais

Amostra 2 : < 1,8 NMP/100ml estreptococos fecais

### 6.2.2. Avaliação da presença de ovos de helmintos parasitas humanos em duas amostras de lodo sanitário:

Resultados:

Amostra 1: Ovo de *Trichuris trichiura*, estrutura suspeita de Ascarídeo e Ancilostomídeo.

Amostra 2: Estrutura suspeita ( ovo de Ascarídeo).

### 6.2.3. Pesquisa de *Salmonella spp.* :

Resultados:

Amostra 1: Apresentou-se negativa para *Salmonella spp.* .

Amostra 2: Apresentou-se negativa para *Salmonella spp.* .

Diante dos testes realizados é possível identificar uma quantidade muito pequena de estreptococos fecais, sendo considerada dentro dos limites normais para o resíduo.

Foi detectada a presença de ovos de helmintos e estruturas de parasitas humanos indicando suspeita de *Ascaris*, ovo de *Trichuris*, que possui características muito semelhantes ao *Ascaris*, e estrutura de Ancilostomídeo, que pertence à família Ancylostomatidae cujo em seus representantes estão o *Necator americanus*.

Quanto à pesquisa de *Salmonella spp.* as amostras apresentaram-se negativas indicando a ausência da bactéria no lodo.

### 6.3. Metais pesados

As tabelas 4 e 5 estão relacionadas a presença de metais pesados no lodo de esgoto da CASAN:

**Tabela 4** - Análise do extrato lixiviado:

Parâmetros	Amostra	Limite de detecção	Método
Arsênio (mg/L)	<0,001	0,001	E.E.A – Geração de Hidretos
Bário (mg/L)	0,880	0,008	E.E.A – Forno de Grafite
Cádmio (mg/L)	<0,0001	0,0001	E.E.A – Forno de Grafite
Chumbo (mg/L)	0,012	0,001	E.E.A – Forno de Grafite
Cromo (mg/L)	0,031	0,001	E.E.A – Forno de Grafite
Fluoreto (mg/L)	1,00	0,05	SPADNS
Mercúrio (mg/L)	<0,0005	0,0005	E.E.A – Geração de Hidretos
pH	3,71	0,01	Potenciométrico
Prata (mg/L)	<0,0001	0,0001	E.E.A – Forno de Grafite
Selênio (mg/L)	<0,001	0,001	E.E.A – Geração de Hidretos

De acordo com o ensaio de Lixiviação o resíduo apresentou-se como não tóxico.

**Tabela 5** - Análise do extrato solubilizado:

Parâmetros	Amostra	Limite de detecção	Método
Alumínio (mg/L)	0,078	0,001	E.E.A – Forno de Grafite
Arsênio (mg/L)	<0,001	0,001	E.E.A – Geração de Hidretos
Bário (mg/L)	0,218	0,008	E.E.A – Forno de Grafite
Cádmio (mg/L)	<0,0001	0,0001	E.E.A – Forno de Grafite
Chumbo (mg/L)	0,003	0,001	E.E.A – Forno de Grafite
Cianeto (mg/L)	<0,004	0,004	Piridina- Pirazolona
Cloreto (mg/L)	44,7	0,50	Nitrato de Mercúrio
Cobre (mg/L)	0,051	0,001	E.E.A - Chama
Cromo (mg/L)	0,018	0,001	E.E.A – Forno de Grafite
Fenol (mg/L)	<0,001	0,001	Aminoantipirina
Ferro (mg/L)	0,162	0,005	E.E.A - Chama
Fluoreto (mg/L)	0,72	0,20	SPADNS
Manganês (mg/L)	0,072	0,003	E.E.A - Chama
Mercúrio (mg/L)	<0,0005	0,0005	E.E.A – Vapor a Frio
Nitrato (mg/L)	<0,20	0,20	Salicilato
pH final	5,90	0,01	Potenciométrico
Prata (mg/L)	<0,0001	0,0001	E.E.A – Forno de Grafite
Selênio (mg/L)	<0,001	0,001	E.E.A – Geração de Hidretos
Sódio (mg/L)	28,1	0,005	E.E.A - Chama
Sulfato(mg/L)	17,5	2,0	Turbidimétrico
Sulfactantes(mg/L)	0,09	0,05	Azul de metileno
Umidade (%)	--	--	Gravimétrico
Zinco (mg/L)	0,081	0,001	E.E.A - Chama

Pelo ensaio de Solubilização nenhum parâmetro ultrapassou o limite máximo permitido pela Legislação. Caracterizando o resíduo como CLASSE II B – INERTE.

### 6.3.1. Relação entre metais pesados e aplicação no solo

**Tabela 6** - Quantidades de metais pesados que podem ser aplicados no solo, conforme a legislação de diversos países e do estado do Rio Grande do Sul:

Metal	USA		CEE	RS
	Total	Taxa anual	Total	Total
	Kg/ha			
Cu	1.500	75	120	280
Zn	2.800	140	300	560
Cr	--	--	--	1.000
Ni	420	21	30	70
Pb	300	15	150	1.000
Cd	39	1,9	1,5	5
Hg	17	0,8	2,0	2

USA – Estados Unidos da America

CEE – Comunidade Econômica Européia

RS – Rio Grande do Sul

Fonte: ROLAS, 1995.

