



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA

MARCELLA DE SÁ LEITÃO ASSUNÇÃO

CARACTERIZAÇÃO DO LODO DE LAGOA ANAERÓBIA TRATANDO  
RESÍDUOS ESGOTADOS DE TANQUES SÉPTICOS E FOSSAS COM VISTAS  
AO APROVEITAMENTO

Natal/RN

2012

MARCELLA DE SÁ LEITÃO ASSUNÇÃO

CARACTERIZAÇÃO DE LODO DE LAGOA ANAERÓBIA TRATANDO  
RESÍDUOS ESGOTADOS DE TANQUES SÉPTICOSE FOSSAS COM VISTAS  
AO APROVEITAMENTO

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-graduação em Engenharia Sanitária da  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte,  
como requisito parcial à obtenção do título de  
Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Maria del Pilar Durante Ingunza

Natal/RN  
2012

MARCELLA DE SÁ LEITÃO ASSUNÇÃO

**CARACTERIZAÇÃO DE LODO DE LAGOA ANAERÓBIA TRATANDO  
RESÍDUOS ESGOTADOS DE TANQUES SÉPTICOS E FOSSAS COM  
VISTAS AO APROVEITAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

BANCA EXAMINADORA

---

Dra. Maria del Pilar Durante Ingunza – Orientador

---

Dr. André Luís Calado Araújo – Co-Orientador

---

Dr. Arthur Mattos – Examinador Interno

---

Dra. Carla Gracy Ribeiro Meneses – Examinador Externo

Natal, 28 de Dezembro de 2012.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha orientadora Pilar, por todo o carinho, apoio, paciência e principalmente compreensão, além de todo o conhecimento repassado.

À minha mãe Aída e meu marido Danillo, pelo apoio incondicional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da UFRN.

A Capes pelo suporte financeiro.

Ao professor Luís Pereira por todo conhecimento repassado e pela excelente orientação na disciplina de Iniciação à docência.

Aos membros da banca, pelas correções e sugestões.

À amiga Ligianne, por todos os anos amizade e parceria acadêmica, que espero não terminar por aqui.

Às lindinhas Andrea, Liliane e Liana, pela amizade e pelos almoços maravilhosos.

A Thaís, pela ajuda e pelos bons momentos partilhados durante esse período.

A Dayana, pela grande contribuição na realização das análises dos helmintos.

Aos bolsistas Aitan, Ana Carla, Nathalia e Rennan, pela ajuda na realização das análises laboratoriais.

Ao pessoal da sala de projetos, Leandro, Laíssa, Maricota, Thársia e Érica pelos bons momentos de descontração na copa e ao amigo Guilherme pela grande ajuda.

A Leonor, Carina, Dacifran, Lucimara, Adriana, Aline, Sandro e Nilton.

## RESUMO

O lodo gerado em lagoas de estabilização pode ser destinado para diversos fins, dentre eles citam-se o uso agrícola, a recuperação de áreas degradadas e a construção civil. A escolha dessas alternativas deve ser feita baseada nas características qualitativas e quantitativas do lodo. Nesse contexto, esse trabalho caracterizou o lodo digerido de uma lagoa anaeróbia na Cidade do Natal/RN, que trata exclusivamente os resíduos esgotados de tanques sépticos e fossas. O lodo apresentou teores de macro e micronutrientes que confirmam seu potencial para a prática agrícola, com 139,49 g.kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica, 15,40 g.kg<sup>-1</sup> de nitrogênio e concentrações de metais inferiores às exigidas pela Resolução nº 375/06 do CONAMA, além de ausência de coliformes termotolerantes e menos de 0,15 ovos de helmintos viáveis/g. em média. As granulometria mostrou que a maioria das partículas tem diâmetro semelhante ao da areia, permitindo a substituição desse insumo, por exemplo. Análises do lixiviado e do solubilizado classificaram o lodo como não inerte e não perigoso, de acordo com a NBR 10.004/04. O volume produzido em três anos de funcionamento pela lagoa foi de 1.903,50m<sup>3</sup>, equivalente a aproximadamente 400 kg de lodo seco. De forma geral, as concentrações dos parâmetros foram semelhantes à literatura pesquisada, embora nenhuma delas aborde lodo de lagoa anaeróbia tratando resíduos esgotados de tanques sépticos e fossas. O lodo apresenta viabilidade técnica para vários tipos de uso, porém os custos com desaguamento e principalmente com transporte podem inviabilizá-lo. É necessário que seja feito um estudo mais aprofundado dos custos para atestar sua viabilidade econômica.

**Palavra chave: lodo anaeróbio; tanques sépticos; fossas; uso de lodo**

## ABSTRACT

The sludge generated in stabilization ponds can be designed for various purposes, among them we mention agricultural use, recovery of degraded areas and civil construction. The choice of these alternatives should be made based on qualitative and quantitative characteristics of the sludge. In this context, this study characterized the digested sludge from an anaerobic lagoon in Cidade do Natal/RN, which deals exclusively with residues of depleted septic tanks and pits. The sludge showed levels of macro and micronutrients that confirm its potential for agriculture, with 139.49 g.kg<sup>-1</sup> organic matter, 15.40 g.kg<sup>-1</sup> nitrogen and metal concentrations below those required by Resolution No. 375/06 of CONAMA, besides the absence of fecal coliform and less than 0.15 viable helminthes eggs/g, on average. The particle size distribution showed that most of the particles have a diameter similar to the sand, allowing the replacement of this input, for example. Analysis of the leachate and of the sludge solubilized classified as non-inert and non-hazardous according to NBR 10.004/04. The volume produced in three years of operation by the pond was 1903.50m<sup>3</sup>, equivalent to approximately 400 kg of dry sludge. Overall, the concentrations of the parameters were similar to literature, although none of them addresses sludge anaerobic pond treating sewer from septic tanks and pits. The sludge presents technical feasibility to various types of use, however the cost of dewatering and especially with transport can derail it. It needs to be made a more thorough study of the costs to prove its economic viability.

**Key-words: anaerobic sludge; anaerobic ponds; septic tanks; septage; faecal sludge**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Número de pessoas sem acesso à rede coletora de esgotos, segundo as Grandes Regiões – 2008. ....	13
Figura 2: Alternativas de gerenciamento de resíduos esgotados de sistemas individuais de tratamento. ....	20
Figura 3: Opções teóricas para o tratamento de lodo fecal. ....	21
Figura 4: Lagoas de tratamento de lodo fecal em Achimotta, Accra/Gana .....	23
Figura 5: Vista Estação Potiguar. ....	36
Figura 6: Planta baixa da La 2, com dados de altura, área, perímetro e volume, respectivamente. ....	37
Figura 7: Lodo no fundo da La2. ....	38
Figura 8: Lagoa após remoção parcial. ....	38
Figura 9: Leito de secagem .....	38
Figura 10: pH do lodo desaguado da lagoa anaeróbia 02 da Estação Potiguar .....	43
Figura 11: Nitrogênio do lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar. ....	43
Figura 12: Fósforo do lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar .....	44
Figura 13: Potássio do lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar ...	44
Figura 14: Concentrações de NPK em diferentes compostos. ....	45
Figura 15: Matéria orgânica do lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar .....	46
Figura 16: Concentrações de matéria orgânica em diferentes compostos. ....	46
Figura 17: Cálcio no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar .....	47
Figura 18: Magnésio no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar..	47
Figura 19: Enxofre lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar .....	48
Figura 20: Boro no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar .....	49
Figura 21: Concentrações de Cd, Co e Ag no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar. ....	51
Figura 22: Concentrações de Pb, Cr e Ni no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar. ....	52
Figura 23: Concentrações de Al, Cu, Zn no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar. ....	53
Figura 24: Concentrações de Mn no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar. ....	54

Figura 25: Concentrações de Mn no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar.....	55
Figura 26: Resultados de helmintos em ovos viáveis/g e comparação com a classificação do CONAMA 375/06 .....	57
Figura 27: Granulometria da amostra.....	58
Figura 28: Composição mineralógica da amostra .....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características físico-químicas e microbiológicas dos resíduos esgotados de tanques sépticos e fossas. ....	18
Tabela 2: Taxa de acumulação lagoas anaeróbias .....	25
Tabela 3: Classes de lodo em relação à presença de agente patogênicos .....	34
Tabela 4: Metodologias analíticas e referências dos parâmetros analisados. ....	39
Tabela 5: Resultados obtidos na Estação Potiguar .....	42
Tabela 7: Comparação entre os valores encontrados e os valores máximos permitidos pelas legislações para metais em lodo na agricultura.....	55
Tabela 8: Resultados de Helmintos.....	57
Tabela 9: Composição química da amostra. ....	59

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Quadro resumo dos tipos de tratamento lodo de fossas sépticas na Califórnia.....	22
Quadro 2: Valores máximos permitidos de metais em lodo para uso agrícola.....	35
Quadro 3: Coeficientes de correlação de Pearson entre N, P, K. ....	45
Quadro 4: Coeficientes de correlação de Pearson entre M.O e N, P, K.....	47
Quadro 5: Teores de cátions trocáveis em solos: comparação com o lodo estudado. .....	50

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DRX – Difração por raios-X

DBO – Demanda bioquímica de oxigênio

DQO – Demanda química de oxigênio

EPA – Environmental Protection Agency

ETE – Estação de tratamento de esgotos

ETA – Estação de tratamento de água

FRX – Fluorescência de raios-X

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente

LAB – Lodo ativado por batelada

LL – Limite de liquidez

LP – Limite de plasticidade

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

M.O. – Matéria orgânica

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

RESTI – resíduos esgotados de sistemas de tratamento individual

SANDEC - Department of Water and Sanitation in Developing Countries

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

ST – sólidos totais

SV – sólidos voláteis

SS – sólidos suspensos

TDH – tempo de detenção hidráulica

UASB - Upflow anaerobic sludge blanket

UGL – Unidades de Gerenciamento de lodo

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS .....	16
2.2 OBJETIVO GERAL .....	16
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
3.1 RESÍDUOS ESGOTADOS DE TANQUES SÉPTICOS E FOSSAS .....	17
3.2 TRATAMENTO E/OU DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS ESGOTADOS DE TANQUES SÉPTICOS .....	19
3.2.1 Tratamento dos resíduos esgotados em lagoas de estabilização .....	23
3.3 LODO DE LAGOAS ANAERÓBIAS.....	24
3.4 USO DO LODO .....	26
3.4.1 Agricultura .....	26
3.4.2 Recuperação de áreas degradadas .....	28
3.4.3 Construção civil .....	29
3.5 LEGISLAÇÃO .....	31
3.5.1 Legislação acerca da gestão dos resíduos esgotados.....	31
3.5.2 Legislação acerca da utilização do lodo produzido em estações de tratamento .....	33
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	36
4.1 OBJETO DO ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA .....	36
4.2 PROCEDIMENTO E FREQUÊNCIA DA COLETA .....	37
4.3 CARACTERIZAÇÃO DO LODO .....	38
4.4 TRATAMENTO DE DADOS .....	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1 pH .....	43

5.2 NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P), POTÁSSIO (K).....	43
5.3 MATÉRIA ORGÂNICA.....	45
5.4 CÁLCIO E MAGNÉSIO.....	47
5.5 ENXOFRE .....	48
5.6 BORO .....	48
5.7 CÁTIOS TROCÁVEIS .....	49
5.8 UMIDADE .....	50
5.9 METAIS .....	50
5.10 MICROORGANISMOS .....	56
5.11 GRANULOMETRIA.....	58
5.12 LIMITES DE CONSISTÊNCIA.....	58
5.13 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X.....	58
5.14 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X.....	59
5.15 RISCO AMBIENTAL .....	60
5.16 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA .....	60
5.17 POSSIBILIDADES DE USO .....	60
6. CONCLUSÕES .....	63
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64

## 1.INTRODUÇÃO

De acordo com o IBGE (2008), no Brasil, apenas 44% dos domicílios tem acesso à rede de esgotamento sanitário, sendo as regiões Norte, Nordeste e Sul com os menores índices de atendimento. Este déficit no atendimento conduz a população a adotar medidas alternativas para dispor seus resíduos domésticos.

A pesquisa Nacional do Saneamento (IBGE, 2008) aponta que as soluções individuais de tratamento adotadas giram em torno de tanques sépticos e sumidouro, fossa rudimentar, fossa seca, vala a céu aberto e lançamentos em corpos d'água, sendo o tanque séptico a principal alternativa adotada para suprir a inexistência das redes coletoras de esgoto. A pesquisa apontou ainda um aumento do número de fossas sépticas em relação ao levantamento do ano 2000 realizado pelo mesmo instituto.

Ainda de acordo com o IBGE (2008), dos 5.564 municípios brasileiros, 2.495 não possuem rede coletora de esgotos, e destes, 1.513 utilizam tanques sépticos e sumidouro como solução alternativa para o esgotamento sanitário, os demais adotam as fossas rudimentares, secas, valas a céu aberto, lançam em corpos aquáticos e etc. Isto corresponde a 34,8 milhões de pessoas sem acesso à rede coletora de esgotos, como mostra a Figura 1.

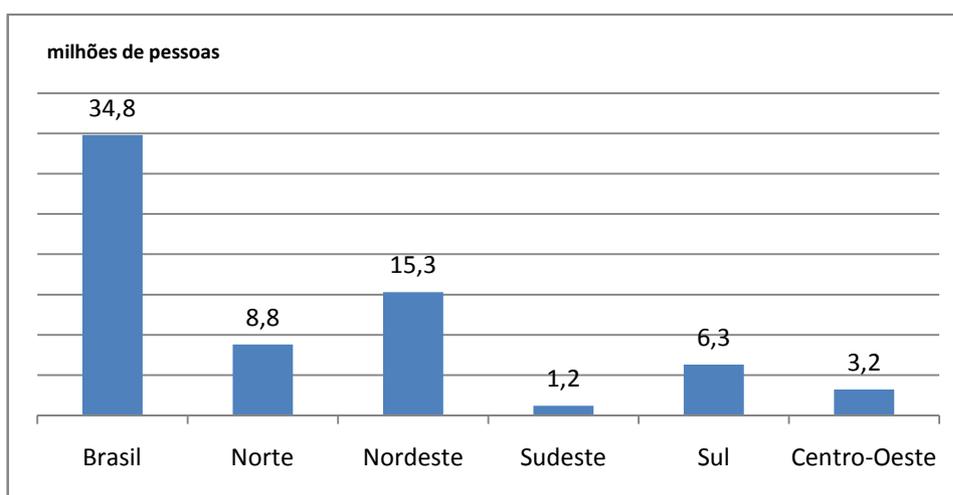


Figura 1: Número de pessoas sem acesso à rede coletora de esgotos, segundo as Grandes Regiões – 2008.

Fonte: IBGE, 2008

Os sistemas individuais de tratamento acumulam lodo ao longo dos anos de funcionamento, e estes devem ser removidos periodicamente para não

comprometerem o funcionamento do sistema, ou para sanar problemas com odor ou extravasamento. Essa remoção geralmente é feita por empresas privadas usando caminhões limpa-fossa. Após serem removidos do interior desses sistemas, esses resíduos devem ser dispostos ou tratados, através de compostagem, incineração, disposição no solo, leitos de secagem, tratamento combinado com o esgoto doméstico, em estações de tratamento destinadas para essa finalidade.

No caso do tratamento em estações através de lagoas de estabilização, estas geram outro resíduo, o lodo acumulado em seu interior, resultado dos sólidos em suspensão do afluente que sedimentam. Após um período de anos, esse lodo depositado no fundo das lagoas precisa ser removido e o destino final desse lodo representa um problema ambiental.

Existem diversas opções de destinação ou uso desse lodo, como disposição em solo, oceânica ou em aterro sanitário, uso agrícola, aplicação em áreas degradadas, como matéria-prima na indústria da construção civil, produção de energia ou incineração, entre outros. Como o lodo possui elementos de interesse, como matéria orgânica e nutrientes, o ideal é que os usos adotados aproveitem as características benéficas do lodo. Para tanto, é necessário o conhecimento aprofundado das suas características, associado a sua disponibilidade, para que se proponha um uso adequado e ambientalmente correto de modo a aproveitar ao máximo suas potencialidades.

Este estudo analisa os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do lodo de uma lagoa anaeróbia integrante de uma estação de tratamento na Cidade do Natal/RN que recebe exclusivamente os resíduos esgotados de tanques sépticos e fossas desta capital e de sua região metropolitana. O afluente da estação é uma particularidade considerável, tendo em vista que poucos estudos analisaram o lodo produzido por lagoas tratando tal resíduo.

Atualmente, nove empresas licenciadas são responsáveis pelo esgotamento dos sistemas de tanques sépticos e fossas da região metropolitana da Cidade do Natal, entretanto, apenas três dessas empresas dispõem de estações de tratamento. Entre estas está a Imunizadora Potiguar, escolhida para representar os resíduos neste estudo e que os encaminha para uma estação de tratamento de sua propriedade, chamada de Estação Potiguar.

Embora a quantidade produzida pela Estação Potiguar seja relativamente pequena e em intervalos espaçados, ainda assim, é necessário que seja dado um

destino correto a este lodo. Além disso, essa destinação é uma condicionante para a renovação da licença de operação da estação junto ao órgão licenciador, o IDEMA(Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.2 OBJETIVO GERAL**

Caracterizar qualitativamente o lodo digerido de uma lagoa anaeróbia da Estação Potiguar, que recebe exclusivamente os resíduos esgotados de tanques sépticos e fossas, com vistas aos possíveis usos.

### **2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar o potencial agronômico do lodo de acordo com a Resolução CONAMA nº 375/06;
- Classificar o lodo nas classes estabelecidas pela NBR 10.004/04;
- Quantificar o volume de lodo produzido pela lagoa anaeróbia;
- Propor usos que possam ser absorvidos pelo mercado, de acordo com a legislação e normas em vigor.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 RESÍDUOS ESGOTADOS DE TANQUES SÉPTICOS E FOSSAS

Os resíduos esgotados de sistemas individuais de tratamento de esgotos domésticos são aqueles removidos de fossas e tanques sépticos, principalmente residenciais, por meio de carros a vácuo, também chamados de limpa-fossa.

Ainda não existe uma nomenclatura padrão para esses resíduos, que são chamados de lodo fecal (*faecal sludge*), lodo séptico (*septage*), RESTI (RATIS, 2009), lodo de fossa e ainda, erroneamente, lodo de esgoto, confundindo com o resíduo das redes coletoras de esgoto doméstico. Neste trabalho, adotaremos como nomenclatura oficial o “lodo séptico” ou “resíduos esgotados”.

Quando se encontram no interior dos tanques sépticos e fossas estão divididos em camadas, sendo elas: a sólida, formada pelos resíduos decantados que sedimentam no fundo, e a líquida, que fica acima da primeira, e sob esta se forma a espuma, proveniente da fração que flutuou. Quando do esgotamento, essas camadas se misturam formando um só resíduo. Esse resíduo não apresenta características típicas nem de esgotos nem de lodo, pois é bem mais concentrado que os esgotos domésticos e possui características peculiares, como por exemplo, a alta concentração de óleos e graxas, associada muitas vezes a capacidade do sistema em reter material graxo ou devido à prática das imunizadoras também esgotarem as caixas de gordura.

Ratis (2009), Leite *et al.* (2006), Tachini (2006), Rocha & Sant’Anna (2005), Cassini (2003) e Meneses *et al.* (2001), analisaram o conteúdo de caminhões a vácuo e obtiveram os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Características físico-químicas e microbiológicas dos resíduos esgotados de tanques sépticos e fossas.