Levando em consideração uma redução de 90% do peso após o processo de compostagem, e a aplicação de 100 toneladas de composto orgânico de lodo de esgoto por hectare, resultará em depositar sobre o solo uma quantidade de 20 gramas/ha de Cromo, 3 g/ha de Chumbo, 81g/ha de Zinco e 51 g/ha de Cobre. Zinco e Cobre são micronutrientes de plantas.

Comparando as tabelas de concentração de metais pesados existentes no lodo de esgoto com as quantidades aceitáveis para o solo, é possível verificar que os elementos identificados no lodo estão dentro da capacidade ideal, não ultrapassando os limites de concentração e assim é possível a aplicação no solo sem nenhuma restrição.

#### 6.4. Teste de matéria seca

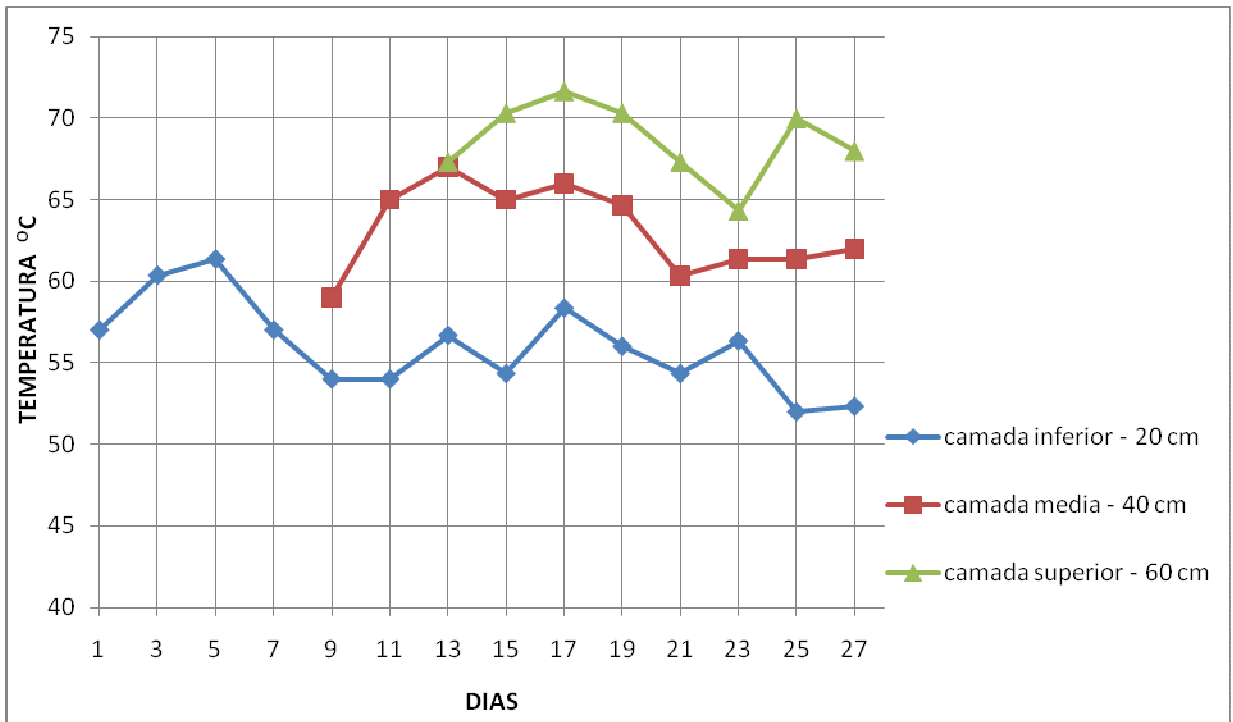
**Tabela 7** - Peso bruto, peso seco e teor de matéria seca presente nas amostras do lodo de esgoto da CASAN.

Amostra	Peso bruto (g)	Peso seco (g)	Teor de Matéria seca (%)
1	979,5	123,1	12,6 %
2	1018,8	133,7	13,1%
3	1007,6	130,5	12,9 %
Média	----	----	12,9%