PARÂMETROS	Ratis (2009)	Leite <i>et al.</i> (2006)	Tachini (2006)	Rocha & Sant'Anna (2005)	Cassini (2003)	Meneses <i>et al.</i> , (2001)
Temperatura (°C)	29,1	-	-	24	-	30
pH	6,64	-	-	-	6,69	6,94
Condutividade (µS/cm)	1797	-	-	-	-	1550
DBO (mg/L)	2.649	1.863	11.424	2.829	2.808	2.434
DQO (mg/L)	5.056	9.419	23.835	7.911	10.383	6.895
Fósforo (mg/L)	71,3	-	-	111	45	18
Amônia Total (mg/L)	86,3	-	-	-	-	-
NTK (mg/L)	139,4	-	-	-	-	-
Nitrato (mg/L)	-	-	-	1,8	-	-
Nitrito (mg/L)	-	-	-	0,02	-	-
% Amônia	68,4	-	-	-	-	-
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	528	-	-	-	994	498
Óleos e graxas (mg/L)	755	588	-	970	1588	531
Sólidos Totais (mg/L)	7.034	9.267	49.593	1.631	9.550	12.880
ST fixos (mg/L)	2.135	4.399	-	984	-	2.824
ST voláteis (mg/L)	4.765	4.868	29.685	736	6.172	5.436
% STV	67,4	-	-	-	-	-
Sólidos suspensos (mg/L)	4.554	-	37.731	492	6.896	-
SS fixos (mg/L)	1.399	-	-	-	-	1.575
SS voláteis (mg/L)	3175	-	-	-	5019	3471
% SSV	73,4	-	-	-	-	-
Sólidos sedimentáveis (mL/L)	161,2	209	579	-	-	266
Coliformes fecais (UFC/100)	3,89 x 10 <sup>7</sup>	-	-	-	-	3,16 x 10 <sup>7</sup>
Helmintos (ovos/L)	360	-	-	-	-	224,5
Helmintos (viabilidade %)	2,4	-	-	-	-	-

Fonte: Ratis, 2009, Leite *et al.* (2006), Tachini (2006), Rocha & Sant'Anna (2005), Cassini (2003) e Meneses *et al.* (2001)

Meneses *et al.*(2001) caracterizaram os resíduos dos tanques sépticos e fossas da Cidade do Natal/RN, coletados dos caminhões “limpa-fossa” e constataram que estes apresentavam elevada concentração de matéria orgânica, sólidos totais, DBO e DQO. Os autores encontraram valores elevados de coliformes fecais e um grandenúmero de ovos de helmintos.

Ratis (2009) também analisou os resíduos sépticos coletados na Cidade do Natal, e encontrou médias semelhantes a Meneses *et al.* (2001). Ambos apresentaram grande variabilidade ao longo do monitoramento, e isto pode ser

associado aos tipos de sistemas esgotados (tanque séptico/fossas, sumidouros e caixas de gorduras) por cada caminhão analisado.

Em Blumenau/SC, ao caracterizarem os lodos de tanques sépticos da cidade, Tachini *et al.* (2006), encontraram valores elevados de DBO e DQO. A maior parte da matéria orgânica estava associada aos sólidos em suspensão (94,7%) e 60% dos sólidos presentes eram orgânicos.

Leite *et al.* (2006) caracterizaram os resíduos da Região Metropolitana de Curitiba/PR, e encontraram valores mínimos em máximos muito discrepantes, principalmente para a DBO (mínimo 1.363 mg/L e máximo 25.488 mg/L) e DQO (mínimo 499 mg/L e máximo 4.104 mg/L.)

Rocha & Sant'Ana (2005), avaliando os resíduos em Joinville/SC também encontraram grande variação entre os resultados dos caminhões, também associadas a sua procedência.

Com base nesses dados, percebe-se a grande variabilidade entre os resíduos. Esta pode estar associada ao tempo de esgotamento do sistema, tipo de sistema esgotado, condição social dos usuários, entre outros.

### 3.2 TRATAMENTO E/OU DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS ESGOTADOS DE TANQUES SÉPTICOS

Como possuem elevadas concentrações de patógenos e parcela orgânica não estabilizada, estes resíduos possuem grande potencial poluidor e devem ser submetidos a tratamento complementar.

Os principais destinos são o despejo em estações convencionais de tratamento de esgotos domésticos, disposição no solo ou aterros sanitários, em estações de tratamento e ainda incineração, precedido de desaguamento.

A escolha do tipo de tratamento complementar a ser adotado não é tão simples e envolve vários fatores, como a disponibilidade de recursos, áreas, características do resíduo e principalmente a eficiência do tratamento para o fim a que se destina.

A Environmental Protection Agency (EPA, 1993) sugere a disposição em leitos de secagem ou lagoas.

A Figura 2 apresenta as alternativas listadas por Leite, *et al.* (2006) para o tratamento complementar dos resíduos sépticos, dividindo-as em três grandes

grupos: a disposição direta em estações de tratamento de esgotos, disposição em tanques de equalização para posterior processamento e tratamento em lagoas de estabilização. As duas primeiras alternativas requerem um desaguamento prévio.

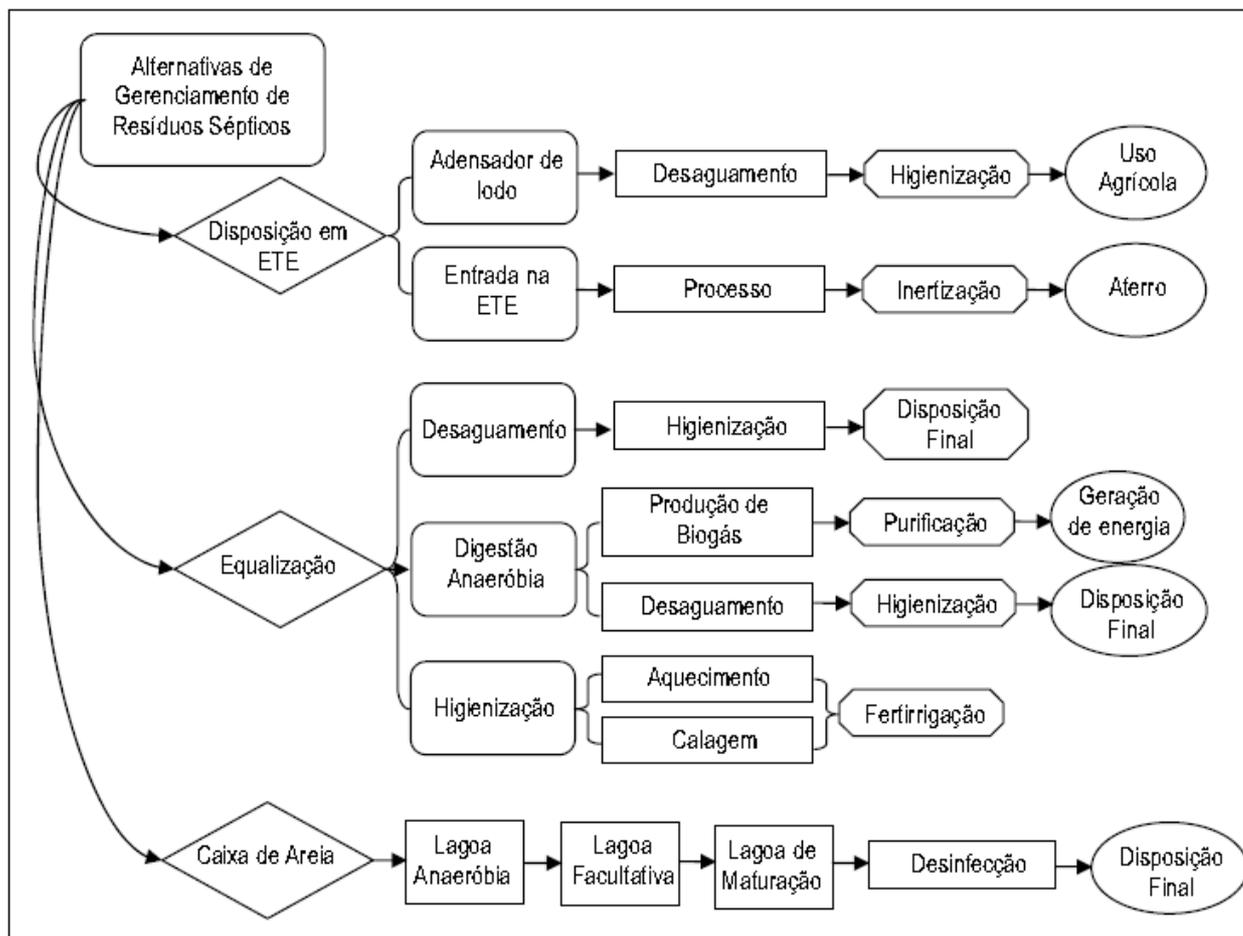


Figura 2: Alternativas de gerenciamento de resíduos esgotados de sistemas individuais de tratamento.

Fonte: Leite *et al.* (2006)

Strauss&Heinss (1995), propõem alternativas com e sem separação sólido-líquido, conforme Figura 3. No primeiro caso, a parte líquida é encaminhada para lagoas de estabilização ou para o tratamento combinado com esgoto doméstico, enquanto que a parte sólida pode ser tratada em leitos de secagem ou através de compostagem. No caso de não ser feita a separação o resíduo pode ser encaminhado direto para leitos de secagem, lagoas, digestão anaeróbia, disposição no solo, compostagem com resíduos sólidos ou co-tratamento com águas residuárias.

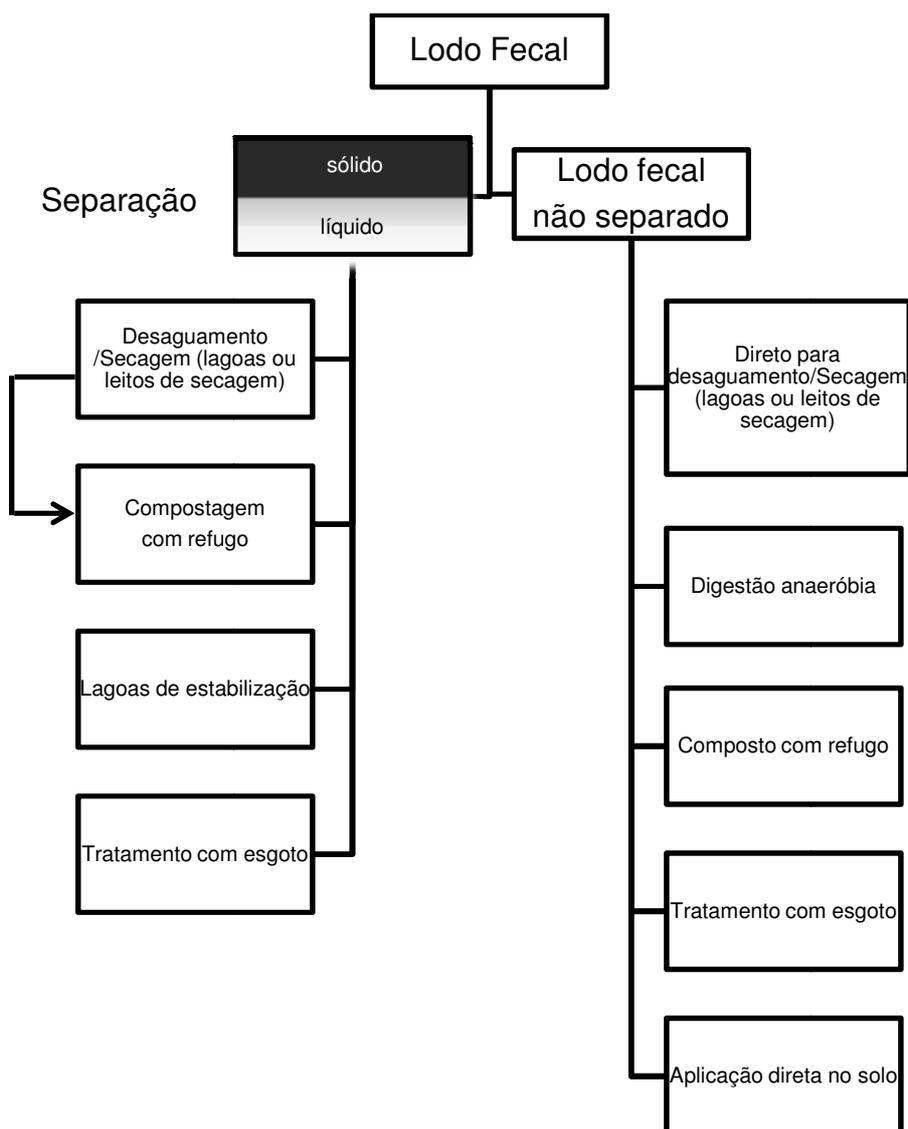


Figura 3: Opções teóricas para o tratamento de lodo fecal.

Fonte: Strauss &Heinss (1995)

Uma pesquisa realizada no estado Califórnia/EUA constatou que, em 2002, mais de 230 milhões de litros de resíduos esgotados eram tratados ou descartados por ano. Esses resíduos eram encaminhados da seguinte maneira: 81,44% para estações convencionais de tratamento de esgotos, 1,03% dispostos em aterros, 5,15% aplicados no solo, 10,30% em lagoas de lodo, ou 2,06% em sistemas exclusivos para tratamento. O Quadro 1 apresenta o número de instalações existente e o volume recebido por cada uma delas.

Quadro 1: Quadro resumidos tipos de tratamento do lodo de fossas sépticas na Califórnia

TIPO DE INSTALAÇÕES	NÚMERO DE INSTALAÇÕES	VOLUME RECEBIDO (L/ano)
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO	79	199.691.181
DISPOSIÇÃO EM ATERRO	1	NÃO AVALIADO
APLICAÇÃO NO SOLO	5	830.000
SISTEMA DE TRATAMENTO INDEPENDENTE	2	4.300.000
LAGOA	10	26.277.864

Fonte: Survey of Septage Treatment, Handling and Disposal Practices in California.

O tratamento dos resíduos esgotados em conjunto com esgotos domésticos em uma ETE pode ser uma alternativa viável e aceitável desde que a estação seja dimensionada para tal, pois esses resíduos são mais concentrados do que o esgoto doméstico e podem causar impactos no sistema.

Borges (2009) desenvolveu uma unidade piloto para pré-tratamento de lodo de fossas e tanques sépticos na ETE do Campus da Universidade de São Paulo/SP, em São Carlos/SP. Essa unidade, constituída por grade, desarenador e flotador visava a remoção de sólidos grosseiros, areia e materiais flutuantes, antes de seu lançamento na estação. A alimentação da unidade era feita através de caminhões limpa-fossa. Para uma taxa de aplicação de  $110 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$  foram obtidas remoções de 91,7% de sólidos suspensos, 89,3% de DQO e 81,9% de óleos e graxas, demonstrando a eficiência do sistema de flotação. Além disso, houve uma remoção expressiva de alguns metais pesados, principalmente o cromo, indicando que estes estão incorporados nos sólidos em suspensão. Por apresentar resultados satisfatórios, a autora recomenda a adoção do sistema em unidades de escala plena.

Naval & Santos (2000) avaliaram o tratamento combinado (lodo de fossas e tanques sépticos e esgoto doméstico) através de lagoas de estabilização em Palmas/TO. O sistema apresentou uma boa eficiência na remoção de carga orgânica (70%) e uma redução de 97,7% de coliformes termotolerantes.

### 3.2.1 Tratamento dos resíduos esgotados em lagoas de estabilização

As lagoas de estabilização são sistemas largamente utilizados para o tratamento de esgotos domésticos, podendo ser, por exemplo, anaeróbias, facultativas, aeradas, de maturação ou a combinação dessas.

Até hoje, pouco foi publicado sobre o tratamento do lodo séptico em lagoas exclusivas para esse tipo de aflente. Algumas dessas lagoas estão em operação em Gana e na Indonésia.

Uma pesquisa de campo realizada em Acra/Gana, por Heinss e Strauss(1998), avaliou o funcionamento de uma estação de tratamento com tanque de sedimentação/espessamento, seguido por uma série de lagoas para tratamento do sobrenadante. A estação recebe cerca de 150m<sup>3</sup>/dia através de caminhões de vácuo, onde 20 a 40% são oriundos de banheiros públicos e 60 a 80% de fossas sépticas. A primeira etapa consiste na separação sólido-líquido em um tanque de sedimentação, o lodo que sedimenta é armazenado no tanque, e o sobrenadante segue para uma série de quatro lagoas anaeróbias, pilha de secagem, uma lagoa de maturação e uma série de leitos de evaporação, conforme Figura 4. Os sólidos removidos do tanque de sedimentação são compostados com serragem.

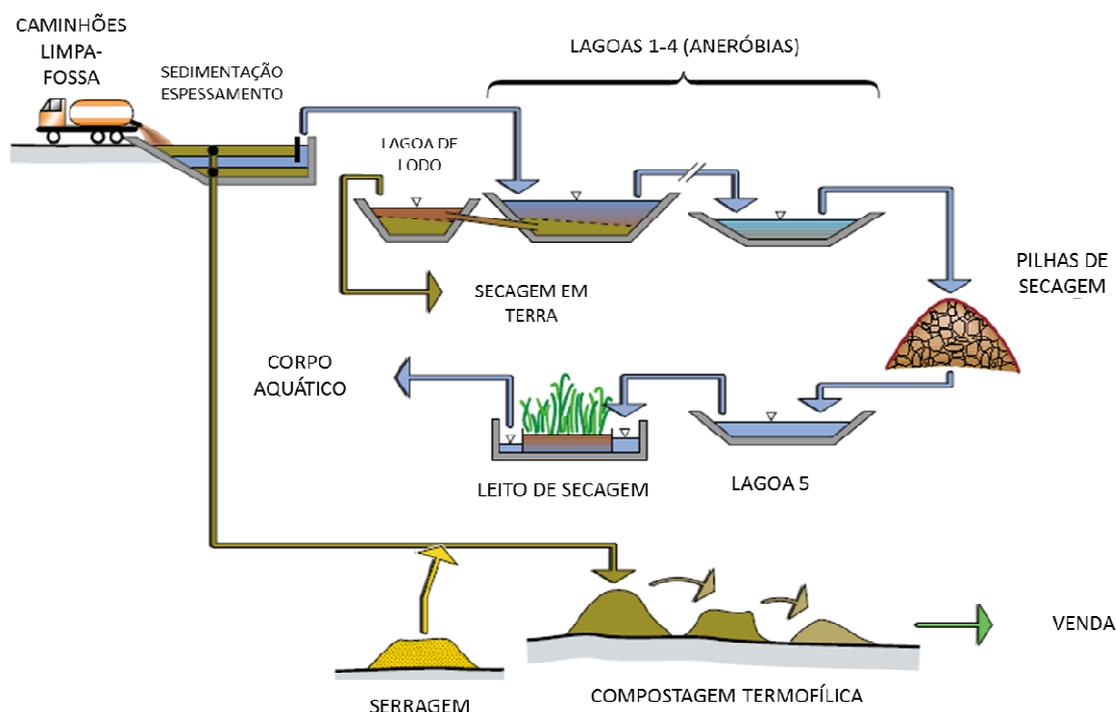


Figura 4: Lagoas de tratamento de lodo fecal em Achimotta, Accra/Gana

Fonte: Heinss & Strauss, 1998

Alguns estudos apresentaram resultados satisfatórios no tratamento dos resíduos esgotados de sistemas individuais em lagoas de estabilização.

Em Kumasi/Gana, está em operação uma estação para receber os resíduos esgotados, a Dompouse Faecal Sludge Treatment Plant (FSTP), que é composta por 5 lagoas anaeróbias em série, uma lagoa facultativa e duas lagoas de maturação e recebe 12.400m<sup>3</sup>/mês (54% do total produzido na cidade). De acordo com Heinss *et al.* (1999), a estação teve eficiência de remoção de 57% para SS, 24% para DQO, 12% para DBO e 48% para os ovos de helmintos, que foram consideravelmente mais baixa do que as eficiências registradas nestas camas de secagem piloto.

Medeiros (2009) avaliou o desempenho do uso de lagoas de estabilização em série que tratavam os resíduos de fossas e tanques sépticos da Cidade do Natal/RN. O sistema era composto por duas lagoas anaeróbias, uma facultativa, uma de maturação e um tanque de desinfecção. Após um ano de coletas em seis diferentes pontos, os resultados apontaram remoções de 88,93% de DBO, 94,87% de sólidos suspensos totais, 66,87% de nitrogênio orgânico e 99,88% de coliformes termotolerantes. Porém alguns problemas de operação prejudicaram a eficiência dos reatores, como o acúmulo do sedimento em bolsões que obstruíram o fluxo das lagoas. Esta estação é a mesma deste estudo.