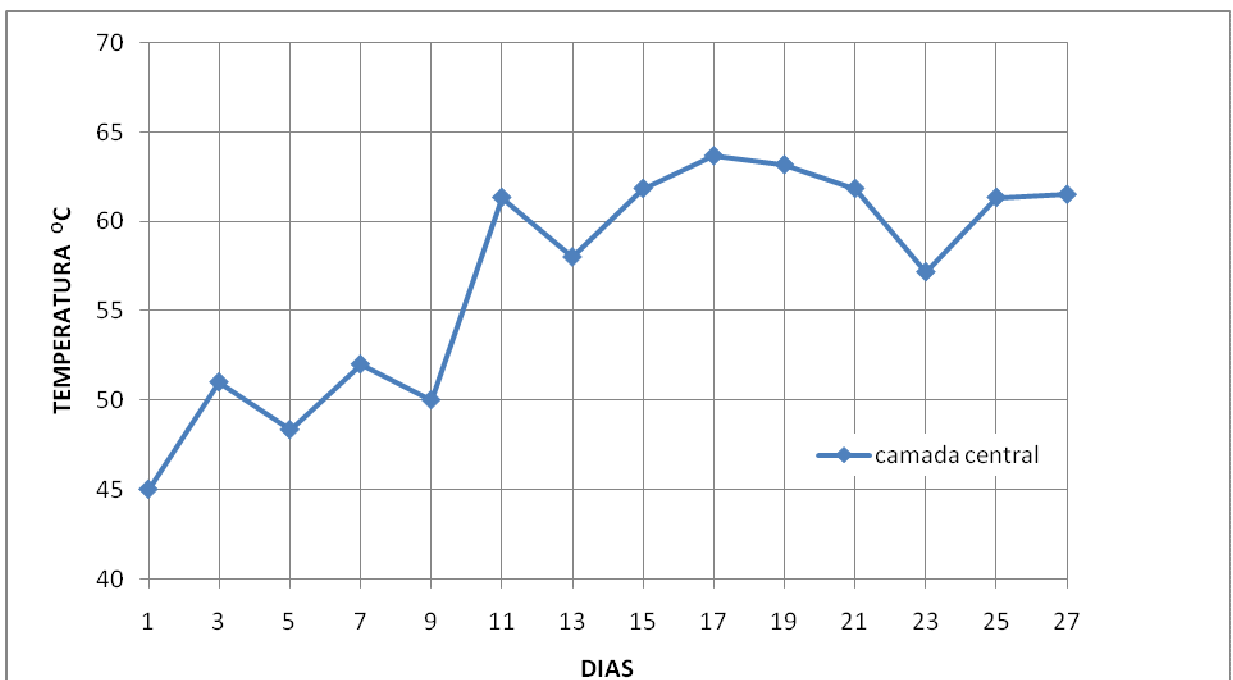
Os resultados obtidos mostram que o teor de matéria seca variou entre 12,6% a 13,1%, obtendo-se uma média de 12,9 %. Portanto podemos considerar que o lodo utilizado no experimento para condução do processo de compostagem contém um teor aproximado de 13% de matéria seca. A partir destes dados fica implícito que o processo de desidratação do lodo de esgoto da CASAN possui um baixo índice de eficiência, pois restam 87% de água no final do processo.

#### 6.5. Leira do Laboratório de Biotecnologia da UFSC

De acordo com os dados coletados durante a montagem da leira com as camadas de resíduos orgânicos e serragem foram obtidos os seguintes resultados conforme os gráficos 1 e 2:



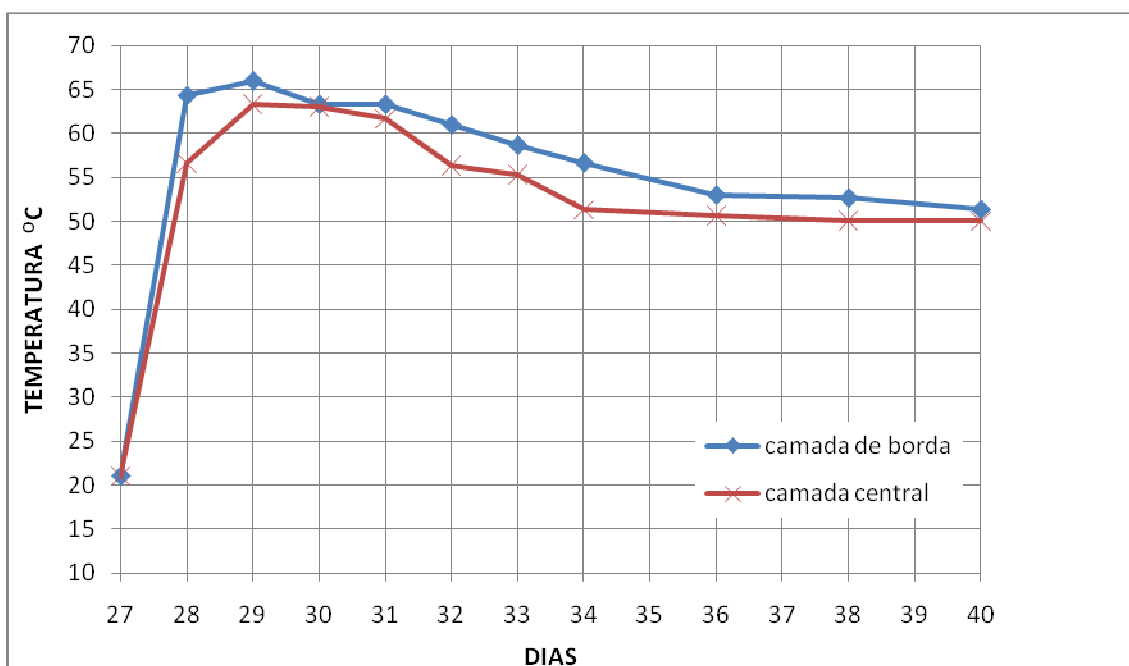
**Gráfico 1** - Médias das temperaturas em três camadas da leira de compostagem da UFSC.



**Gráfico 2** - Médias das temperaturas na camada central da leira de compostagem da UFSC.

Os gráficos 1 e 2 demonstram que a partir da deposição de novas camadas a temperatura média da leira de compostagem sobe na camada superior e central até atingir temperaturas superiores a 60°C, enquanto que as camadas inferiores estabilizam sua temperatura.

O gráfico 3 mostra o comportamento das médias de temperatura obtidas após a deposição da camada de lodo de esgoto sobre a leira até o décimo quarto dia:



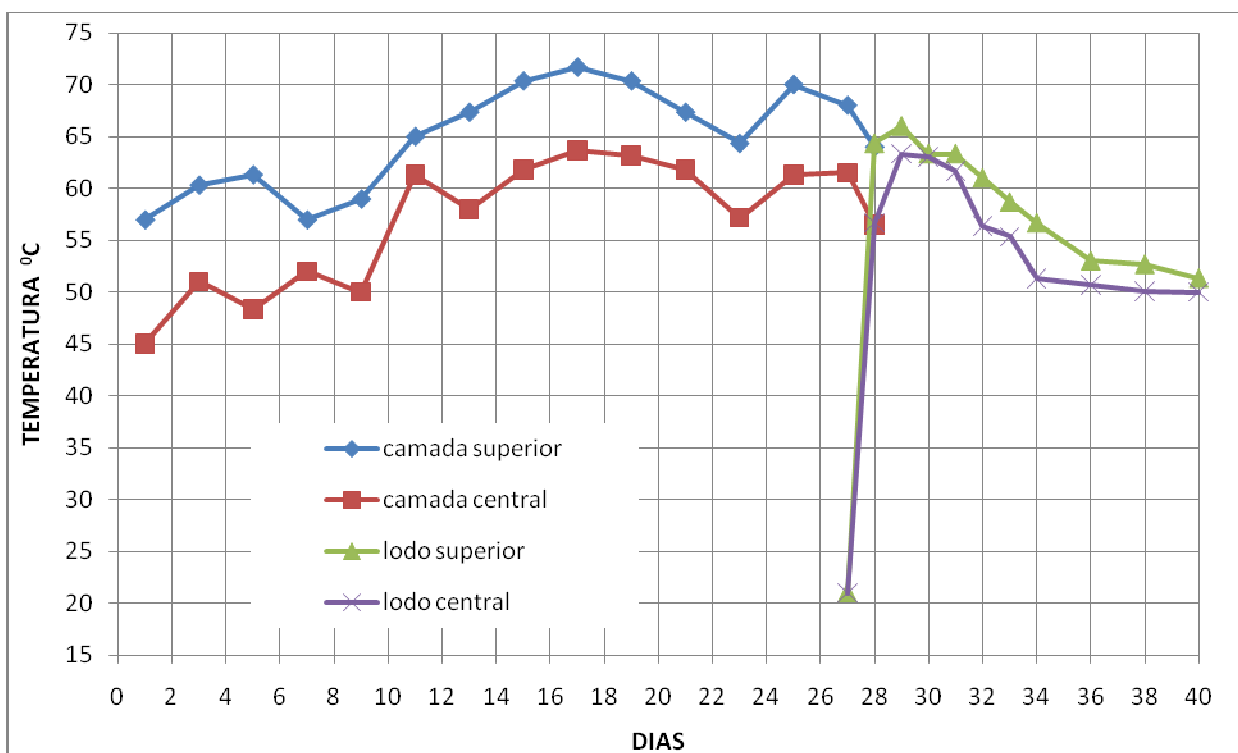
**Gráfico 3** - Médias das temperaturas do lodo de esgoto na parte de borda e no centro da leira.

No dia 28, primeiro dia após a deposição do lodo de esgoto a média de temperatura foi de 64,3 °C para a borda e de 56,7 °C para a parte central. No dia 29 (terceiro dia) foram registradas as maiores médias com 66 °C na borda e 63,3 °C na parte central.

As médias das temperaturas mantiveram-se superiores a 60 °C durante 5 dias na camada de borda e durante 3 dias na camada central. No décimo quarto dia após a deposição do lodo de esgoto as temperaturas ainda apresentavam-se acima de 50 °C em todas as partes do lodo.



O gráfico 4 apresenta o comportamento da leira de compostagem da UFSC, desde a etapa inicial com resíduos orgânicos, até a etapa final com a deposição da camada de lodo de esgoto:



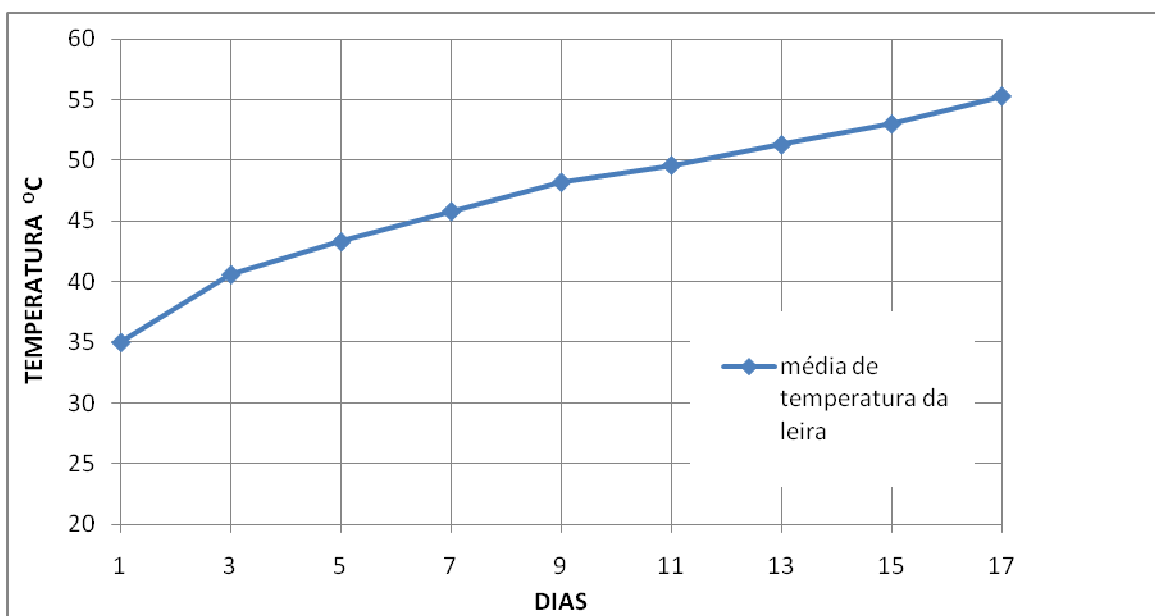
**Gráfico 4 -** Comportamento geral da leira de compostagem UFSC.

A partir do desenvolvimento inicial da leira de compostagem com três camadas de resíduos orgânicos e serragem obteve-se temperaturas acima de 60°C em todos os pontos da leira. Esta temperatura é considerada ótima para a manutenção do processo termofílico onde os microorganismos responsáveis pelo processo de decomposição da matéria orgânica atuam de maneira positiva. No segundo momento, após a deposição do lodo de esgoto foi constatado que as temperaturas mantiveram-se altas principalmente nos cinco

primeiros dias, demonstrando um ótimo desenvolvimento para o objetivo proposto.

## 6.6. Leira COMCAP

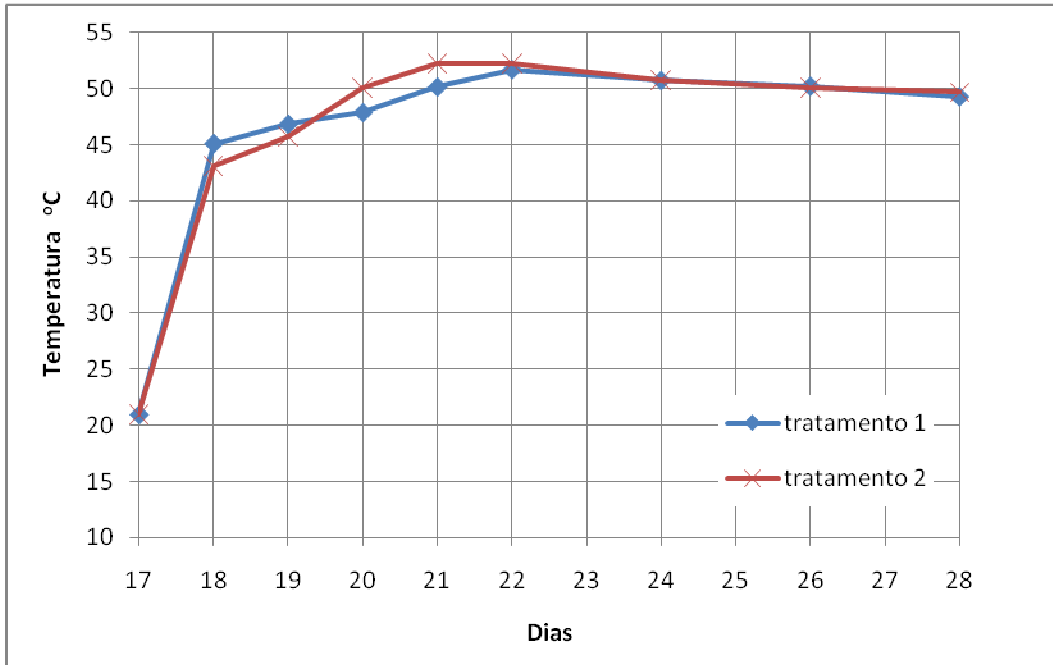
O gráfico 5 apresenta as médias de temperatura obtidas durante 17 dias após o início da construção da leira, sendo que foram colocadas 3 camadas de deposição de resíduos orgânicos e serragem.



**Gráfico 5** - Médias das temperaturas obtidas no processo de compostagem.

Ao passar do tempo as temperaturas foram aumentando, também em decorrência da deposição de novas camadas, sendo que no décimo oitavo dia a média atingiu a temperatura de 55,3°C.

O gráfico 6 apresenta as médias de temperatura obtidas durante 12 dias após a deposição do lodo de esgoto na leira de compostagem.