### 3.3 LODODE LAGOAS ANAERÓBIAS

O acúmulo de lodo no fundo das lagoas se dá devido à sedimentação de sólidos em suspensão do seu afluente, incluindo areia e microorganismos. Sua fração orgânica é estabilizada anaerobiamente e convertida em biogás (CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, principalmente), o que faz com que o lodo acumulado seja inferior ao sedimentado. A conversão da matéria orgânica em condições anaeróbias é lenta, pois as bactérias se reproduzem em vagarosas taxas (ANDREOLI *et al.*, 2001). A eficiência na remoção de DBO geralmente é entre 50% e 70%.

A taxa de acumulação do lodo em reatores é influenciada por diversos fatores tais como as características do esgoto, tempo em operação, a eficiência do tratamento preliminar, as características geométricas da lagoa, o posicionamento dos dispositivos de entrada e saída, as taxas de carregamento orgânico e hidráulico, entre outros. Andreoli *et al.* (2001) recomenda que essas lagoas sejam limpas quando a camada de lodo atingir cerca de 1/3 de sua altura útil ou de forma

sistemática, removendo parte do volume anualmente, em um determinado mês. Caso seja feito o esvaziamento da lagoa, deve-se manter uma parte da biomassa, para que o sistema possa continuar funcionando com eficiência.

A

Tabela 2 apresenta as taxas de acumulação em lagoas anaeróbias determinadas por diversos autores, onde a média foi em torno de 5,6 cm/ano. Porém, é importante ressaltar que esses valores relatados foram para lagoas tratando esgotos domésticos, no caso de resíduos esgotados de tanque sépticos e fossas, um afluente com grandes concentrações de sólidos suspensos, acredita-se que essa taxa seja superior. De acordo com SANDEC (1998) a concentração de sólidos suspensos nos resíduos sépticos de Accra/Gana, Manila/Filipinas e Bangkok/Tailândia é de 10 a 100 vezes maior que o esgoto doméstico.

Tabela 2: Taxa de acumulação lagoas anaeróbias

TAXA DE ACUMULAÇÃO (cm/ano)	REFERÊNCIA
9,1	Gloyna, 1973
2,2 - 5,7	Silva, 1983
3,9	Tsutyia e Cassetari, 1995
4,6	Saqqar e Pescod, 1995
5,3 -7,7	Nascimento & Gonçalves, 1999

Quando a taxa de acumulação é baixa, o lodo se acumulará por muitos anos sem a necessidade de remoção. Porém, quando a carga afluente da lagoa é alta o acúmulo de lodo é bem superior, demandando remoções mais frequentes.

Após a remoção do lodo desses sistemas é interessante que esse lodo seja desaguado, para diminuição do volume e conseqüente redução do custo de transporte para o local de disposição final; melhoria nas condições de manejo do lodo; aumento do seu poder calorífico; redução de volume e diminuição da produção de lixiviado no caso de disposição em aterros sanitários.

Esse processo pode ser feito de forma natural, através do uso de leitos de secagem e lagoas de lodo, que utilizam a evaporação ou a percolação como principais mecanismos de remoção de água; ou mecanizada (centrífugas, prensas desaguadoras, filtros a vácuos, filtros prensa, membranas geotêxteis - BAG's), que

se baseiam em mecanismos como filtração, compactação, centrifugação, entre outros.

Do ponto de vista sanitário e ambiental o lodo apresenta componentes indesejáveis, como os metais pesados, os microorganismos patogênicos e alguns poluentes orgânicos.

De acordo com Lopes *et. al.* (2005) entre os patógenos passíveis de serem encontrados no lodo estão os ovos de helmintos, cistos de protozoários, bactérias e vírus entéricos, e suas quantidades são dependentes da origem, da época do ano e do processo de tratamento ao qual o lodo foi submetido, condições sanitárias da população, entre outros. A principal fonte dos agentes patogênicos no lodo é de procedência humana. Esses microorganismos podem causar infecção aos homens quando do seu manuseio, portanto, devem ser inativados.

Já os metais presentes no lodo são oriundos, principalmente de despejos industriais lançados clandestinamente. Fernandes *et al.* (1999) aponta que dentre todos os metais pesados, os elementos que oferecem perigo são o cádmio (Cd), cobre (Cu), molibdênio (Mo), níquel (Ni), zinco (Zn). Portanto, é recomendada a manutenção de pH alcalino ou neutro a fim de diminuir a mobilidade de metais pesados do lodo, já que em condições de acidez apresentam maior solubilidade.

### 3.4 USO DO LODO

O lodo pode ser destinado a diversos fins, dentre eles citam-se principalmente o uso agrícola, uso na recuperação de áreas degradadas e na construção civil. Todas as alternativas devem ser adotadas com o estabelecimento de critérios que visem a segurança antes/durante/após o manuseio do resíduo. Algumas condições auxiliam na escolha da melhor alternativa a ser empregada ao lodo gerado. Dentre elas, pode-se considerar: qualidade do lodo, tecnologia adotada para o tratamento, a escala de produção, a legislação ambiental, dentre outros.

#### 3.4.1 Agricultura

O uso agrícola do lodo é realizado através da sua disposição em solo associada ao plantio de culturas, após tratamento adequado do produto. Esta é a alternativa de disposição final de menor impacto ambiental negativo e tem sido praticada em vários países. Sua aplicação torna-se viável principalmente devido à

incorporação de macro e micronutrientes, que estão disponíveis em grandes quantidades no produto. Além disso, ele aumenta a retenção de água em solos arenosos e melhora a permeabilidade e infiltração nos argilosos.

Na região metropolitana de Curitiba, por exemplo, 105 mil toneladas de lodo de esgoto foram utilizadas no cultivo de feijão, milho, soja, adubo verde, trigo, aveia, cobertura de inverno, grameiras (implantação), pós-colheita e implantação de fruteiras de caroço, no período entre 2000 e 2008 (BITTENCOURT *et al.*, 2009a).

Embora esta prática se apresente como uma das alternativas mais atrativas, por outro lado existe o risco de contaminação do solo, e conseqüentemente da cultura, por patógenos e metais pesados.

A presença de metais pesados no lodo causa preocupações quanto ao risco de contaminação da cadeia trófica (magnificação trófica) e pela possibilidade de percolação dos metais para águas subterrâneas.

Borges & Coutinho (2004) destacam a importância de se conhecer também os atributos do solo como teor de argila, matéria orgânica, óxidos e pH, pois estes influenciam o comportamento dos metais. Os autores ressaltam que as legislações nacionais e internacionais estabelecem como critério apenas os teores do lodo, sem considerar essa interação.

Contudo, vale ressaltar que embora haja um aumento de produtividade com a utilização do lodo de esgoto nas culturas, a quantidade a ser aplicada varia em função da exigência nutricional da espécie, da fertilidade do solo e das características do mesmo. De acordo com Melo *et al.* (2001) a recomendação da quantidade de lodo a ser aplicada deve ser feita tomando-se como base os teores de nitrogênio no lodo e os requeridos pelas cultura. Fernandes *et al.* (1999) sugerem que a taxa de aplicação seja limitada pela elevação de pH que o lodo confere ao solo, não podendo ser superior a 7,5.

Chiba *et al.* (2008) aplicaram o lodo em um argissolo vermelho cultivado com cana-de-açúcar durante dois anos. Os resultados mostram que a aplicação do lodo causou incrementos nos teores de C do solo, em maior teor no segundo ano. Também houve acréscimo dos micronutrientes Cu e Zn, enquanto que os demais atributos do solo avaliados (pH, P, K, Ca e Mg) não tiveram alteração. Quando avaliadas, as folhas não apresentaram alteração nos teores de metais quando comparadas às folhas antes da inserção do lodo.

Nogueira *et al.* (2007) aplicaram lodo higienizado e não higienizado a solo com cultivo de feijão e milho e verificaram que nos dois casos as densidades de coliformes termotolerantes no solo foram extremamente baixas. E constataram que para a adição do lodo de esgoto tratado com cal, houve uma diminuição dos teores disponíveis de metais pesados no solo.

### **3.4.2 Recuperação de áreas degradadas**

De acordo com Marx *et al.* (1995) as áreas degradadas caracterizam-se pela remoção do horizonte superficial do solo, o que ocasiona perda de nutrientes e de matéria orgânica, ausência de atividade biológica e propriedades físicas alteradas, fatores que favorecem a atuação dos processos erosivos e a acidificação do substrato.

As principais causas de degradação de um solo estão relacionadas, na maioria das vezes, às atividades antrópicas como construção de estradas e barragens, terraplenagem, exploração mineral, atividades agropecuárias, entre outros. Além disso, processos erosivos causados pelas chuvas também contribuem. Portanto, sua recuperação deve retomar sua integridade física, química e biológica, de modo que a área volte a ter sua capacidade produtiva.

A aplicação do lodo nessas áreas traz benefícios às propriedades físicas do solo, melhorando a formação de agregados, melhorando o condicionamento, a infiltração, a retenção de água e a aeração.

Como o reflorestamento não envolve produtos para consumo alimentar e pode ser instalado em áreas distantes dos grandes centros urbanos, com acesso restrito a pessoas e animais, o lodo se mostra uma excelente alternativa para esta atividade, tendo em vista que a prática não apresenta empecilhos sanitários. Vários autores ressaltam também a importância da presença de espécies vegetais no processo de recuperação.

Bezerra *et al.* (2006) avaliaram a viabilidade da aplicação do lodo de esgoto no processo de revegetação de uma área degradada situada na área patrimonial do Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim, no Rio de Janeiro. Esta área teve seu relevo bastante descaracterizado, em consequência da extração de material para a construção do segundo terminal de passageiros, e foi rebaixada em até 10m de profundidade. Com a adição do material os autores verificaram que houve um aumento significativo dos teores de carbono orgânico, nitrogênio, fósforo, magnésio,

potássio e cálcio, da capacidade de troca catiônica e dos teores dos micronutrientes (Fe, Zn e Cu) também aumentaram significativamente com a aplicação de lodo. Contudo, não se observou efeito significativo da aplicação de lodo no desenvolvimento das espécies vegetais utilizadas.

Em São Paulo, Guedes (2005) avaliou o efeito da aplicação do lodo da ETE Barueri sobre o crescimento das árvores e a produção de fitomassa em eucaliptos. Ao longo de quatro anos de avaliação o autor verificou o aumento dos teores de nutrientes nas folhas, nas taxas de retorno de nutrientes ao solo e a velocidade da serapilheira acumulada no solo.

Colodro (2005) observou que os tratamentos com lodo de esgoto promoveram melhor crescimento e maior diâmetro das plantas de eucalipto e que a dose de 60 mg.ha<sup>-1</sup> foi significativamente superior à de todos os demais tratamentos estudados.

### **3.4.3 Construção civil**

A aplicação de lodo como insumo na construção civil é uma atividade que vem sendo pesquisada, mas que ainda não exerce um papel significativo, embora seja uma área atrativa, pois há um elevado volume de recursos naturais consumidos em suas atividades. Estima-se que esse setor utilize de 20% a 50% do total de recursos naturais consumidos pela sociedade (SAITO, 1994).

Dentre as alternativas de uso destacam-se as seguintes: matéria prima na fabricação de agregados leves, cimento, cerâmica vermelha, blocos e placas de vedação, peças decorativas em concreto, tampas de concreto para coberturas de fossas e caixas de passagem, pedestais para apoio de equipamentos, calçadas e pavimentos residenciais, componentes de misturas asfálticas, entre outros.

Onaka (2000) testou o processamento de lodo diretamente em uma fábrica de cimento durante nove meses consecutivos. Inicialmente foi feita a secagem do lodo, transformando-o em pastilhas de 2 a 10 mm de diâmetro e eram lançadas ao forno junto com o restante da matéria-prima do cimento. O estudo demonstrou que a incorporação dessas pastilhas pode ser adotada vantajosamente pelo fabricante de cimento Portland. Além disso, os resultados revelam que a incorporação de apenas 2% do lodo seco como matéria prima em fornos de clínquer permitiria consumir todo o lodo gerado no Japão. O monitoramento dos gases e o controle de qualidade do produto não indicaram nenhuma alteração em relação aos valores sem o uso do lodo.

TAY& SHOW (1994) analisaram as propriedades do biocimento, fabricado a partir da adição do lodo de esgoto. Os resultados mostram que o biocimento pode substituir até 30%, em peso, o cimento Portland comum, sem prejudicar a resistência da argamassa. O estudo indicou também que o biocimento apresentou resistência suficiente para o trabalho de alvenarias em geral.

A indústria da cerâmica vem sendo alvo de diversas pesquisas, pois as massas agilosas utilizadas na fabricação de telhas, tijolos, lajotas, agregados leves de argila expandida, tubos e etc., tem natureza homogênea, aceitando bem a incorporação de outros resíduos.

Wengert *al.* (2006) ao estudarem a adição de lodo procedente de estações de tratamento de esgoto industrial recomendaram a dosagem de 10% de lodo e uma temperatura de queima entre 800 e 960°C.

Medeiros (2006) incorporou resíduos de tanque séptico, *in natura* e calcinados, a uma mistura do tipo concreto asfáltico substituindo parcialmente os agregados convencionais. O lodo *in natura* foi adicionado como agregado miúdo, substituindo a areia em dosagens de 5 a 40%. O lodo calcinado, usado como filler compôs a mistura que substituíu o cimento nas proporções de 1%, 2% e 3%. No primeiro caso ficou constatado que as misturas com até 7,5% de lodo atendem as especificações do Departamento Nacional de Infra-estrutura e Transportes (DNIT). No segundo, o maior desempenho foi encontrado para a mistura com 1%.

Andrade (2005) verificou que a incorporação de 7% de lodo na massa cerâmica não alterou significativamente características como resistência, absorção de água, planeza das peças, dimensões e esquadros, porém ocorreram problemas de ordem técnica, como um maior consumo de combustível na queima e a dificuldade de se atingir a temperatura de 900°C, que foi atribuída à calcita presente no lodo.

Duarte (2008) fabricou tijolos cerâmicos, em escala real, com a adição de lodo séptico nas dosagens de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% e 40% e comparou com o tijolo tradicional, concluindo que houve diminuição significativa da resistência a compressão à medida que era aumentado o volume de lodo. Porém, mesmo com a diminuição desta resistência, que chegou a 70% para dosagens de 15% e 20%, esta foi atendida nesses casos.

### 3.5 LEGISLAÇÃO

Tanto no âmbito nacional quanto internacional poucas legislações tratam especificamente do destino dos resíduos esgotados de tanques sépticos e fossas. Alguns estados ou cidades brasileiras limitam-se a proibir o despejo em corpos aquáticos, porém não obrigam às empresas a manterem estações de tratamento; outros direcionam esses resíduos para estações de tratamento de esgotos convencionais, mas na maioria das cidades não há, sequer, o controle e monitoramento da prestação de serviços de “limpa-fossa” por parte dos municípios.

Com relação ao uso do lodo produzido por estações de tratamento, existem algumas normas e diretrizes, mas todas com enfoque no uso agrícola. O uso como insumo em processos produtivos da construção civil não são contemplados, dificultando sua utilização pela falta de padronização.

#### **3.5.1 Legislação acerca da gestão dos resíduos esgotados**

No Brasil, de acordo com o Decreto nº 7.217/10, consideram-se serviços públicos de esgotamento sanitário os serviços, entre outras coisas, a “disposição final dos esgotos sanitários e dos lodos originários da operação de unidades de tratamento coletivas ou individuais, inclusive fossas sépticas”. Portanto, seria de responsabilidade do município o manejo desses resíduos. Na prática, essa gestão fica dividida entre o poder público e empresas privadas que dispõem desse serviço, sendo ou não regulamentadas, dependendo do município.

A Resolução nº 375/06 do CONAMA veta a utilização agrícola de “lodos provenientes de sistema de tratamento individual, coletados por veículos, antes de seu tratamento por uma estação de tratamento de esgoto”.

A NBR 7229/93 proíbe o lançamento do lodo e a espuma removidos dos tanques sépticos em corpos d’água ou galerias de águas pluviais e determina que o lançamento do lodo digerido em estações de tratamento de esgotos ou em pontos determinados da rede coletora de esgotos, é sujeito à aprovação e regulamentação por parte do órgão responsável pelo esgotamento sanitário na área considerada.

Na Cidade do Natal/RN, a Lei nº 4.867/97, obriga “as empresas imunizadoras que coletam objetos sanitários, residenciais e comerciais, públicos ou particulares” a possuírem sistema próprio de lagoas de estabilização.

Já em Maceió/AL, o Código Municipal do Meio Ambiente, instituído pela Lei Nº 4.548, de 21 de novembro de 1.996, determina que “os dejetos provenientes da limpeza de fossas sépticas... deverão ser despejados na rede pública de esgotos, de acordo com as normas do órgão estadual competente”.

Em Belém/PA, a Lei nº 7.597 de 29 de Dezembro de 1999, estabelece que as empresas limpa-fossa determinem o local de despejo do resíduo, que será avaliado pela Secretarias Municipais de Saneamento, Saúde e Meio Ambiente.

Em Ponta Grossa/PR a Lei nº 8.427, de 16 de janeiro de 2006, que concede a prestação dos serviços públicos de saneamento básico de água e de esgotos sanitários à SANEPAR, determina que a concessionária local é responsável pela “limpeza de fossa” e por “destinar os resíduos para estação de tratamento”.

O Decreto nº 3.112 de 27 de Dezembro de 2007, que regulamenta a prestação de serviço de limpa-fossa, autoriza o Serviço Intermunicipal de Água e Esgoto (SIMAE) dos Municípios de Joaçaba/SC, Herval d`Oeste e Luzerna, a coletar e despejar os resíduos esgotados dos sistemas individuais na Estação de Tratamento de Esgotos do SIMAE, cobrando uma taxa fixa também determinada pelo decreto.

Em Estância de Atibaia/SP, a Lei nº 3.936 de 10 de novembro de 2010, determina que o manejo e a limpeza de fossas sépticas e negras no município somente poderão ser realizados por empresas autorizadas que comprovem o credenciamento em algum centro de tratamento de esgoto.

Em Manaus/AM o Decreto n.º 28.678 de 16 de junho de 2009, determina que as empresas proprietárias de carros “limpa-fossa” deverão ter sua própria estação de tratamento dos efluentes coletados ou manter contrato com empresa ou instituição que o faça, além disso, deverão apresentar mensalmente análises química, físico-química e biológica de seus efluentes para apreciação do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM).

O Regulamento de Saneamento de São Pedro do Sul/RS proíbe a introdução de “lamas extraídas de fossas sépticas e gorduras ou óleos de câmaras retentoras ou dispositivos similares, que resultem das operações de manutenção” nos sistemas de esgotos do município.

Em Votuporanga/SP, o Decreto nº 8.280/10 prevê que o esgotamento de fossas, em locais onde não dispõe de rede pública de esgotamento sanitário, poderá ser realizado pela Superintendência de Água, Esgotos e Meio Ambiente de

Votuporanga (SAEV), e despejado nos poços de visita da rede pública de esgoto, mediante pagamento de tarifa.

Já no âmbito internacional, seguem algumas legislações. O estado de Wisconsin nos EUA, a NR 113 define as regras para: disposição do lodo séptico no solo, como taxa de aplicação, profundidade e distâncias máximas a serem respeitadas, taxa de permeabilidade mínima do solo; disposição em estações públicas de tratamento de esgoto doméstico, desde que obedecidas as regras da estação, podendo esta negar o recebimento deste efluente; utilização em campos agrícolas e na recuperação de áreas degradadas, determinando algumas intervenções, como o ajuste de pH.

Na província de Santa Fé, na Argentina, os efluentes de estações de tratamento tratando resíduos de tanques sépticos devem ter, no máximo, concentração de DBO, DQO, SS e coliformes fecais (CF), de 50, 125, mg/L, 60 mg/l O<sub>2</sub> e 105 UFC/100 ml, respectivamente.

Na China, a National Nightsoil Treatment Standards, de 1987 requer uma remoção de ovos de helmintos superior a 95% para o uso agrícola do lodo séptico.