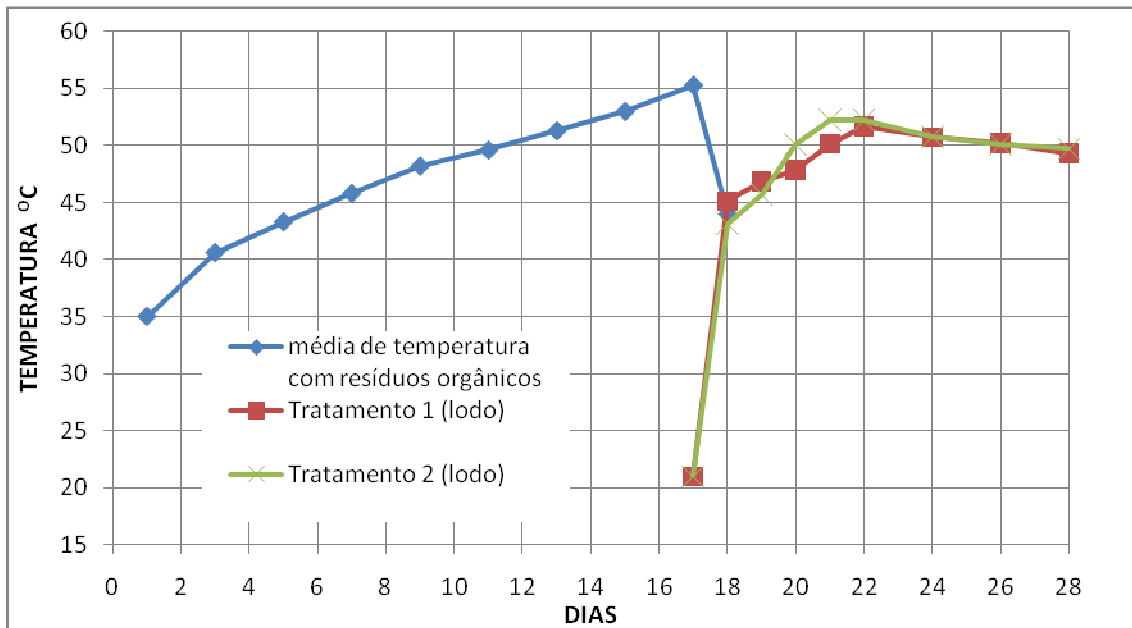


**Gráfico 6** - Médias de temperatura do lodo de esgoto no processo de compostagem em dois tratamentos.

No primeiro dia após a deposição do lodo a média de temperatura no tratamento 1 foi de 45,1°C enquanto que no tratamento 2 foi de 43,1 °C. A temperatura foi subindo gradativamente atingindo o ápice no sexto dia com 51,7 °C no tratamento 1 e 52,3 °C no tratamento 2. A partir deste momento a temperatura foi regredindo até atingir a média de 49,3 °C no tratamento 1 e 49,7 °C no tratamento 2 no décimo segundo dia.

A média de temperatura ficou acima de 50 °C durante 6 dias no tratamento 1 e durante 7 dias no tratamento 2. Não houve diferença significativa entre os dois tratamentos.

O gráfico 7 apresenta o comportamento da leira de compostagem da COMCAP, desde a etapa inicial com resíduos orgânicos, até a etapa final com a deposição do lodo de esgoto em dois tratamentos:



**Gráfico 7** - Comportamento geral da leira de compostagem COMCAP.

### 6.7. Avaliação entre tempo e temperatura na redução de patógenos

De acordo com os resultados obtidos diante das temperaturas registradas nas leiras de compostagem do Laboratório de Biotecnologia da UFSC, pode-se observar que o lodo de esgoto após ter sido depositado sobre a leira atingiu elevadas temperaturas no processo de compostagem ficando 3 dias com temperaturas superiores a 60°C, 5 dias com temperaturas acima de 55 °C e no décimo quarto dia ainda apresentava temperaturas acima de 50 °C em todas as partes da leira.

Na leira de compostagem da COMCAP obteve-se temperaturas acima de 50 °C durante 6 dias após a colocação do lodo.

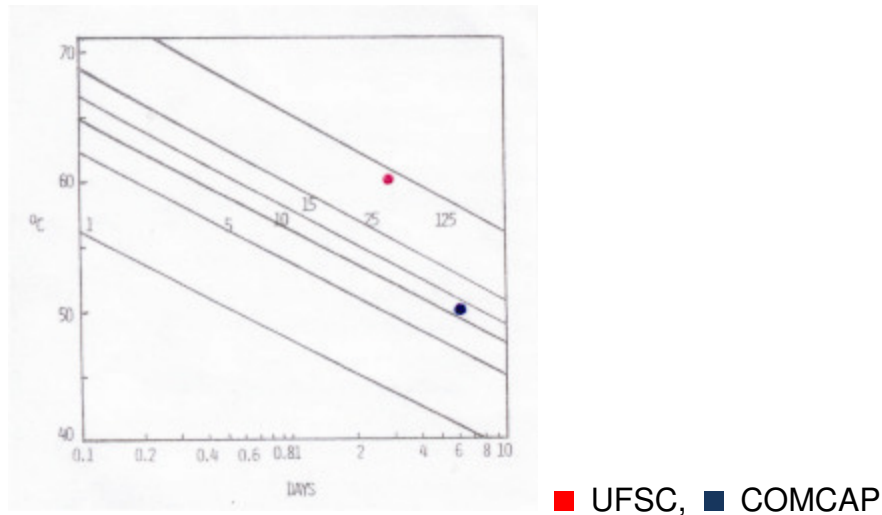
Os principais organismos patogênicos encontrados no lodo de esgoto da Estação Insular da CASAN e seus respectivos tempo e temperatura de morte são: *Ascaris lumbricóides* com morte em 60 minutos a 50 °C ou 7 minutos a 55°C, e *Necator americanus* com morte em 50 minutos a 45 °C.

Desta forma quando comparado com a relação de tempo e temperatura necessária para destruir os organismos presentes no lodo da CASAN o resultado foi positivo para ambas as leiras. As temperaturas alcançadas são capazes de destruir muitos outros patógenos em diversos outros tipos de lodos de esgoto, principalmente os valores obtidos na leira da UFSC. É possível higienizar o lodo demonstrando que o processo de compostagem é altamente eficiente gerando temperaturas necessárias para atingir o objetivo proposto.

Burge et al.(1978) citado por Golueke (1984), decidiu usar temperaturas por regime de tempo monitorando sistemas relativos a resistências de calor por bacteriófagos f2 como um padrão para sua pesquisa. A literatura revela que a resistência do f2 ao calor é grande o suficiente para que se fossem destruídos todos os agentes patogênicos entéricos. Desta forma, como uma meta razoável para uma operação de compostagem, decidiu-se usar 15 logs de inativação de f2. A uma temperatura de 55 °C esta meta pode ser alcançada em 2,5 dias, sendo que o tempo está diretamente relacionado com temperatura atingida no processo de compostagem.

Na industria de conservas o tempo em uma determinada temperatura para inativar 11 logs de bacteriófagos f2 é considerada adequada para eliminação total de esporos de bacilos. O tempo e temperaturas obtidas em leiras de compostagem foram relacionados com a escala de controle do bacteriófago f2 (gráfico 8).

A partir do gráfico 8 é possível comparar as curvas que mostram a temperatura por regime de tempo necessário para a inativação do número desejado de logs de bacteriófagos f2, resultado das pesquisas de Burge, comparando-os com os resultados obtidos no processo de compostagem do lodo de esgoto deste trabalho :



**Gráfico 8** - Curvas mostrando a temperatura por regime de tempo necessário para inativação do número desejado de logs de bacteriófagos. Fonte: Burge et al. 1981, retirado de GOLUEKE,1984.

O ponto vermelho representa os resultados obtidos na leira UFSC, enquanto que o ponto azul representa os resultados da leira COMCAP.

O experimento realizado na COMCAP atingiu resultados próximos a linha de 15 logs, sendo considerado um padrão adequado para compostagem segura do lodo de esgoto. O experimento realizado na UFSC atingiu temperaturas mais elevadas por mais tempo, atingindo um resultado próximo a linha de 125 logs, podendo ser considerado com altíssimo padrão para compostagem de lodo de esgoto, eliminando 99,999 % de microorganismos patogênicos nocivos.

Fica nítido que quanto maior a temperatura mais rápido será a inativação dos patógenos, enquanto que a uma menor temperatura o tempo necessário para a inativação se torna maior.

## 6.8. Diferenças entre as leiras UFSC e COMCAP

De um modo geral as leiras construídas no Laboratório de Biotecnologia Neolítica da UFSC (foto 11) apresentam temperaturas mais elevadas quando comparadas as leiras do pátio da COMCAP (foto 12), este resultado foi obtido nas leiras usadas no experimento tanto na parte dos resíduos orgânicos como na parte do lodo de esgoto.

As leiras UFSC foram construídas em proporções menores, de forma artesanal sem o auxílio de máquinas. Possuem camada de parede externa mais fina assim como a cobertura superior, em vista da maior parte ser composta por aparas de grama do campus. A serragem possui granulometria maior. Todos estes fatores podem contribuir para uma maior aeração no interior da leira de compostagem, diante de leiras mais estreitas e de um reviramento semanal da camada superior da leira. O local que já vem sendo utilizado a 7 anos e assim possui um composto inoculante altamente eficiente.

A COMCAP possui o sistema de compostagem a 1 ano. A maioria das atividades são realizadas com o auxílio de uma máquina escavadeira que auxilia na deposição dos materiais sobre as leiras de compostagem. As proporções são bem maiores, as leiras são mais largas e podem ser trabalhadas até atingirem alturas bem mais elevadas.

As leiras atingem temperaturas mais elevadas a medida que aumentam de tamanho através da deposição de novas camadas, e desta forma é possível obter temperaturas bem superiores ao longo do manejo das leiras de compostagem, efetivando o processo com sucesso tanto para degradação da matéria orgânica como para destruição dos patógenos e higienização do lodo de esgoto.



**Foto 11** - Leiras em atividade no Laboratório de Biotecnologia Neolítica.



**Foto 12** - Leira de compostagem da COMCAP em fase de maturação.



## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fica evidente que o destino final dado ao lodo de esgoto pela Estação Insular da CASAN não é o ideal do ponto de vista ambiental, contribuindo para aumento crescente de sobrecarga sobre os aterros sanitários e assim gerando gases que contribuem com a poluição do meio ambiente.