Na Dinamarca, os resíduos de fossas sépticas deve ser tratadas através da estabilização (digestão anaeróbia ou aeróbia, compostagem, química estabilização com cal ou mineralização), pela compostagem a 55°C, por no mínimo 2 semanas, ou por um processo controlado que garanta sua higienização (por exemplo, um tratamento térmico a 70°C por no mínimo uma hora, ou tratamento com cal viva de modo que o material atinge um pH de 12, em pelo menos 3 meses de digestão sob especificações predeterminadas.

### **3.5.2 Legislação acerca da utilização do lodo produzido em estações de tratamento**

No Brasil, a Resolução Nº 375, de 29 de Agosto de 2006 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) define os critérios e procedimentos para o uso agrícola do lodo. A norma estipula a criação de Unidades de Gerenciamento de Lodo (UGL), responsáveis pelo “recebimento, processamento, caracterização, transporte, destinação do lodo de esgoto produzido por uma ou mais estações de tratamento de esgoto sanitário e monitoramento dos efeitos ambientais, agrônômicos e sanitários de sua aplicação em área agrícola” (BRASIL, 2006), além

de determinar os critérios para análise do produto, estabelecer os parâmetros que devem ser analisados e estipular seus valores máximos permitidos.

Alguns estados também possuem regulamentação orientando a maneira adequada de realizar o uso agrícola do lodo, como é o caso de São Paulo, que através da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), órgão vinculado à Secretaria do Meio Ambiente, estabeleceu a Norma Técnica P4.230 que regulamentam o uso de lodos resultantes de tratamentos biológicos.

No estado do Paraná, a SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) elaborou Manuais Técnicos que orientam sobre os procedimentos de produção do lodo, os métodos de higienização adequados ao uso agrícola, as vantagens, fatores limitantes e procedimentos para o uso do resíduo em áreas de produção, entre outras coisas.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) cita o lodo de esgoto como fertilizante orgânico na Instrução Normativa Nº 23/05.

Na União Européia, a *Directive* 86/278/EEC incentiva o uso do lodo de esgoto na agricultura e regula seu uso de modo a evitar efeitos nocivos ao solo, às culturas, animais e homens e proíbe a aplicação de lodo não tratado.

Quanto à presença de agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos, assim como a EPA, a legislação brasileira (Resolução Nº 375/06 do CONAMA) também divide o lodo em duas classes com base nas concentrações de coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, salmonela e vírus entéricos, conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Classes de lodo em relação à presença de agente patogênicos

TIPO DE LODO	CONCENTRAÇÃO DE PATÓGENOS	
A	COLIFORMES TERMOTOLERANTES	< 10 <sup>3</sup> NMP/g ST
	OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS	< 0,2 ovos/g ST
	SALMONELLA	AUSÊNCIA EM 10g ST
	VÍRUS	< 0,25 UFPouUFF/g ST
B	COLIFORMES TERMOTOLERANTES	< 10 <sup>6</sup> NMP/g ST
	OVOS VIÁVEIS DE HELMINTOS	< 10 ovos/g ST

ST: SÓLIDOS TOTAIS. NMP: NÚMERO MAIS PROVÁVEL. UFF: UNIDADE FORMADORA DE FOCO. UFP: UNIDADE FORMADORA DE PLACA

Fonte: CONAMA (2006)

No tocante aos metais pesados, deverão ser respeitados os valores máximos determinados por cada legislação, conforme o Quadro 2.

Quadro 2: Valores máximos permitidos de metais em lodo para uso agrícola.

ELEMENTO	VMP CONAMA 375/2006 (mg/kg) <sup>1</sup>	VMP 86/278/EEC (mg/kg) <sup>2</sup>	VMP 3rd Draft EU (mg/kg) <sup>3</sup>	U.S.EPA Part 503 Rule <sup>4</sup>	África do Sul - Diretrizes A11/2/5/4 Tipo D.
<b>Cd</b>	39	40	10	85	15,5
<b>Co</b>	NI	NI	NI	NI	100
<b>Cu</b>	1.500	1.750	1.000	4.300	50,5
<b>Pb</b>	300	1.200	750	840	50,5
<b>Cr</b>	1.000	1.750	1.000	3.000	1.750
<b>Ni</b>	420	400	300	420	200
<b>Zn</b>	2.800	4.000	2.500	7.500	353,5

NI: NÃO INFORMADO

1: LEGISLAÇÃO BRASILEIRA. 2, 3: LEGISLAÇÃO EUROPÉIA. 4: LEGISLAÇÃO AMERICANA. (5) LEGISLAÇÃO SUL AFRICANA

A *Permissible Utilisation and Disposal of Sewage Sludge* da África do Sul (1991), classifica o lodo em quatro categorias, da classe A à classe C o lodo pode ser utilizado como uma correção do solo, com certas restrições, e o produtor de lodo é responsável por sua manipulação, eliminação e uso do lodo. O lodo do tipo D pode ser utilizada sem restrições até 8t/ha.

A *Part 503 Rule* e a Resolução N<sup>o</sup> 375/06 também determinam as cargas cumulativas máximas permitidas pela aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas.

Quanto aos micronutrientes, as normas brasileiras não fixam valores máximos permitidos. Já a Norma Francesa NFU 44/041 (1985) determina a caracterização dos teores de N e P e a definição de qual destes será o fator limitante e determinante da dose máxima permissível. Na Dinamarca, a aplicação é limitada a aportes máximos de 250Kg/ha.ano para o N e 40kg/ha.ano para o fósforo (BUNDGAARD & SAABYE, 1992). A Maryland's Water Quality Improvement Act regula o teor de fósforo no lodo. O Canadá também faz restrições ao conteúdo de fósforo e recomenda aplicação de lodo apenas em solos com baixos teores do nutriente (EPA, 1984).

Com relação à construção civil, no Brasil não existe uma lei que regulamente o uso do lodo com insumo, e no campo internacional não foram encontradas tais referências.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 OBJETO DO ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O objeto desse estudo foi o lodo de uma lagoa anaeróbia integrante de um sistema de tratamento de resíduos esgotados de tanque séptico e fossas da Cidade do Natal/RN. A Estação Potiguar (Figura 5) é composta por tratamento preliminar (tanque retentor de gordura, caixa de retenção de areia e gradeamento), duas lagoas anaeróbias, uma lagoa facultativa, uma lagoa de maturação, tanque de contato onde ocorre a cloração e uma calha Parshall, e foi dimensionada para receber uma vazão afluyente de 300.000 L/dia.

A estação recebe contribuição da Cidade do Natal e de toda a região metropolitana, coletando principalmente os resíduos de residências, mas também recebe resíduos de prédios comerciais. As coletas são realizadas em caminhões de 10, 20 ou 30m<sup>3</sup> e a empresa atinge uma média de 15 caminhões por dia.

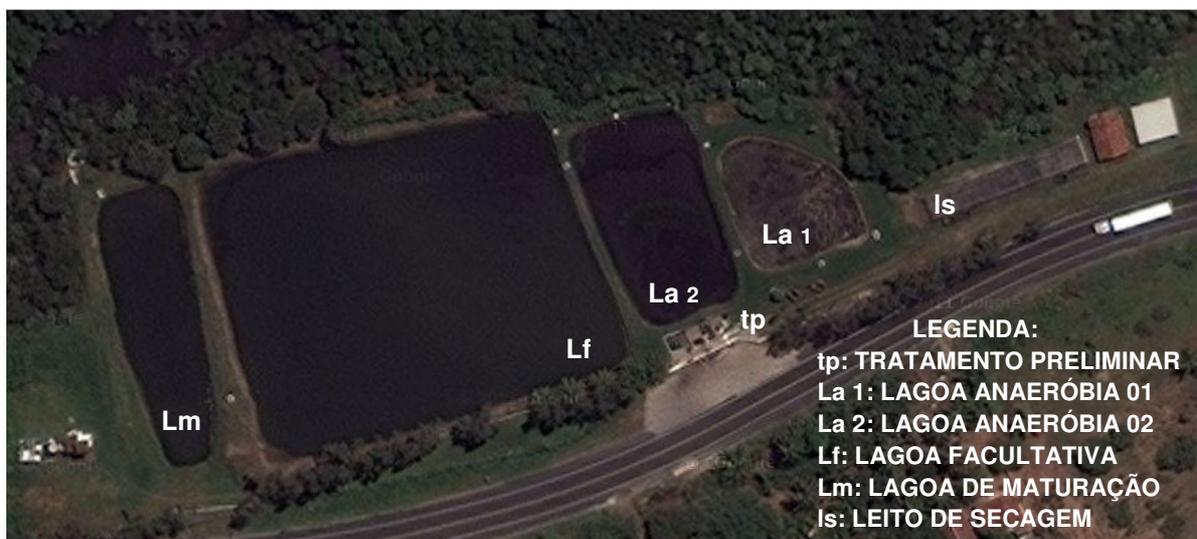


Figura 5: Vista Estação Potiguar.

Foto: Google Earth (maio/2011).

A lagoa anaeróbia 02 (La2) foi escolhida para representar o lodo gerado pela empresa, e essa escolha foi feita devido essa lagoa reter um grande volume de sólidos associado a uma maior estabilização. Para efeito de caracterização qualitativa e quantitativa foi adotado o lodo produzido apenas por esta. A Figura 6 apresenta as características físicas da La2.

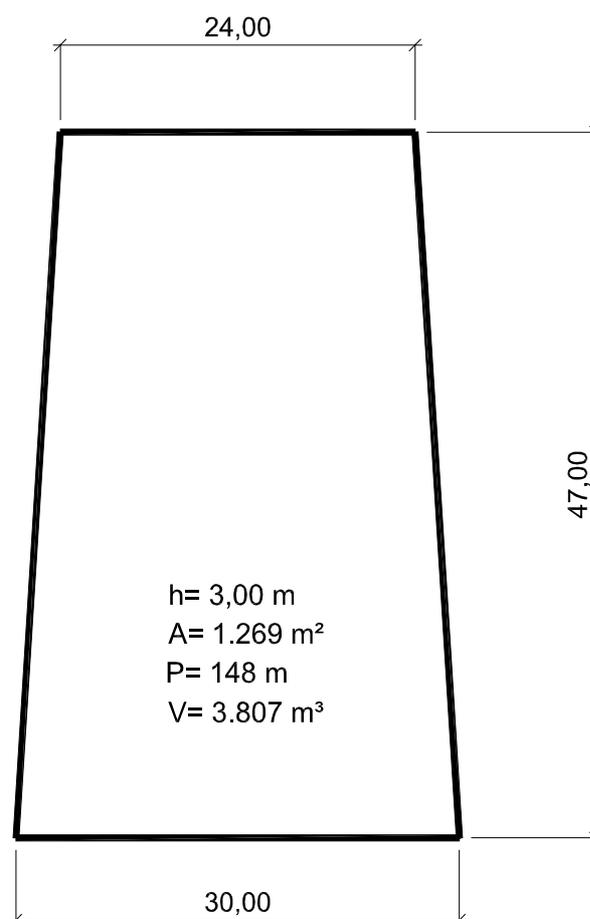


Figura 6: Planta baixa da La 2, com dados de altura, área, perímetro e volume, respectivamente.

#### 4.2 PROCEDIMENTO E FREQUÊNCIA DA COLETA

O lodo acumulado no fundo da La2 foi removido através de dragagem encaminhado para leitos de secagem para desaguamento, de onde foram retiradas as amostras, de acordo com as recomendações da Resolução nº 375/06 do CONAMA, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário.

Foram realizadas 15 (quinze) coletas no leito de secagem, com frequência semanal e cada amostra foi composta de 20 sub-amostras, que foram encaminhadas para o laboratório para serem submetidas às etapas de secagem, destorroamento e separação de frações. O material que passou pela peneira # 2 mm foi usado para a determinação das características físicas, químicas e microbiológicas.

A Figura 7 e Figura 8 apresentam imagens da lagoa antes da remoção do lodo, e a Figura 9 mostra o leito de secagem onde o lodo era desaguado.



Figura 7: Lodo no fundo da La2.

Fonte: Estação Potiguar



Figura 8: Lagoa após remoção parcial.

Fonte: Estação Potiguar.



Figura 9: Leito de secagem

Fonte: Acervo do autor.

#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DO LODO

Para avaliação das características qualitativas foram analisados os parâmetros descritos na Tabela 4. Alguns parâmetros foram escolhidos levando-se em consideração as exigências da Resolução nº 375/06 do CONAMA, com algumas adaptações e outros foram escolhidos visando à caracterização para o uso do lodo como agregado na construção civil. Foram eles: índices de plasticidade,

granulometria, umidade, análise química e mineralógica, além da avaliação do risco ambiental, através da NBR 10.004 (ABNT, 2004a) classifica os resíduos sólidos em: resíduos Classe I – Perigosos; e resíduos Classe II – Não perigosos. Sendo os resíduos de Classe II diferenciados em duas subclasses: A – Não inertes; e resíduos Classe II B – Inertes.

Tabela 4: Metodologias analíticas e referências dos parâmetros analisados.

<b>PARÂMETROS</b>	<b>REFERÊNCIA</b>	<b>METODOLOGIA</b>
Análise mineralógica		Difração por raio-X
Análise química		Fluorescência de raio-X
Cátions trocáveis	EMBRAPA, 2009	Espectofotometria de absorção atômica
Coliformes termotolerantes	APHA et al, 1998	Membrana filtrante
Granulometria	ABNT, 1984	NBR 7181/1984
Helmintos (ovos viáveis)	U.S.EPA, 2009	U.S.EPA, 2009
Índices de Consistência (LL e LP)	ABNT, 1984	NBR 6459/84 e NBR 7180/84
Lixiviação e Solubilização (Risco Ambiental)	ABNT, 2004	NBR 10.005/04 e NBR 10.006
Macronutrientes e Micronutrientes	EMBRAPA, 2009	Espectofotometria de absorção atômica
Matéria Orgânica	U.S.EPA, 2009	Método volumétrico
Metais pesados	U.S.EPA, 2009	Espectofotometria de absorção atômica
pH em água	U.S.EPA, 2009	Sonda Multiparâmetros
Sólidos totais	AWWA, 1998	Gravimétrico - secagem a 105°C
Sólidos voláteis	AWWA, 1998	Gravimétrico - ignição a 500 -550°C
Umidade	ABNT, 1988	NBR 7181/1984

O número de amostras ensaiadas para cada parâmetro foi de quinze, exceto para a granulometria e cátions trocáveis, com 10 amostras, e helmintos (contagem de ovos e viabilidade), que foram realizadas 5 amostras, pois estudos anteriores de Ratis (2009) e Meneses (2001) encontraram valores baixos para a viabilidade dos ovos já no aflente.

A caracterização quantitativa do lodo foi feita através de levantamento do volume esgotado associado ao período de detenção desse lodo na lagoa, sendo possível estimar a taxa de acumulação, como segue: conhecidas as características físicas da lagoa (Figura 6) e sabendo que na última dragagem havia cerca de 1,5m de lodo no fundo da lagoa foi determinado o volume em m<sup>3</sup>.

$$V(m^3) = A \times h_{lodo}$$

Sendo: V = volume acumulado; A = área da lagoa (em m<sup>2</sup>) e h<sub>lodo</sub> = altura de lodo medida *in loco* (m).

Como esse volume demorou três anos para se acumular, determinou-se assim, o volume produzido em m<sup>3</sup>/ano.

$$T_{ACUM} = \frac{V}{3 \text{ anos}}$$

Onde: T<sub>ACUM</sub> = taxa de acumulação.

#### 4.4 TRATAMENTO DE DADOS

A análise estatística dos dados foi feita por meio de planilhas eletrônicas. Também foram confeccionados gráficos “Box & Whisker” para alguns parâmetros e foram obtidos os valores de tendência central (média e mediana) e de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação). Para alguns parâmetros foram aplicados o coeficiente de correlação de Pearson.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos nas análises do lodo desaguado estão apresentados na Tabela 5, onde foram detalhados a mediana, média e desvio padrão (DP), além dos valores mínimos e máximos (mín-máx) encontrados para cada parâmetro. A granulometria e as análises mineralógica e química estão apresentadas nos respectivos itens.

Tabela 5: Resultados obtidos na Estação Potiguar

PARÂMETROS	UNIDADE	MÉDIA	MEDIANA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	CV (%)
Ph	ad	6,22	6,08	5,55	8,45	0,70	11,18
Ca <sup>+2</sup>	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	39,27	40,31	15,00	55,75	12,13	30,88
Mg <sup>+2</sup>	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	8,03	7,50	5,50	12,00	2,17	26,99
Al <sup>+3</sup>	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00
H <sup>+</sup> + Al <sup>+3</sup>	cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup>	4,53	4,93	0,00	7,09	2,16	47,62
K <sup>+</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>	274,80	274,00	141,00	396,00	84,59	30,78
Na <sup>+</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>	3.973,30	3.862,50	662,00	7.395,00	2.210,52	55,63
M.O.	g.kg <sup>-1</sup>	139,49	134,24	106,17	201,59	26,27	18,83
N	g.kg <sup>-1</sup>	15,40	13,35	9,97	30,55	5,47	35,50
P	g.kg <sup>-1</sup>	5,41	4,26	2,41	15,42	3,27	60,46
K	g.kg <sup>-1</sup>	0,88	0,89	0,50	1,52	0,24	26,86
Ca	g.kg <sup>-1</sup>	16,51	15,60	11,30	24,80	3,28	19,86
Mg	g.kg <sup>-1</sup>	3,51	3,52	2,59	4,33	0,48	13,62
Na	g.kg <sup>-1</sup>	5,29	4,18	1,37	16,02	3,96	74,90
S	mg.kg <sup>-1</sup>	3,64	0,71	0,25	14,30	5,39	148,06
B	mg.kg <sup>-1</sup>	9,16	7,52	5,11	15,77	3,57	38,97
Al	mg.kg <sup>-1</sup>	385,07	374,00	220,00	654,00	106,24	27,59
Cd	mg.kg <sup>-1</sup>	1,01	0,93	0,31	2,64	0,53	52,02
Co	mg.kg <sup>-1</sup>	0,57	0,56	0,28	0,85	0,15	26,68
Cu	mg.kg <sup>-1</sup>	295,44	237,00	150,00	750,00	186,17	63,01
Pb	mg.kg <sup>-1</sup>	3,67	3,42	2,85	6,84	0,98	26,75
Cr	mg.kg <sup>-1</sup>	2,90	2,54	1,56	8,20	1,54	53,04
Fe	mg.kg <sup>-1</sup>	15.702,27	15.369,00	13.137,00	21.712,00	2.179,72	13,88
Mn	mg.kg <sup>-1</sup>	117,21	124,00	70,00	147,00	24,82	21,18
Ni	mg.kg <sup>-1</sup>	4,19	3,91	2,61	6,85	1,02	24,20
Ag	mg.kg <sup>-1</sup>	0,83	0,89	0,34	1,26	0,31	37,03
Zn	mg.kg <sup>-1</sup>	846,27	750,00	450,00	1.812,00	326,62	38,60
UMIDADE	%	14,57	15,25	11,91	16,67	2,01	13,82
HELMINTOS	ovos/g	2,20	0,00	0,00	13,05	5,32	242,31
VIABILIDADE DE HELMINTOS	ovos viáveis/g	0,03	0,00	0,00	0,15	0,07	221,62
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	UFC/100 ml	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00

## 5.1 pH

Os valores de pH ( $6,08 \pm 0,9$ ) encontrados indicam um resíduo ácido, devido a origem anaeróbia e aos processos de amonificação, que tendem a reduzir o pH. Os valores das amostras foram lineares, com exceção da amostra 1 que apresentou um resíduo básico, com 8,45.

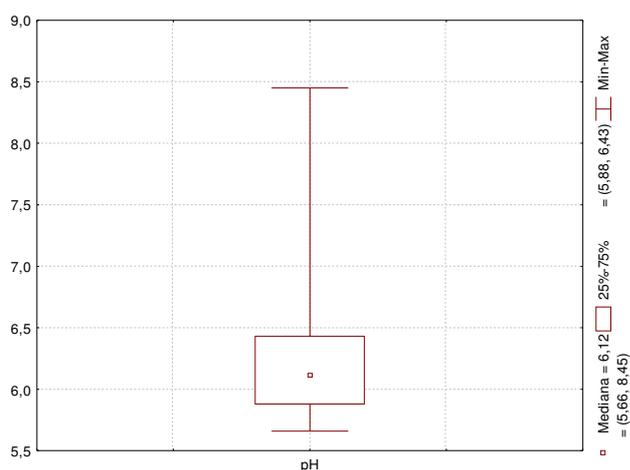


Figura 10: pH do lodo desaguado da lagoa anaeróbia 02 da Estação Potiguar

## 5.2 NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P), POTÁSSIO (K)

O nitrogênio apresentou os seguintes resultados; mediana  $13,35 \text{ g.kg}^{-1} \pm 5,47$ , mínimo  $9,97 \text{ g.kg}^{-1}$ , máximo  $30,55 \text{ g.kg}^{-1}$ .

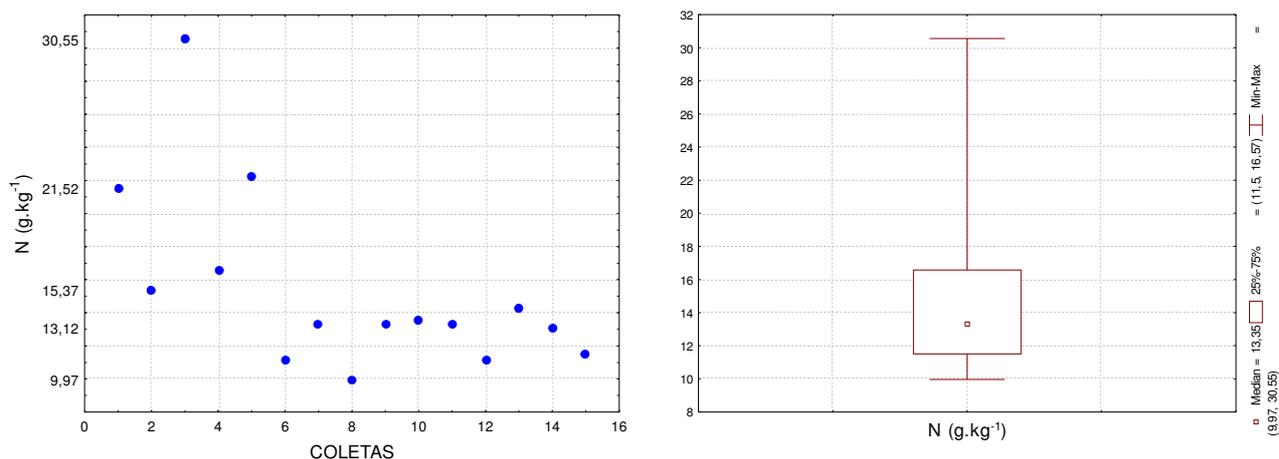


Figura 11: Nitrogênio do lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar

As primeiras amostras apresentaram valores mais elevados que as demais, o que pode estar relacionado ao local na lagoa onde o lodo ficou depositado, a altura da camada, a sua procedência, entre outros.

Para a aplicação na agricultura, de acordo com a Resolução nº 375/2006, a taxa de aplicação máxima é limitada pela relação entre o nitrogênio recomendado e o nitrogênio disponível para cada cultura.

Com relação ao fósforo, de modo geral o lodo apresenta valores em concentrações inferiores ao nitrogênio. Este apresentou mediana  $4,26 \text{ g.kg}^{-1} \pm 3,27$ , mínimo  $2,41 \text{ g.kg}^{-1}$ , máximo  $15,42 \text{ g.kg}^{-1}$ . O coeficiente de variação foi expressivo,  $60,46\%$ , com valores elevados para as amostras 3 e 4.

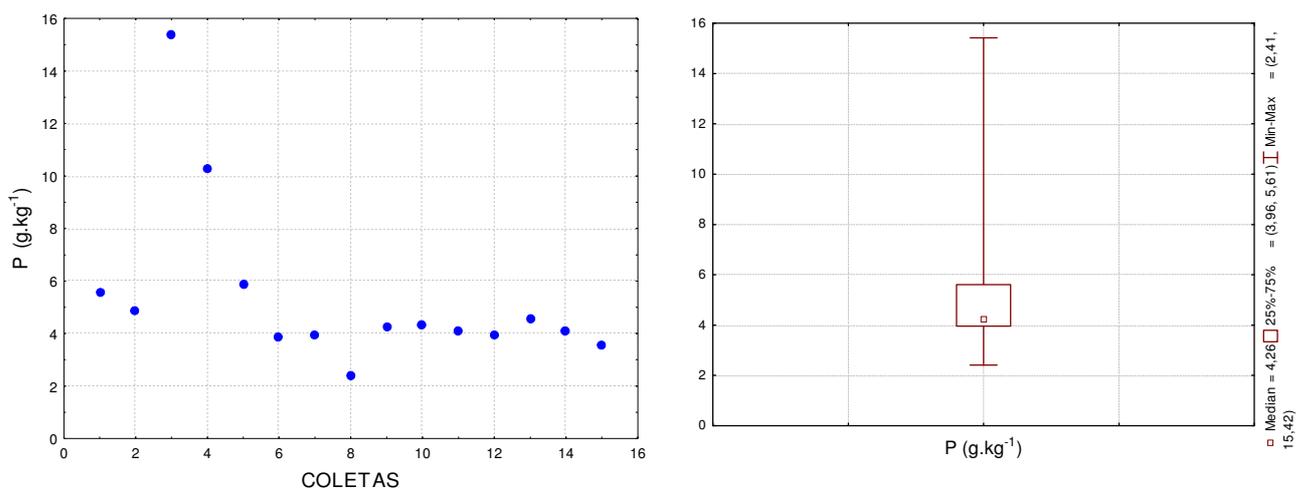


Figura 12: Fósforo do lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar

Já o potássio apresentou média de  $0,88 \text{ g.kg}^{-1}$ , mediana  $0,89 \text{ g.kg}^{-1}$  e desvio padrão  $0,31$ .

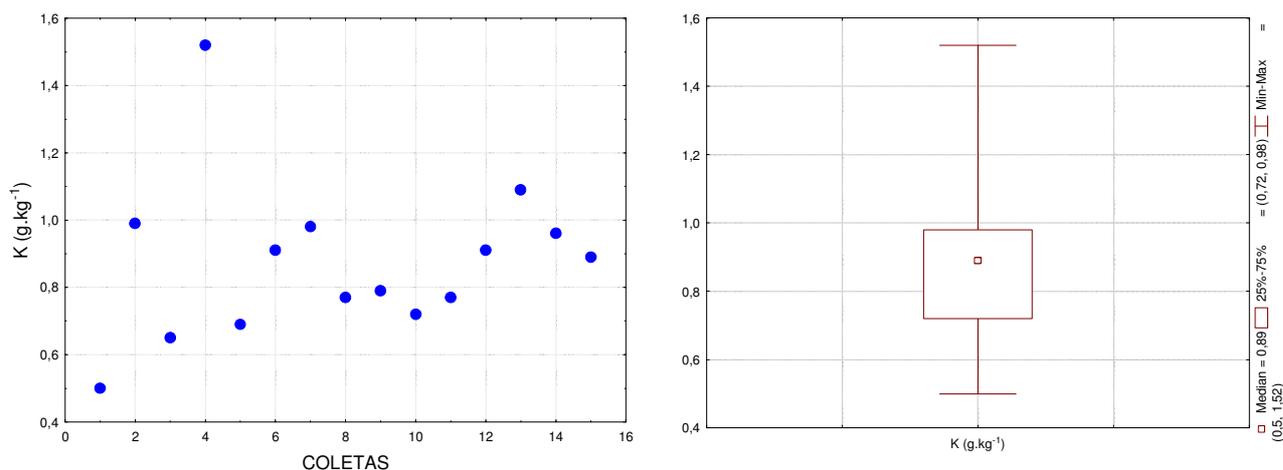


Figura 13: Potássio do lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar

Quando comparado a outros compostos o lodo apresentou a maior concentração de nitrogênio (Figura 14); O fósforo só foi inferior a estudos do esterco de galinha; e para as concentrações de potássio apresentaram o menor valor, o que

sugere um complemento deste nutriente quando da sua aplicação no solo (DA ROSet al, 2003; CRIPPS&MATOCHA,1991).

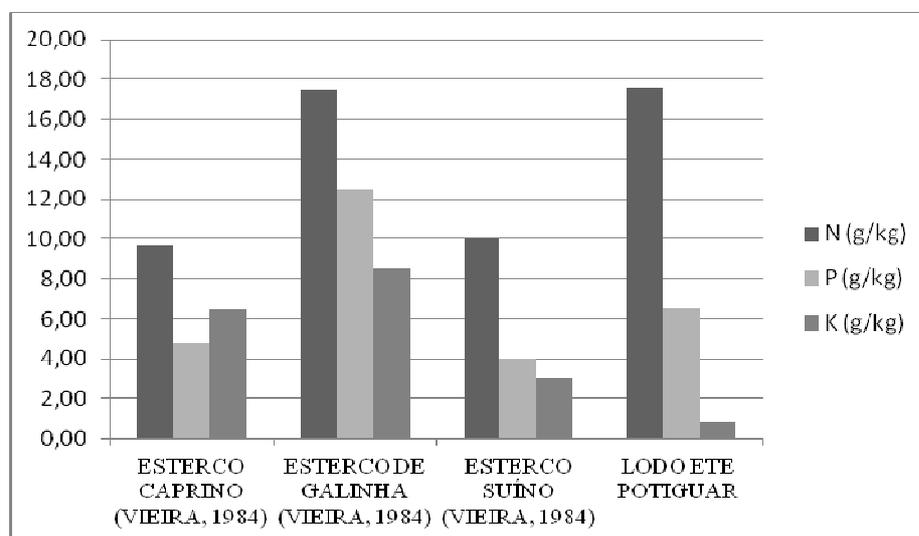


Figura 14: Concentrações de NPK em diferentes compostos.

Quando analisada a correlação entre os parâmetros, N e P apresentaram uma correlação positiva de 0,85, o que indica que quanto maior a concentração de nitrogênio maior a de fósforo.

Quadro 3: Coeficientes de correlação de Pearson entre N, P, K.

VARIÁVEIS	CORRELAÇÃO N, P, K N=15		
	N (g.kg <sup>-1</sup> )	P (g.kg <sup>-1</sup> )	K (g.kg <sup>-1</sup> )
N (g.kg <sup>-1</sup> )	1,00	0,85	-0,33
P (g.kg <sup>-1</sup> )	0,85	1,00	0,08
K (g.kg <sup>-1</sup> )	-0,33	0,08	1,00

### 5.3 MATÉRIA ORGÂNICA

Os teores de matéria orgânica foram: mediana 134,24 g.kg<sup>-1</sup>, máximo 201,59 g.kg<sup>-1</sup>, e mínimo 106,17g.kg<sup>-1</sup>.

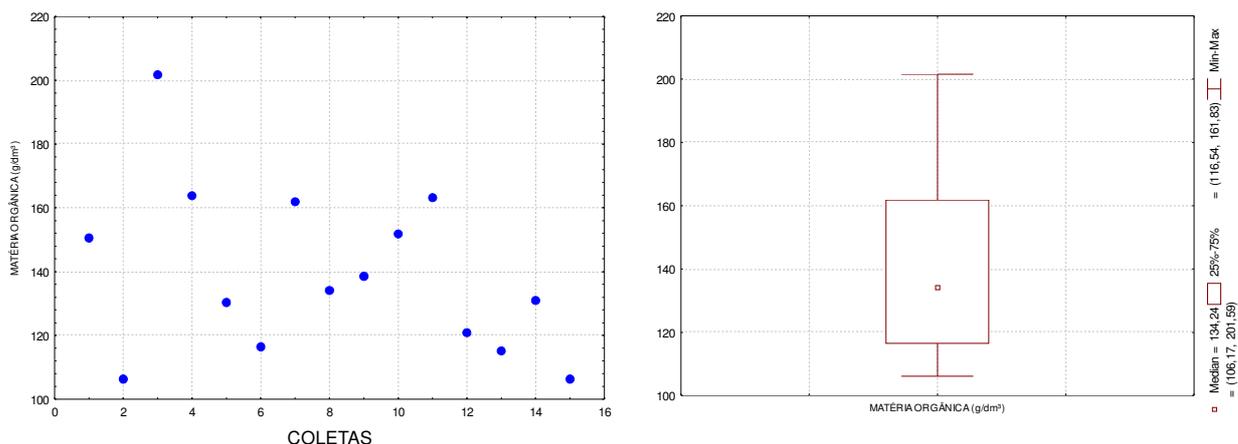


Figura 15: Matéria orgânica do lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar

Quando comparados com a literatura, os valores foram inferiores a Chueiriet *al.* (2007); Borges & Coutinho (2004), que apresentaram valores acima de 350g/kg, mas de acordo com Da Roset *al.*(2003). E ao comparar com outros compostos utilizados na agricultura seus valores são bem inferiores, como mostra a Figura 16.

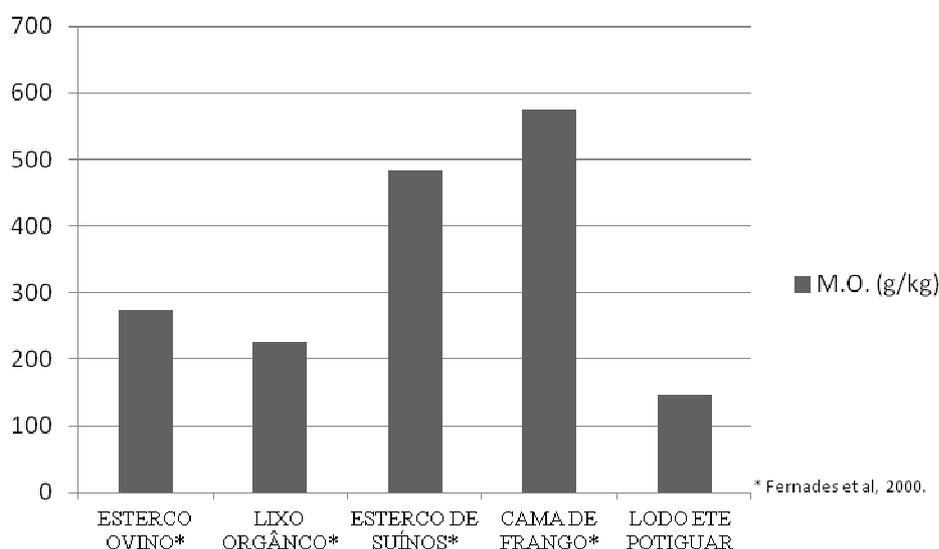


Figura 16: Concentrações de matéria orgânica em diferentes compostos.

Analisando a correlação da matéria orgânica com outros compostos químicos do mesmo resíduo, temos o resultado apresentado no Quadro 4. A matéria orgânica correlacionou-se positivamente com o nitrogênio e com o fósforo.

Quadro 4: Coeficientes de correlação de Pearson entre M.O e N, P, K

VARIÁVEIS	CORRELAÇÃO MO x N, P, K N=15		
	N (g.kg <sup>-1</sup> )	P (g.kg <sup>-1</sup> )	K (g.kg <sup>-1</sup> )
MATÉRIA ORGÂNICA (g/dm <sup>3</sup> )	0,61	0,71	-0,16

#### 5.4 CÁLCIO E MAGNÉSIO

Os valores da mediana do cálcio e magnésio foram respectivamente: 15,6 g.kg<sup>-1</sup> e 3,52 g.kg<sup>-1</sup>, apresentando uma proporção média de aproximadamente 5:1. No caso do uso na agricultura, teores de cálcio no lodo mais elevados ajudam na correção do pH nos solos, que geralmente são ácidos.

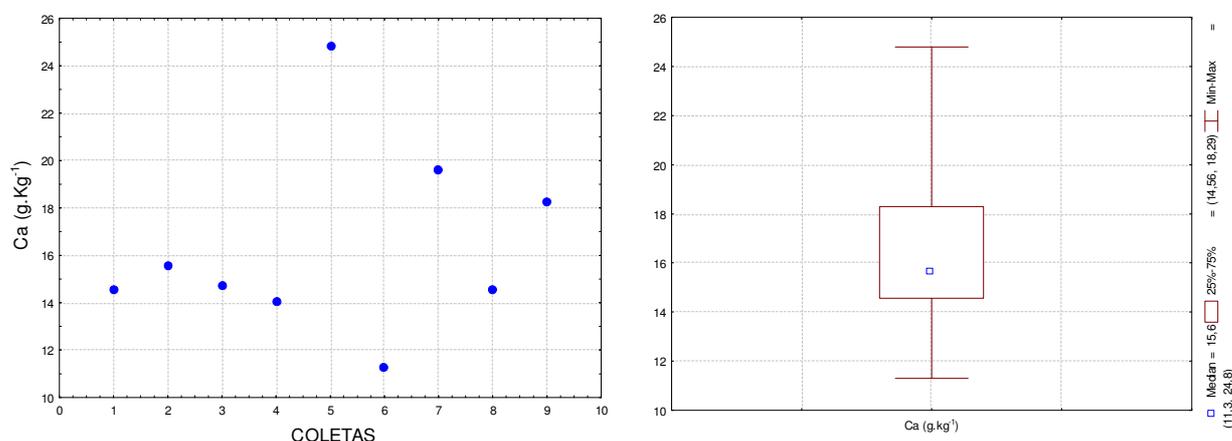


Figura 17: Cálcio no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar

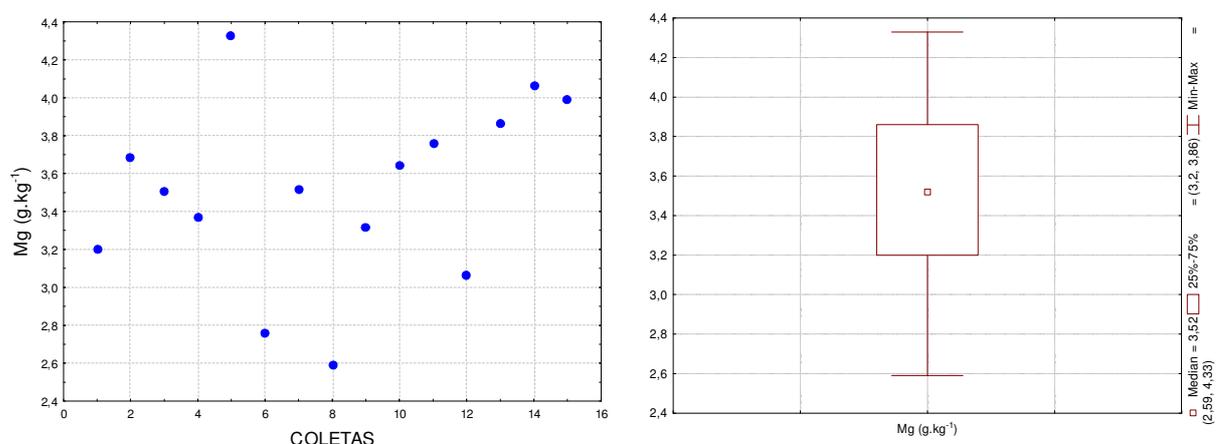


Figura 18: Magnésio no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar

Esses parâmetros apresentaram uma correlação positiva de 0,73 e foram semelhantes aos encontrados na literatura para lodos provenientes de lagoas

anaeróbias (BANEGAS *et al.*, 2007) superiores a resíduos de lodos ativados (TSUTYA, 2000b; SANEPAR, 1997).

Para o caso de uma higienização desse resíduo, através de caleação, os teores desses elementos seriam aumentados consideravelmente.

## 5.5 ENXOFRE

O enxofre apresentou mediana de  $0,71 \text{ mg.kg}^{-1} \pm 5,39$ , máximo  $14,30 \text{ mg.kg}^{-1}$  e mínimo  $0,25 \text{ mg.kg}^{-1}$ . As quatro primeiras amostras apresentaram grande discrepância com relação às demais, resultando num coeficiente de variação de 148%.