O experimento comprova que através do processo de compostagem é possível obter temperaturas elevadas do lodo de esgoto, as quais são capazes de destruir os patógenos existentes no mesmo, assim higienizando este resíduo, alcançando o propósito de utilizá-lo na agricultura como condicionador de solo.

Através da compostagem do lodo de esgoto pode-se obter um ótimo composto orgânico e desta forma proporcionar um destino adequado e correto para este biossólido, diminuindo seus impactos ambientais e contribuindo para a sustentabilidade com o uso agrícola.

O lodo de esgoto apresenta uma quantidade muito elevada de água em sua constituição, indicando que o processo de desidratação realizado pela CASAN possui baixo rendimento. O teor de metais pesados está dentro dos limites constitucionais e não interferem quando ao seu uso em solos para a agricultura.

Pode-se sugerir a obtenção análises laboratoriais comprovando a efetiva destruição dos patógenos do lodo de esgoto, assim como utilizar o composto produzido maturado para adubação de espécies como bananeira, mamoeiro e outras espécies frutíferas e florestais que poderão indicar a real produção a partir do composto orgânico obtido.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLLI, C.V, et al.; **Tratamento e disposição do lodo de esgoto no Paraná.** Sanare, Vol. 1(1), pp 10-15, Curitiba, PA, 1994.

ANDREOLI, C.V.; FERNANDES, F. DOMASZAK, S.C. **Reciclagem agrícola do lodo de esgoto: estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônômico e de parâmetro para normatização ambiental e sanitária.** Companhia de Saneamento do Paraná, Curitiba: Sanepar, 1997.

ANDREOLI, C.V.; FERREIRA, A. C.; CHERUBINI, C.; TELES C. R.; CARNEIRO C.; FERNANDES F. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final** / Cleverton Vitório Andreoli (coordenador). -- Rio de Janeiro : RIMA, ABES, 2001.

AZEVEDO NETTO, J.M. **Cronologia do abastecimento de água** (até 1970) In: Revista DAE v.44, n.137, p.106-111, jun.1984.

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

BUTTENBENDER, S.E. **Compostagem termofílica dos biossólidos produzidos na Estação de Tratamento de Esgotos de Canasvieiras – Florianópolis.** Monografia de conclusão do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, SC, 1999.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Utilização de minhocas na produção de composto orgânico.** São Paulo, CETESB, 1987.

DIAS, V.C.F.; **Estudo das emissões de biogás nos aterros sanitários de Içara e Tijuquinha.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) 115p Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

FRANZ, M. F. **The economic future of the Earthworm in recycling**. Compost Science/Land Utilization, p. 23-26, nov/dec, 1978.

GOLUEKE, C.G. “**When is compost safe? Seção IV do Managing Sludge by Composting**”. Editado por BioCicle Journal of Waste Recycling, 322p. 1984.

GOUVÊA, L.C.; PEREIRA NETO, J.T. 1997. **Avaliação da distribuição de metais pesados durante o processo de compostagem de lodo de esgoto estritamente domestico**. In: Anais do 19 Congresso Brasileiro de engenharia sanitária e ambiental. Foz do Iguaçu. PR.

HAUG, R.T. **The practical handbook of composting engineering**. Boca Raton, Lewis Publisher, FL, 1993.

INÁCIO, C.T.; MILLER, P.R.M. **Compostagem: a ciência e prática aplicadas a gestão de resíduos**. EMBRAPA, 2009.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: E. J.. Kiehl, 2002. 171p.

LUDUVICE, M. L. et al.; **Uso e disposição final de lodos de esgotos**. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental, 18. Salvador, BA, 1995.

METCALF, L. e EDDY, H.P. **Wastewater engineer treatment disposal, reuse**. 4<sup>ed</sup>. New York: McGraw- Hill Book, 2003

MONTEIRO, C. A. F.; **A interação Homem-Natureza no futuro da cidade**; In: CHRISTOFOLETTI, A.; et al (Org ); Geografia e Meio Ambiente no Brasil, São Paulo: Ed. Hucitec, 2002.

PAZ V.; UMBIDES, H. M.; PINTO, M.I.S. et al.; **Tratamiento de los residuos urbanos en Santiago del Estero (Argentina): una experiencia piloto**, 2003.

PILOTTO, J. S. **Contribuições para modelagem matemática do comportamento dos tanques sépticos para remoção de matéria orgânica.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) /Curitiba: UFPR, 2004.

PIRES, A. M. M. **Uso Agrícola do Lodo de Esgoto: Aspectos Legais,** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (ROLAS). 3. ed Passo Fundo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. 223 p.

TEIXEIRA, C. **Dinâmica de gases ( CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>) e da temperatura em compostagem estática com aeração natural no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro.** Monografia de conclusão do curso de Agronomia. Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis, SC, 2009.

TSUTIYA, M. T. et al.; **Biossólidos na agricultura.** 1<sup>a</sup> Ed. São Paulo: SABESP, 2001.

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