Os compostos de enxofre atacam a argamassa e os concretos e estes podem sofrer alterações que afetam sua durabilidade. No caso de aplicar o lodo como insumo da construção civil deve-se verificar os possíveis impactos dos teores de enxofre. A NBR NM 19/2004, por exemplo, determina o teor máximo teor de enxofre proveniente de sulfetos no cimento seja de 0,20% (ABNT, 2004). Para uso em peças de cerâmica vermelha, ainda há o incremento dos gases liberados pelo combustível de queima no forno, que se soma àquele presente no insumo, favorecendo ainda mais formação de eflorescência.

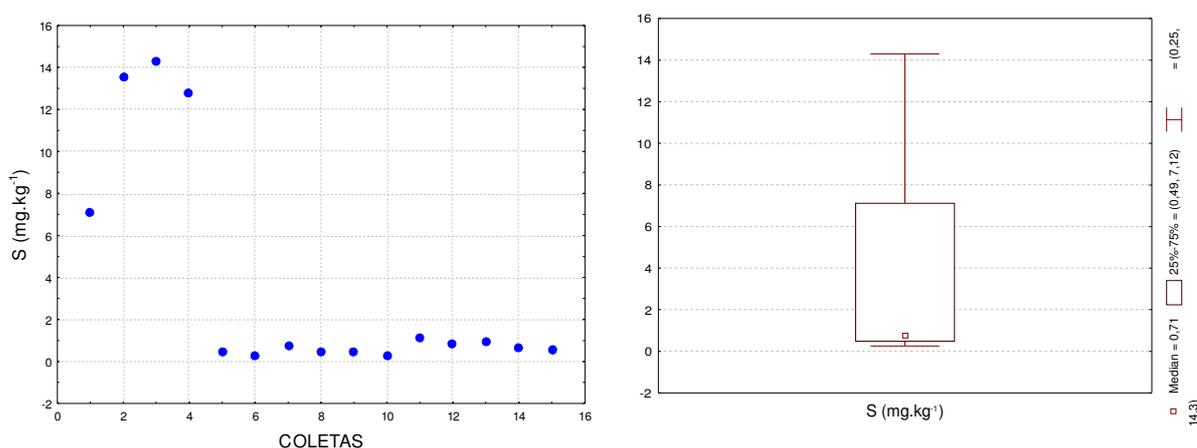


Figura 19: Enxofre lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar

## 5.6 BORO

O boro apresentou mediana de  $7,52 \text{ mg.kg}^{-1}$ , média  $10,24 \text{ mg.kg}^{-1}$ , mínimo  $5,11 \text{ mg.kg}^{-1}$  e máximo de  $15,77 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Essas concentrações foram compatíveis a resíduos aeróbios encontrados por Silva *et al.* (2000), mas inferior aos valores encontrados em lodos ativados (TSUTYA, 2000a; ARAUJO et al, 2009).

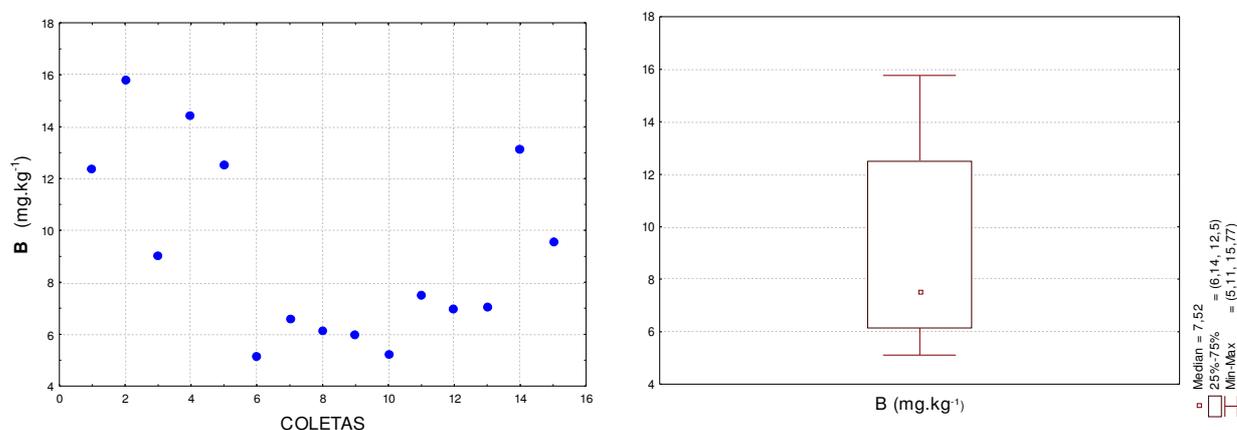


Figura 20: Boro no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar

Como o boro é um elemento essencial ao crescimento das plantas, em concentrações próximas a décimos de mg/L, e tóxico para algumas plantas em concentrações próximas a 1mg/L, no caso de uso agrícola é necessária uma investigação preliminar da sensibilidade da planta a esse nutriente.

## 5.7 CÁTIONS TROCÁVEIS

Os teores de cátions trocáveis do lodo estão apresentados no Quadro 5, junto com teores de cátions trocáveis em solos, encontrados por Abreu Jr *et al.* (2001), que variam de acordo com o tipo de solo. Essa comparação foi necessária pois não foram encontrados valores para lodo desses parâmetros na literatura.

A ausência de  $Al^{3+}$  trocável possivelmente está associada aos valores de pH (acima de 5,5).

Simonete *et al.* (2003), relatou um aumento dos teores de cátions trocáveis do solo com a aplicação de lodo de esgoto. Cada dose de lodo aplicada elevou os teores de K, Ca e Mg em de 0,0071, 0,5881 e 0,1013, respectivamente.

Quadro 5: Teores de cátions trocáveis em solos: comparação com o lodo estudado.

CÁTIONS TROCÁVEIS (mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )				
PARÂMETROS	LATOSSOLO VERMELHO ACRIFÉRRICO	ARGILOSSOLO VERMELHO- AMARELO DISTRÓFICO	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO DISTRÓFICO	LODO ESTUDADO (MEDIANA)
Ca <sup>+2</sup>	1,2	8,1	15,9	403,1
Mg <sup>+2</sup>	1,1	5,2	6,8	75
Al <sup>+3</sup>	-	-	-	0
H <sup>+</sup> + Al <sup>+3</sup>	67,3	40,5	12,8	49,3
K <sup>+</sup>	0,78	0,74	1,13	1,07
Na <sup>+</sup>	0,2	0,8	0,3	15,08
pH	4,1	3,98	5,52	60,8

FONTE: Abreu Jr.*et al.*, 2001.

## 5.8 UMIDADE

A umidade média encontrada para o lodo desaguado foi de 15,25%, o que atesta a eficiência do processo de desaguamento realizado pelos leitos de secagem. Porém, dependendo do destino a ser dado a esse resíduo, ele ainda tem presença de água que prejudique o uso e aumente os custos com transporte devido ao volume ocupado.

## 5.9 METAIS

Para facilitar as discussões os metais foram divididos levando-se em conta suas concentrações.

### - Ag, Cd e Co

A prata, o cádmio e o cobalto apresentaram mediana de 0,89 mg.kg<sup>-1</sup>, 0,93 mg.kg<sup>-1</sup> e 0,56mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente. E os valores máximos foram: 1,26mg.kg<sup>-1</sup>, 2,63mg.kg<sup>-1</sup> e 0,85mg.kg<sup>-1</sup>.

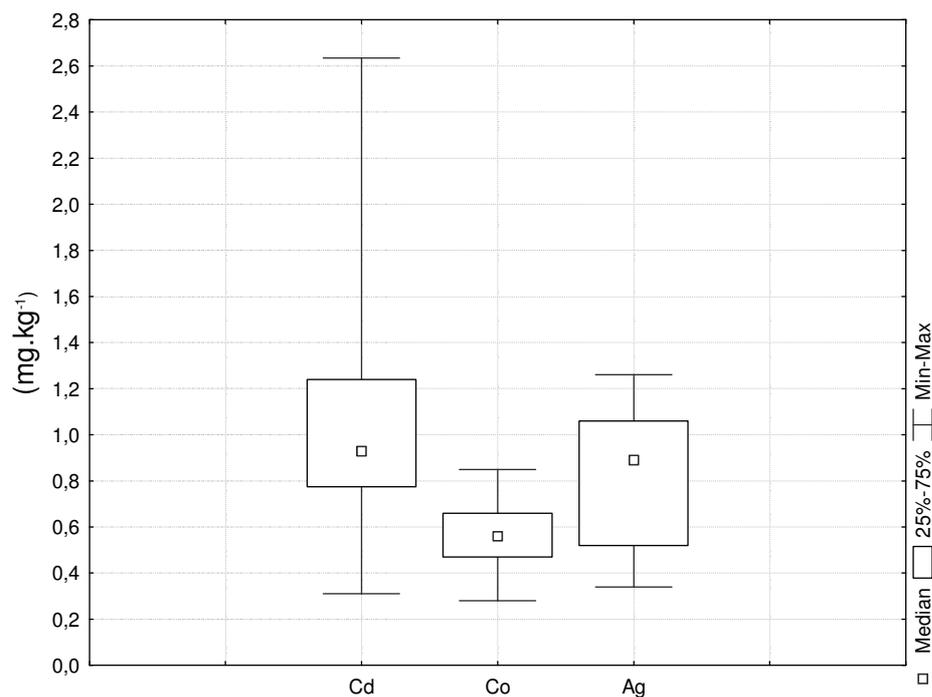


Figura 21: Concentrações de Cd, Co e Ag no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar.

O cádmio, devido à sua alta mobilidade no solo, é considerado como elementolimitante para a aplicação do lodo no solo. Além disso, não é um elemento essencial para o crescimento das plantas. Quando comparado com a literatura suas concentrações foram semelhantes a Alonso *et al.* (2006), Karius (2011), Scancaret *al.*, (2000),  $2,69\text{mg.kg}^{-1}$ ,  $3,87\text{mg.kg}^{-1}$  e  $\text{mg.kg}^{-1}$ , respectivamente.

O teor de cobalto foi bem inferior ao encontrado por Alonso *et al.* (2006),  $3,26\text{mg.kg}^{-1}$ .

#### - Cr, Ni, Pb

O cromo, o níquel e o chumbo apresentaram medianas de  $2,54\text{mg.kg}^{-1}$ ,  $3,91\text{mg.kg}^{-1}$  e  $3,42\text{mg.kg}^{-1}$ , respectivamente. E os valores máximos foram:  $8,2\text{mg.kg}^{-1}$ ,  $6,84\text{mg.kg}^{-1}$  e  $6,84\text{mg.kg}^{-1}$ .

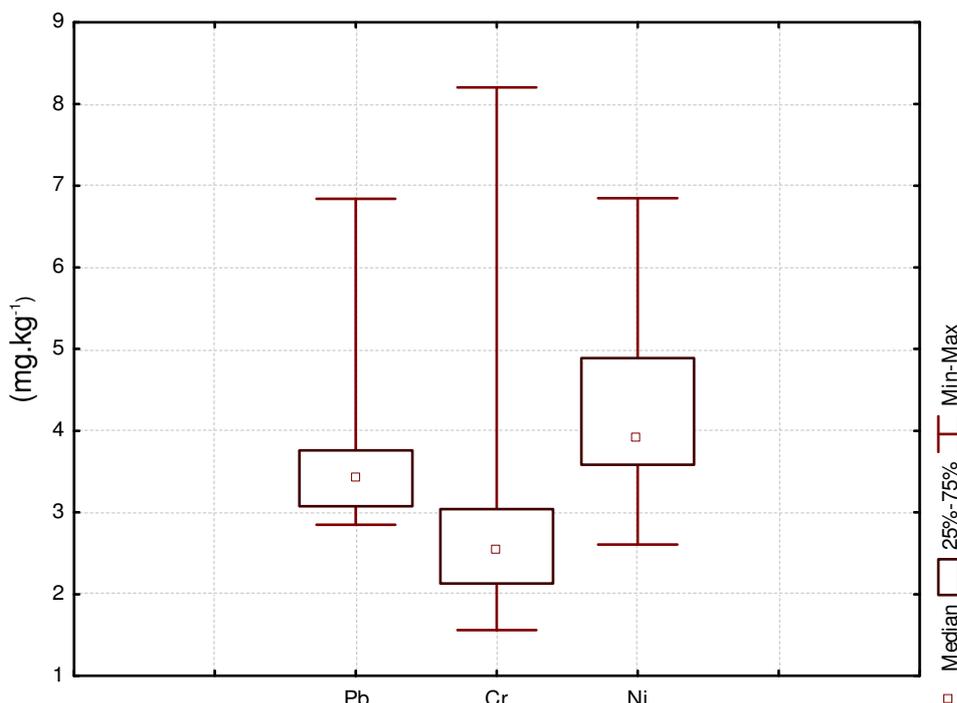


Figura 22: Concentrações de Pb, Cr e Ni no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar.

O chumbo apresentou valores consideravelmente mais baixos que a literatura (ALONSO *et al.*, 2006; KARIUS, 2011; SCANCAR*et al.*, 2000; FUENTES *et al.*, 2004), que foram superiores a  $100\text{mg.kg}^{-1}$ . Ressaltando que o afluente dos sistemas estudados pelos autores era esgoto doméstico.

O cromo também apresentou valores inferiores aos da literatura, porém estes são bastante variados:  $53,90\text{mg.kg}^{-1}$ ,  $114,43\text{mg.kg}^{-1}$ ,  $856\text{mg.kg}^{-1}$ ,  $3.809\text{mg.kg}^{-1}$  (ALONSO *et al.*, 2006; KARIUS, 2011; SCANCAR*et al.*, 2000; FUENTES *et al.*, 2004, respectivamente).

O níquel também foi inferior a literatura, que apresentou concentrações de  $28,40\text{mg.kg}^{-1}$ ,  $114,93\text{mg.kg}^{-1}$ ,  $22,70\text{mg.kg}^{-1}$ ,  $621\text{mg.kg}^{-1}$ ,  $29\text{mg.kg}^{-1}$  (ALONSO *et al.*, 2006; KARIUS, 2011; BANEGAS (2007); SCANCAR*et al.*, 2000; FUENTES *et al.*, 2004). Porém esse elemento também apresentou uma variação grande.

#### - Zn, Cu, Al

O zinco, o cobre e o alumínio apresentaram medianas de  $750\text{mg.kg}^{-1}$ ,  $237\text{mg.kg}^{-1}$  e  $374\text{mg.kg}^{-1}$ , respectivamente. E os valores máximos foram:  $1.812\text{mg.kg}^{-1}$ ,  $750\text{mg.kg}^{-1}$  e  $654\text{mg.kg}^{-1}$ .

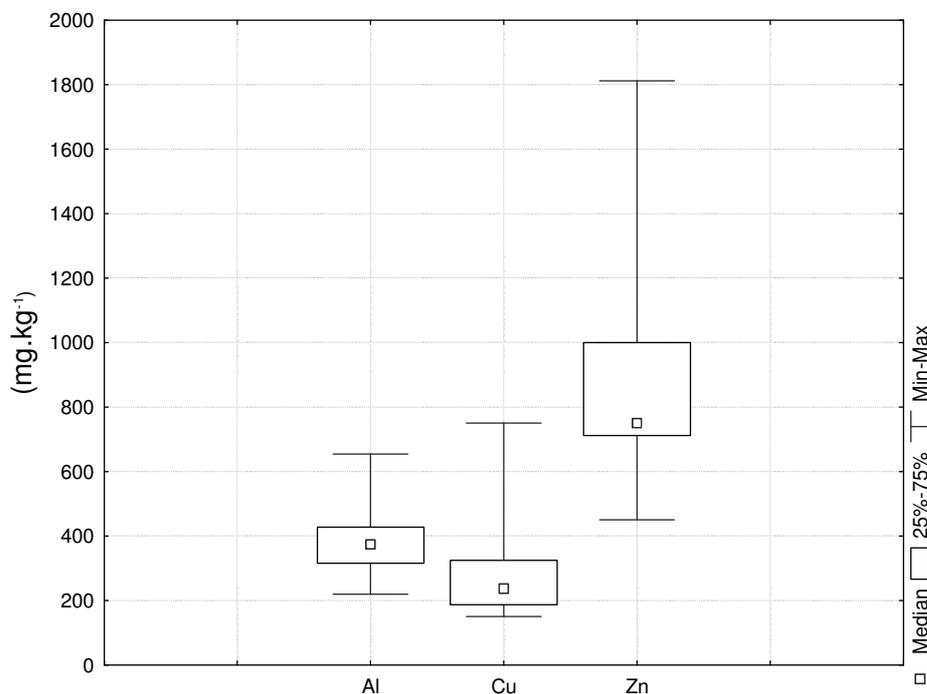


Figura 23: Concentrações de Al, Cu, Zn no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar.

A presença do Al deve-se a presença do metal na água de abastecimento, que fazem uso dos sais de alumínio como coagulantes no tratamento de água, aos resíduos das panelas de alumínio e etc.

A toxicidade do cádmio é inibida pela deficiência de zinco, porém para este resíduo os valores médios do Zn são cerca de 800 vezes maior que o Cd.

A presença de cobre no esgoto doméstico pode estar associada a sabões, detergentes, cosméticos, O cobre nessas concentrações médias de  $295,44 \text{ mg.kg}^{-1}$ , na água, pode ser letal a algumas espécies de peixes, que são sensíveis a concentrações de 0,02 a 0,08 ppm de Cu. Para o uso na adubação de cereais o cobre pode se concentrar nas raízes, restringindo seu crescimento (ANDREOLI, 2001).

#### - Mn

Os valores de manganês foram: média  $117,21 \text{ mg.kg}^{-1}$ , mediana  $124 \text{ mg.kg}^{-1} \pm 24,82$  e máximo  $147 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Esses valores foram compatíveis com Banegas *et al.* (2007) que obtiveram média de  $76 \text{ mg.kg}^{-1}$ , mas inferior a Alonso *et al.* (2006) que encontraram média de  $1.272 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

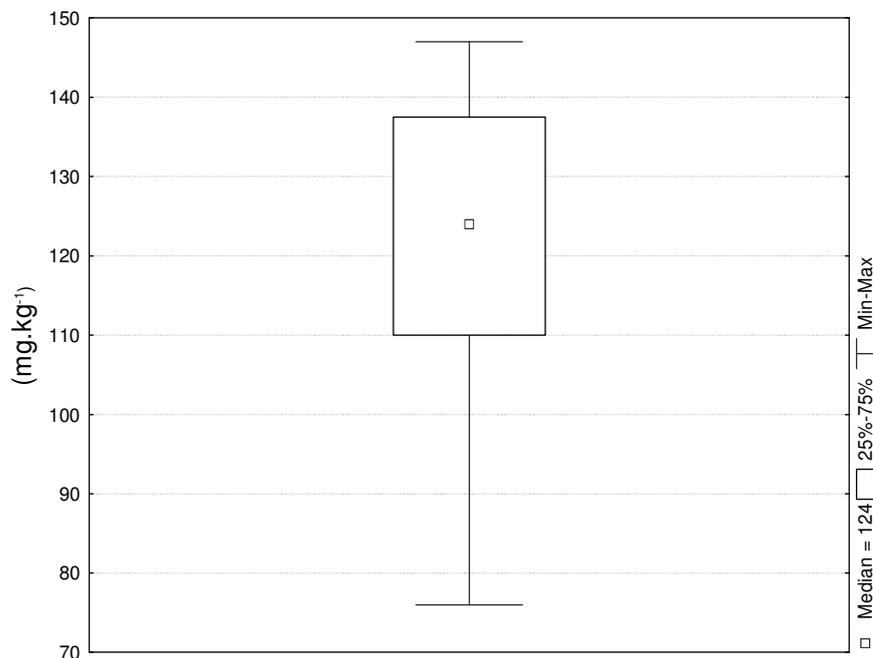


Figura 24: Concentrações de Mn no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar.

#### - Fe

O Ferro apresentou os seguintes valores: média  $385,06 \text{ mg.kg}^{-1}$ , mediana  $374 \text{ mg.kg}^{-1}$  e máximo  $654 \text{ mg.kg}^{-1}$ .

Esses valores são semelhantes aos de Scancar *et al.*, (2000), Fuentes, *et al.* (2004) e Alonso *et al.*, (2006), que foram  $23.700 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $25.208 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $15.106 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente.

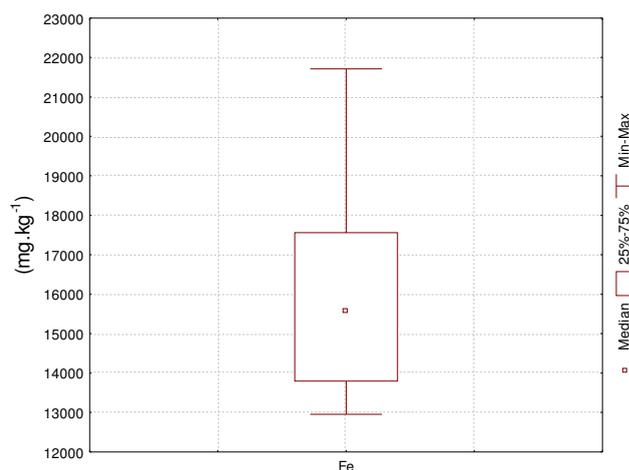


Figura 25: Concentrações de Fe no lodo desaguado da lagoa anaeróbia da Estação Potiguar.

A Tabela 6 apresenta os valores máximos permitidos de metais por legislações nacionais e internacionais para lodos a serem aplicados na agricultura e compara com os valores encontrados na Estação Potiguar.

Tabela 6: Comparação entre os valores encontrados e os valores máximos permitidos pelas legislações para metais em lodo na agricultura.

ELEMENTO	VALORES MÁXIMOS ENCONTRADOS (mg/kg)	VMP	VMP	VMP	VMP	VMP
		CONAMA 375/2006 (mg/kg) <sup>1</sup>	86/278/EEC (mg/kg) <sup>2</sup>	3rd Draft EU (mg/kg) <sup>3</sup>	VMP U.S.EPA Part 503 Rule <sup>4</sup>	Diretrizes A11/2/5/4 <sup>5</sup> (TIPO D)
<b>Al</b>	<b>654</b>	NI	NI	NI	NI	NI
<b>Cd</b>	<b>2,64</b>	39	40	10	85	15,7
<b>Co</b>	<b>0,85</b>	NI	NI	NI	NI	100
<b>Cu</b>	<b>27,20</b>	1.500	1.750	1.000	4.300	50,5
<b>Pb</b>	<b>6,84</b>	300	1.200	750	840	50,5
<b>Cr</b>	<b>8,20</b>	1.000	1.750	1.000	3.000	1.750
<b>Fe</b>	<b>21.712</b>	NI	NI	NI	NI	NI
<b>Mn</b>	<b>147,00</b>	NI	NI	NI	NI	NI
<b>Ni</b>	<b>6,85</b>	420	400	300	420	200
<b>Ag</b>	<b>1,26</b>	NI	NI	NI	NI	NI
<b>Zn</b>	<b>1.812,00</b>	2.800	4.000	2.500	7.500	353,5

NI: NÃO INFORMADO

1: LEGISLAÇÃO BRASILEIRA. 2, 3: LEGISLAÇÃO EUROPEIA. 4: LEGISLAÇÃO AMERICANA. 5: LEGISLAÇÃO SUL AFRICANA.

Os valores máximos dos metais analisados estão dentro dos limites estabelecidos por legislações de vários locais, com exceção do zinco que ultrapassou os valores máximos da legislação da África do Sul. Porém, quando comparados às demais legislações, a sul-africana tem valores limites bem mais restritivos do que as outras legislações. Deve-se ressaltar que os valores das Diretrizes A11/2/5/4 referem-se a resíduos classificados como tipo D (lodos estabilizados, compostados, pasteurizados e etc.), que podem ser aplicados sem restrições até 8t/ha.

Contudo, o Zn é um micronutriente importante para as plantas e frequentemente suplementado através de adubações, não representando problemas, se administrado adequadamente.

## 5.10 MICROORGANISMOS

### 5.10.1 Coliformes termotolerantes

Não foi identificada a presença de coliformes termotolerantes nas amostras analisadas, esse fato pode estar associado à resistência desses organismos, que sobrevivem poucos dias em condições adversas, como exposição ao sol no leito de secagem, ou até mesmo ao ambiente inóspito no fundo da lagoa anaeróbia. Ratis (2009) e Meneses *et al.* (2001) analisando os resíduos afluentes da mesma estação encontraram  $3,89 \times 10^{-7}$  e  $3,16 \times 10^{-7}$ , respectivamente. Além da eficiência da lagoa anaeróbia o tempo de exposição do lodo no leito de secagem contribuiu para a redução considerável dos coliformes.

### 5.10.2 Helmintos

Os resultados estão apresentados na Tabela 8. Em apenas uma amostra foi encontrado mais de 1 ovo/g (13,0522 ovos/g). Quanto à viabilidade, o valor máximo encontrado foi de 0,1536 ovos viáveis/g de sólidos totais sendo que 60% das amostras não apresentaram ovos viáveis. Esses dois parâmetros apresentaram coeficiente de variação superior a 200%.

Tabela 7: Resultados de Helmintos

AMOSTRAS	OVOS (g/ST)	OVOS VIÁVEIS (g/ST)
1	0	0
2	13,0522	0,1536
3	0,0035	0
4	0	0
5	0,1142	0,0011

Essa quantidade de ovos viáveis permite classificar parcialmente o lodo na classe A da Resolução nº 375/06 do CONAMA e da norma norte-americana 40 CFR Part 503 da EPA, liberando a aplicação do lodo em diversas culturas, desde que respeitadas algumas restrições previstas nas normas. A Figura 26 apresenta os resultados encontrados e o valor limite das normas supracitadas.

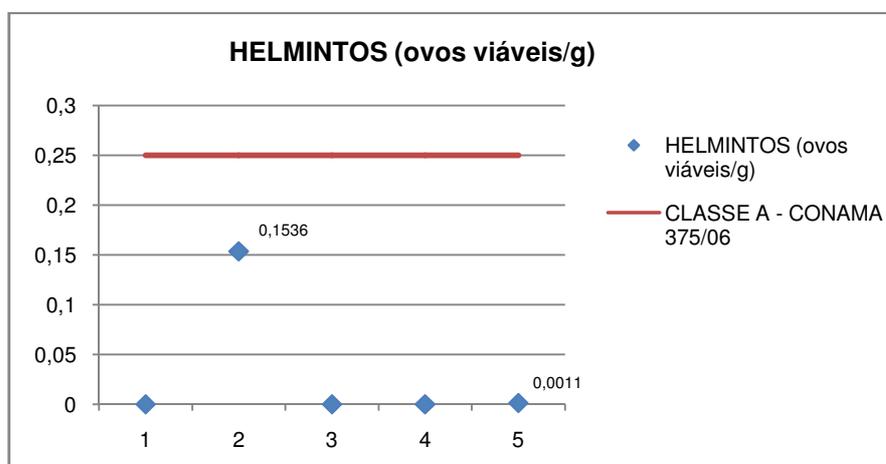


Figura 26: Resultados de helmintos em ovos viáveis/g e comparação com a classificação do CONAMA 375/06

Estudos realizados por Andreoli *et al.* 2009, com o lodo fresco da mesma estação, os resultados apontaram 1,7 ovos viáveis/grama (ANDREOLI *et al.*, 2009) o que indica uma redução de cerca de 91% pela duas primeiras lagoas da estação.

Na literatura os valores encontrados de helmintos não foram bem variáveis, principalmente devido ao tipo de tratamento imposto ao lodo. Passamani *et al.* (2000) e Tsutya (2000) encontraram 12 ovos/g e 0,31 ovos/g, na ETE Parque do Flamengo em Vitória e na ETE Barueri, respectivamente.

### 5.11 GRANULOMETRIA

A classificação do resíduo foi, em sua maioria, franco arenoso, tendo apresentado em média 71,37% dos grãos com diâmetro na mesma faixa da areia, 7,11% na faixa da argila e 21,51% na faixa do silte.

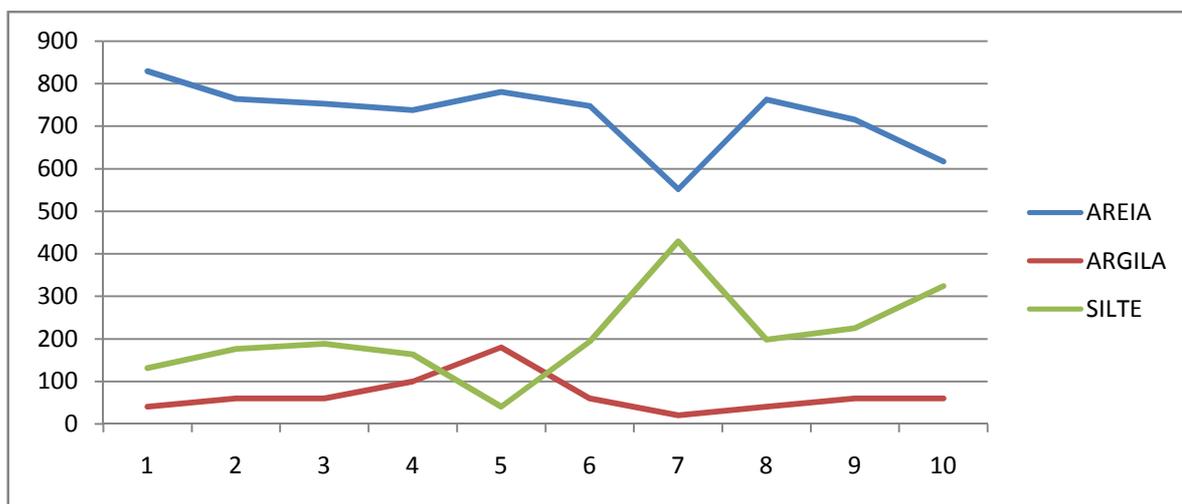


Figura 27: Granulometria da amostra.

Esses valores foram semelhantes aos encontrados por Ingunza *et al.* (2006b), onde a fração de areia foi de 84,46% para o lodo anaeróbio.

No caso de uso na construção civil, o resíduo seria considerado como agregado leve. Como mais de 70% tem diâmetro semelhante ao da areia, o lodo poderia substituir esse insumo.

### 5.12 LIMITES DE CONSISTÊNCIA

A amostra de lodo não apresentou índice mínimo para a execução do ensaio, portanto a amostra em questão é considerada não plástica. Esse resultado corrobora com aqueles encontrados por Duarte (2008) e Ingunza *et al.* (2006b).

### 5.13 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X

A DRX mostra uma composição mineralógica constituída por minerais tais como quartzo, caulinita e ferro aluminato (Figura 28).

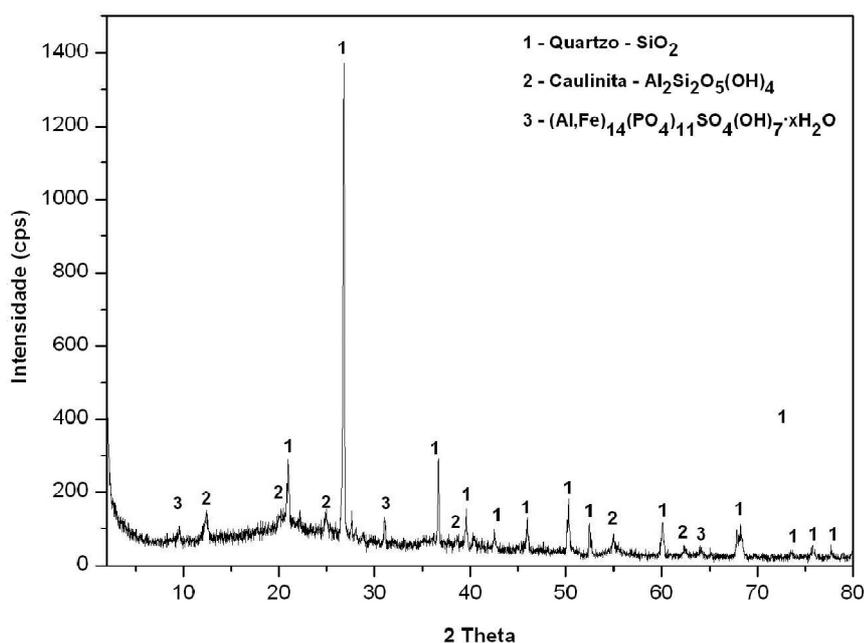


Figura 28: Composição mineralógica da amostra

A composição mineralógica do lodo séptico da mesma estação avaliado por Ingunza *et al.* (2006) apresentou-se semelhante a esta, com presença predominante de quartzo e caulinita.

#### 5.14 FLUORESCÊNCIA DE RAIOS-X

Os resultados das análises do lodopor FRX estão apresentadas na Tabela 9. Há uma grade presença dos minerais presentes no solo, com predominância de sílica, óxidos de ferro e alumínio com um percentual de 64,80%. A presença destes óxidos está associada a espécies arrastadas pelo sistema, onde a presença de quartzo foi identificada na análise mineralógica.

Tabela 8: Composição química da amostra.

Óxidos (%)							
$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{SO}_3$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{TiO}_2$	$\text{SnO}_2$
30,74	19,55	14,51	10,97	7,79	4,75	3,32	2,37
$\text{ZnO}$	$\text{MgO}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{CuO}$	$\text{ZrO}_2$	$\text{MnO}$	$\text{SrO}$	$\text{NiO}$
1,88	1,50	1,45	0,53	0,38	0,12	0,09	0,05

Morales (1999) encontrou valores semelhantes para o lodo de esgoto calcinado: 41,20% SiO<sub>2</sub>, 22,70% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e 15% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

No lodo de ETA, Portella (2003) encontrou predominância de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com média de 22,21% e SiO<sub>2</sub>, com 13,42%.

Quando comparados com a argila (Ingunza *et al.*, 2006a), esta apresentou teores de óxidos de silício de 42,89% em argilas plásticas do Rio Grande do Norte e 65,75% em argilas plásticas no Paraná, superiores ao do lodo estudado.

### 5.15 RISCO AMBIENTAL

Os resultados das análises dos extratos lixiviado e solubilizado indicam que o lodo é classificado como um resíduo Classell-A (não inerte e não perigoso). Todos os metais pesados do lixiviado e do solubilizado analisados ficaram abaixo dos valores máximos permitidos pela NBR 10.004 (ABNT, 2004).

### 5.16 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA

Ao longo de três anos, a lagoa anaeróbia produziu um volume de 1.903,50m<sup>3</sup> de lodo, ou seja, 634,50m<sup>3</sup>/ano.

Como a altura de lodo encontrado foi 1,50m, a taxa de acumulação em cm/ano foi de 50 cm/ano. Esse valor foi semelhante ao verificado por Painget *al.*, 1999) em uma lagoa anaeróbia na França, que acumulou 62cm/ano.

### 5.17 POSSIBILIDADES DE USO

Aqui são propostos dois usos para o lodo removido da Estação Potiguar. Porém, antes disso é necessário estimar o peso seco do lodo conforme segue:

Para um volume de 1.903,50m<sup>3</sup>, considerando uma porcentagem média de sólidos secos de 20% (ANDREOLI, 2001) para lagoas de estabilização, temos:

$$V_{seco} = 1.903,50m^3 \times 20\%$$

$$V_{seco} = 380,7m^3$$

Considerando a massa específica média do lodo 1.045kg/m<sup>3</sup> de lagoas de estabilização (ANDREOLI, 2001), o peso do lodo será:

$$P_{seco} = 380,7m^3 \times 1.045 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{seco} = 397.831 \text{ kg}$$

Foram propostos dois usos, um agrícola e um na indústria vermelha, na fabricação de telhas.

## - AGRICULTURA

O lodo estudado apresenta teores de matéria orgânica, macro e micronutrientes que viabilizam seu uso como fertilizante. Além disso, foi possível enquadrar parcialmente esse resíduo na classe A da Resolução nº 375/06 do CONAMA, através da quantificação de ovos viáveis de helmintos e coliformes termotolerantes.

A Resolução nº 375/06 do CONAMA determina que a aplicação máxima anual de lodo de esgoto (t/ha) não deverá exceder o quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (em kg/ha) e o teor de nitrogênio disponível no lodo de esgoto ou produto derivado ( $N_{disp}$  em kg/t), conforme equação abaixo.

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

Dessa forma, dependendo do uso é que podemos determinar quantos hectares podemos adubar com o volume de lodo, sabendo que o lodo apresentou média de 15,40 kg/t basta aplicar a fórmula acima sabendo qual o teor de nitrogênio recomendado para a cultura que se deseje adubar.

## - CERÂMICA VERMELHA

No caso de adicionar o lodo a produção de tijolos, Duarte (2008) utilizou 2,5kg para fabricar 12 tijolos, a uma proporção de 10% de lodo. Sendo assim, por regra de três temos:

$$N_{tijolos} = \frac{397.831 \text{ kg} \times 12 \text{ tijolos}}{2,5 \text{ kg}}$$

$$N_{tijolos} = 19.095,88 \text{ tijolos}$$

Portanto, a cada três anos, a estação disponibilizaria/venderia lodo suficiente para fazer aproximadamente 19.000 tijolos. É importante ressaltar que esse cálculo foi feito com base no lodo produzido por uma lagoa anaeróbia. A estação em questão dispõe de 4 lagoas e embora a lagoa facultativa e a de maturação acumulem quantidade inferior de lodo, estes volumes viriam somar.

Porém, é necessário que seja feita uma avaliação de custos para atestar a viabilidade de aplicação do lodo, pois custos como o transporte inviabilizariam essa solução.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados encontrados pode-se fazer as seguintes constatações:

- Osteores de macro e micronutrientes confirmam o potencial do lodo da Estação Potiguar para a prática agrícola.
- Comparando-se os valores de NPK do lodo da estação com relação a outros compostos utilizados como adubo na agricultura, como o esterco bovino, suíno e de galinha, verificou-se que o lodo apresentou valores competitivos para o N e P, mas com uma deficiência no teor potássio.
- Para a aplicação no solo é necessário uma adição suplementar de minerais na adubação, principalmente de potássio.
- Com relação aos microorganismos avaliados o lodo pode ser utilizado no campo agrícola sem prejuízo às culturas, desde que obedecidas às restrições e recomendações da Resolução nº 375/06 do CONAMA.
- Com relação aos metais pesados, o lodo pode ser utilizado no campo agrícola, desde que obedecidas às restrições e recomendações da Resolução nº 375/06 do CONAMA.
- Em relação ao uso na construção civil, o lodo apresentou granulometria ideal para incorporação do mesmo como agregado leve.
- O teor de enxofre no lodo pode ser limitante para o uso na construção civil.
- O volume de lodo disponibilizado pela estação não é contínuo, portanto seu uso deve ser planejado levando-se em consideração o tempo de dragagem das lagoas.
- O lodo apresenta viabilidade para vários tipos de uso, porém os custos com desaguamento e principalmente com transporte podem inviabilizá-lo. É necessário que seja feito um estudo mais aprofundado dos custos para atestar sua viabilidade econômica.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU JUNIOR, C. H. et al. Cátions trocáveis, capacidade de troca de cátions e saturação por bases em solos brasileiros adubados com composto de lixo urbano. *ScientiaAgricola*, v.68, n.4, p.813-824, 2001.

AFNOR. Norm NF U 44-041, in *MatièresFertilisantes - BouesdesOuvrages de TraitementdesEauxUséesUrbaines*, AssociationFrançaise de Normalisation, Paris, 1985, p.8 .

AL SAYED, M. H., MADANY, I. M.; BUALI, A. R. M. (1995).Use of sewage sludge ash in asphaltic paving mixes in hot regions, *Construction and Building Materials*, 9 (1), 19-23.

ALONSO, E., VILLAR, P., SANTOS, A., &APARICIO, I. (2006). Fractionationof heavy metals in sludge from anaerobic wastewaterstabilization ponds in Southern Spain.*Waste Management*, 26, 1270–1276.

ANDRADE, P. S. Avaliação do impacto ambiental da utilização de resíduos de estações de tratamento de água em indústrias de cerâmica vermelha: estudo de caso. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas (dissertação de mestrado). Campinas, 2005.

ANDRADE NETO, C. O. Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários: experiência brasileira. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

ANDREOLI, C. V. (Coord.) et al. Lodo de fossa séptica. Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

ANDREOLI, C.V. (Coord.) Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: Rima, ABES, 2001. 282p.

ANDREOLI, C.V.; SPERLINGM.V.; FERNANDES F. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; SANEPAR, 2001. 484 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6459/84, Solo – Determinação do Limite de Liquidez – Procedimento. Rio de Janeiro: 1984b. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7180/84, Solo – Determinação do Limite de Plasticidade – Procedimento. Rio de Janeiro: 1984c. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7181/84, Solo – Análise Granulométrica – Procedimento. Rio de Janeiro: 1984a. 13p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1993). NBR 7229 – Projeto, construção e operação de tanques sépticos. São Paulo, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1999). NBR 13969 - Tanques Sépticos - Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos – Projetos, Construção e Operação. Rio de Janeiro, 1997. 60p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Resíduos sólidos – classificação, NBR 10005. Rio de Janeiro, 2004 b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos, NBR 10005. Rio de Janeiro, 2004 b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos, NBR 10006. Rio de Janeiro, 2004 c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 19. Cimento Portland - Análise química - Determinação de enxofre na forma de sulfeto. Rio de Janeiro, 2004.

ARAUJO, F.F.; GIL, F. C. TIRITAN, C. S. Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *brachiariadecumbens* e na atividade da desidrogenase. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v 39. n.1, p. 1-6, 2009.

AWWA/APHA/WEF(1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20.ed. Washington.

AYERS, R. S.; WETCOT, D. W. *A Qualidade da Água na Agricultura*. Tradução GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. de; DAMASCENO, F. A. V. do. Campina Grande:

UFPB, 1991. Tradução de: WaterQuality for Agriculture. Rome: FAO,1985. Tradução.

BANEGAS, V; MORENO, J.L.; GÁRCIA, C.; LEÓN, G.; HERMÁNDEZ, T. Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust. Waste Management. v. 27, n.10, p.1317-1327, 2007

BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L.; PEREZ, D. V.; ANDRADE, A.G.; MENEGUELLI, N. A. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.41, n.3, p.469-476, 2006.

BELÉM. Prefeitura Municipal. Lei Municipal n.º 7.597, de 29 de dezembro de 1999. Disciplina a obrigatoriedade das empresas limpa fossas de determinarem o local de despejo dos dejetos recolhidos e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.ufpa.br/numa/legislacao\\_belem/lei\\_7597\\_bel.htm](http://www.ufpa.br/numa/legislacao_belem/lei_7597_bel.htm)>. Acesso em: 22 set. 2012.

BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, C. V.; MOCHIDA, G. A.; SERRAT, B. M. Uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná. Trabalho apresentado no Workshop Uso Agrícola de Lodo de Esgoto: Avaliação após a resolução n. 375 do CONAMA, Campinas. 2009.

BUNDGAARD, E.; SAABYE, A. State of the art on sewage sludge: environmental aspects and regulations of common sludge disposal methods. In: INTERNATIONAL EXHIBITION CONGRESS OF SOLID WASTE (1992 : Madrid). Annals.Madrid :ISWA, 1992.

BORGES, N. B. Caracterização e pré-tratamento de lodo de fossas e de tanques sépticos. 2009. 152 f. Tese (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais Pesados do solo após aplicação de biossólido. I – Fracionamento. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Vicosa, v. 28, p. 543-555, 2004. 18p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução

CONAMA no 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o us

o

agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: Ago. 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. Instrução normativa Nº 23. 31 de agosto de 2005. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2004.

CASSINI, S. T. (coord.) Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás. PROSAB – Edital 3, 2003. 210p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. Norma P4.230 - Critérios para aplicação de biossólidos em áreas agrícolas: Critérios para projeto e operação. São Paulo, 1999. 32p. (Manual Técnico)

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; Oliveira, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em argissolo tratado com lodo de esgoto. II - fertilidade do solo e nutrição da planta. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, n.2, p.653-662, 2008.

CHUEIRI, W.A.; SERRAT, B.M.; BIELE, J.; FAVARETTO, N.; Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo; Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 5, p. 502-508, 2007.

COFIE, O.O.; KRANJAC-BERISAVLJEVIC, G.; PAYDRECHSEL (2005). The use of human waste for periurban agriculture in Northern Ghana. Renewable Agriculture and Food Systems, 20, pp 7380 doi:10.1079/RAF200491.

COFIE, O. O.; AGBOTTAH, S.; STRAUSS, M., ESSEKU, H.; MONTANGERO, A.; AWUAH, E.; KONE, D. Solid–liquid separation of faecal sludge using drying beds in Ghana: implications for nutrient recycling in urban agriculture. Water Res., 40. (2006), pp. 75–82.

COLODRO, G. Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo de esgoto. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2005. 82p. (Tese de Doutorado).

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente(2005). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.Ministério do MeioAmbiente, 23p.

CRIPPS, R.W.; MATOCHA, J.E. Effects of sewage application to ameliorate iron deficiency of grain sorghum.Comm. SoilSci. Plant Anal., 22:1931-1940, 1991.

DA ROS, C.O.; SALET, R.L.; PORN, R.L.; MACHADO-CORRÊA, J.N. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada. Ciência Rural 2003, vol. 33 n. 005.

DAVIES-COLLEY, R.J., BELL, R.G., DONNISON, A.M., Sunlight Inactivation of Enterococci and Fecal Coliforms in Sewage Effluent Diluted in Seawater, Applied and Environmental Microbiology, 1994.

DUARTE, A. C. L. Incorporação de lodo de esgoto na massa cerâmica para a fabricação de tijolos maciços: uma alternativa para a disposição final do resíduo. (1111f.) Dissertação apresentada ao programa de pós graduação de engenharia sanitária - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

EMBRAPA. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Embrapa Informação Tecnológica. 2ª edição revista e ampliada. 2009.

EPA Environmental ProtectionAgency, 1984. Use and disposal of municipal wastewater sludge. EPA/626/10.84/003 EPA, Washington, DC (1984).

ESTÂNCIA DE ATAIBA, Prefeitura Municipal. Lei Municipal n.º 3.936, de 10 de novembro de 2010. Dispõe sobre o manejo e limpeza de fossassépticas e negras no Município de Atibaia, edá outras providências. Disponível em: <<http://www.camaraatibaia.sp.gov.br/leis/leis/2010/3936.pdf>>. Acessoem: 22 set. 2012.

EU (1986): Council Directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. Official Journal, L 181, 4.7.1986, p. 6–12.

EU (2000): Environment DG, Working Document on Sludge 3rd Draft, July 2003. Disponível em: <[http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/sludge\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/sludge_en.pdf)>. Acesso em 24 set. 2012.

FEACHEM, R.G., BRADLEY, D.J., GARELICK, H., AND MARA, D.D. 1983. Sanitation and Disease – Health Aspects of Excreta and Wastewater Management. John Wiley & Sons, New York.

FERNANDES, F.; LARA, A. I.; ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. Normatização para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. (Coord.). Reciclagem de biossólidos: Transformando problemas em soluções. Curitiba: Sanepar, p.263-291, 1999.

FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; DRUMOND, L.C.D.; SILVA, R.P. & OLIVEIRA, C.B. Estudo de fontes e doses de matéria orgânica para adubação de cafeeiro cultivado no cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., Poços de Caldas, 2000. Resumos expandidos. Brasília, EMBRAPA Café, 2000. p.1024-1027.

FUENTES, A.; LLORENS, M.; SAEZ, J.; SOLER, A.; AGUILAR, M. I.; ORTUÑO, J.F. MESEGUER, V.F. Simple and sequential extraction of heavy metals from different sewage sludges. Chemosphere, 54 (2004), pp. 1039–1047

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

GLOYNA, E. F. Estanques de estabilización de águas residuales. Organização Mundial de Saúde (Ed.), Genebra – Série de Monografias, nº 60, 1973.

GONÇALVES, R. F. et al. Caracterização, técnicas de remoção e reciclagem agrícola do lodo de lagoas de estabilização - Edital 01/96 - PROSAB/FINEP, 1998.

GONÇALVES, R. F. et al. Estudo da formação de lodo em diversos tipos de lagoas de estabilização no Espírito Santo. Anais da II Exposição de Trabalhos Técnicos – XXIV Assembléia da ASSEMAE, 1 a 5 de junho de 1997, pp. 181 - 192.

GONÇALVES, C. P. (2008). Impacto do lançamento do lodo de tanques/fossas sépticas em Estação de Tratamento de Esgoto com Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB). 158p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

HEINSS, U., LARMIE, S.A., STRAUSS, M. (1998). Solids Separation and Pond Systems for the Treatment of Septage and Public Toilet Sludges in Tropical Climate - Lessons Learnt and Recommendations for Preliminary Design. EAWAG/SANDEC Report Nº 05/98.

HEINSS, U.; KOOTTATEP, T. Use of reed beds for faecal sludge dewatering. A synopsis of reviewed literature. EAWAG – Swiss Federal Institute for Environmental Science & Technology. SANDEC – Dept. for Water and Sanitation in Developing Countries. Bangkok, Thailand. 15p. 1998.

SOUTH AFRICA. Permissible Utilisation and Disposal of Sewage Sludge. (1991) Department of National Health and Population Development, A11/2/5/4 (2nd Draft), Pretoria, South Africa.

HEINSS, U., LARMIE, S.A., STRAUSS, M. (1998). Solids Separation and Pond Systems for the Treatment of Septage and Public Toilet Sludges in Tropical Climate - Lessons Learnt and Recommendations for Preliminary Design. EAWAG/SANDEC Report No. 05/98.

HEINSS, U.; LARMIE; S. A.; STRAUSS, M. Solids separation and pond systems for the treatment of faecal sludges in the tropics - lessons learnt and recommendations for preliminary design. 2ª ed. Duebendorf, EAWAG/SANDEC. 1998. 88p.

HEINSS, U.; STRAUSS, M. Co-treatment of faecal sludge and wastewater in tropical climates: management of sludges from on-site sanitation. Duebendorf, Switzerland: EAWAG/SANDEC, 1999.

IBGE, 2008. PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO 2008. Rio de Janeiro: 218 p. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNS\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNS_2008.pdf)>. Acesso em: jun. 2012.

INGALLINELLA, A.M., FERNÁNDEZ, R., SANGUINETTI, G., STRAUSS, M. AND MONTANGERO, A. (2000). Lagunas de estabilización para Descarga de Líquidos de Camiones Atmosféricos. In: I Conferencia Latinoamericana sobre Lagunas de Estabilización y Reuso. (Stabilisation Ponds for Septage Treatment. In: 1st Latin American Conference on Stabilisation Ponds and Reuse) CINARA/IWA, Cali, Colombia, Noviembre.

INGUNZA, M. P. D., ANDREOLI, C. V., NASCIMENTO, R. M., TINOCO, J. D., HOPPEN, C. & PEGORINI, E. S., 2006a. Uso de resíduos do saneamento na fabricação da cerâmica vermelha. In: Andreoli, C. V. (Coord.), Alternativas de uso de resíduos do saneamento, pp 283-359. ABES/PROSAB.

INGUNZA, M. del P. D. ; TINÔCO, J. D. ; LIMA, A. D. de ; SANTOS JUNIOR, O. F. dos; NASCIMENTO, R. M.do . Caracterização de lodo de estação de tratamento de esgoto com vistas ao reúso na indústria cerâmica. In: XXX Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2006, Punta del Este. Cd do XXX Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Puntadel Este: AIDIS, 2006b. v. 1. p. 1-10.

INGUNZA, M. del P. D. ; TINÔCO, J. D. ; NASCIMENTO, R. M. do ; ARAÚJO, A. L. C. de ; BRITO, L. P. de ; LIMA, A. D. de . Uso de lodo de ETE como matéria-prima para fabricação de tijolos na região de Açu/RN/Brasil. In: XXX Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2006, Punta del Este, Uruguay. Cd do XXX Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Puntadel Este: AIDIS, 2006c. v. 1. p. 1-9.

JOÇABA. Prefeitura Municipal. Lei Municipal n.º 3.112, de 27 de dezembro de 2007. Regulamenta a prestação de serviço móvel de limpa-fossa por parte do serviço intermunicipal de água e esgoto - SIMAE e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.leismunicipais.com.br/a/sc/j/joacaba/decreto/2007/311/3112/decreto-n-3112-2007-regulamenta-a-prestacao-de-servico-movel-de-limpa-fossa-por-parte-do>>

[servico-intermunicipal-de-agua-e-esgoto-simae-e-da-outras-providencias-2007-12-27.html](#). Acesso em: 22 set. 2012.

KORENTAJER L. (1991). A review of the agricultural use of sewage sludge: benefits and potential hazards. *Water SA*, 17(3), 189-196.

LEITE, B. Z.; PEGORINI, E. S.; ANDREOLI, C. V.. (2006). Caracterização e alternativas de disposição de resíduos sépticos. In: 8º Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Fortaleza –CE.

LOPES, J. C.; RIBEIRO, L. G.; ARAÚJO, M. G.; BERALDO, M. R. B. S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.23, n.1, p.143-147, 2005.

MACEIÓ. Prefeitura Municipal. Lei Municipal n.º 4.548, de 21 de novembro de 1996. Institui o Código Municipal do Meio Ambiente. Disponível em: <http://leismunicipais.com.br/a/al/m/maceio/lei-ordinaria/1996/454/4548/lei-ordinaria-n-4548-1996-institui-o-codigo-municipal-de-meio-ambiente-e-dispoe-sobre-a-administracao-do-uso-dos-recursos-ambientais-da-protecao-da-qualidade-do-meio-ambiente-da-qualidade-do-meio-ambiente-do-controle-do-meio-ambiente-do-controle-das-fontes-poluidoras-e-da-ordenacao-do-uso-do-solo-do-territorio-do-municipio-de-maceio-de-forma-a-garantir-o-desenvolvimento-sustentavel-1996-11-21.html>. Acesso em: 21 set. 2012.

MANAUS. Prefeitura Municipal. Decreto n.º 28.678, de 16 de junho de 2009. Regulamenta a Lei n.º 3.167, de 27 de agosto de 2007, que reformula as normas disciplinadoras da Política Estadual de Recursos Hídricos e do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:WHMiXK6Bn0UJ:www.ipaam.br/legislacao/ESTADUAL/dec.%252028.678,%2520de%252016.06.09%2520\(re%2520a%2520lei%25203.167%2520de%2520recursos%2520hh%25C3%25ADdricos\).doc+decreto+Decreto+n.%C2%BA+28.678+manaus&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:WHMiXK6Bn0UJ:www.ipaam.br/legislacao/ESTADUAL/dec.%252028.678,%2520de%252016.06.09%2520(re%2520a%2520lei%25203.167%2520de%2520recursos%2520hh%25C3%25ADdricos).doc+decreto+Decreto+n.%C2%BA+28.678+manaus&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br). Acesso em: 21 set. 2012.

MARX, D.H.; BERRY, C.R.; KORMANIK, P.P. Application of municipal sewage sludge in forest and degraded land. In: SYMPOSIUM SPONSORED BY DIVISIONS S-6 AND S-7 OF THE SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA AND A-5 OF THE

AMERICAN SOCIETY OF AGRONOMY, 1993, Cincinnati, Ohio. Agricultural utilization of urban and industrial byproducts: proceedings. Madison: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 1995. p.275-295. (ASA special publication, 58). Editors, D. L. Karlen, R. J. Wright, and W. D. Kemper.

MENESES, C. G. R.; INGUNZA, M. Del P. D.; FARIAS, N. M. N. DE; CÂMARA, A. C. J. DA., (2001). Caracterização físico-química e biológica dos resíduos de sistemas tipo tanque séptico–sumidouro da cidade do Natal. In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa – PB.

MEDEIROS, S. A. de, Incorporação de lodo de tanque séptico como matéria-prima de uma mistura asfáltica. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, 2006.

MEDEIROS, D. D. V. Avaliação da eficiência de lagoas de estabilização no tratamento de resíduos esgotados de fossas sépticas. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – Rio Grande do Norte, 2009.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P.; O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T. et al. (Ed.). Biossólidos na agricultura. São Paulo: SABESP, 2001. 468 p.

Ministry of Construction, P.R. China (1993). Appropriate Technology of Nightsoil Treatment in China. Proceedings, Seminar on Appropriate Technology of Nightsoil Treatment in China, Beijing, April 20-22.

MORALES, G. Aproveitamento do lodo de esgoto sanitário como matéria prima para a produção de pozolana. Semina: Ci. Exatas/Tecnol. Londrina, v. 18/20, n. 4, p. 39-45, dez. 1997/1999.

NASCIMENTO, C. G.; FERRARI, G. F.; MULLER, P. S. G. (1997). Estudo da formação de lodo em diversos tipos de lagoas de estabilização no Espírito Santo. ASSEMAE 97, 1997.

NASCIMENTO. C.G; GONÇALVES, R. F. Avaliação Comparativa do Modelo de Saqaar e Pescod com as Taxas de Acumulação de Lodo em Lagoas de Estabilização no Espírito Santo. 20º Congresso da ABES, Rio de Janeiro, 1999.

NATAL. Prefeitura Municipal. Lei n. 4.867, de 27 agosto de 1997. Obriga as empresas Imunizadoras a manterem sistemas de Lagoas de Estabilização. Lex: Coletâneas da Legislação Ambiental do Município de Natal, Natal, p.364, 2. Trim. 1998, Diário Oficial do Estado.

NAVAL, L.P.; SANTOS, L. M. P. Avaliação de um sistema de lagoas de estabilização para tratamento de águas residuárias domésticas na Região Norte. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9. 2000, Porto Seguro/BA. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2000. P. 963-971.

NOGUEIRA, T.A.R.; SAMPAIO, R.A.; FONSECA, I.M.; FERREIRA, C.S.; SANTOS, S.E.; FERREIRA, L.C.; GOMES, E. & FERNANDES, L.A. Metais pesados e patógenos em milho e feijão caupi consorciados, adubados com lodo de esgoto. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 11:331-338, 2007

ONAKA, T. Sewage can make Portland cement: a new technology for ultimate reuse of sewage sludge. Water Science & Technology, v. 41, n. 8, p. 93-8, 2000.

PAING J., PICOT B, SAMBUCCO, J., RAMBAUD, A. Sludge accumulation and methanogenic activity in an anaerobic lagoon. 4th International Specialiste Conference on Waste StabilisationPonds : Technology and the Environment, Marrakesh, 1999.

Permissible Utilisation and Disposal of Sewage Sludge.(1991) Department of National Health and Population Development, A11/2/5/4 (2nd Draft), Pretoria, South Africa.

PONTA GROSSA. Prefeitura Municipal. Lei Municipal n.º 8.427, de 16 de janeiro de 2006. Concede, com exclusividade, a prestação dos serviços públicos de saneamento básico de água e de esgotos sanitários à Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.leismunicipais.com.br/a/pr/p/ponta-grossa/lei-ordinaria/2006/842/8427/lei-ordinaria-n-8427-2006-concede-com-exclusividade-a->

[prestacao-dos-servicos-publicos-de-saneamento-basico-de-agua-e-de-esgotos-sanitarios-a-companhia-de-saneamento-do-parana-sanepar-e-da-outras-providencias-2007-12-18.html](#)>. Acesso em: 22 set. 2012.

PORTELA, K. F.; ANDREOLI, C. V.; HOPPEN, C.; SALES, A.; BARON, O. (2003). Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba – PR. XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville-SC.

ROCHA, C.; SANT'ANNA, F. S. P. Regulamentação para despejos de caminhões limpa-fossa na ETE Jarivatuba, Joinville –SC. Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, 2005.

RATIS, A. N. F. A. Caracterização dos resíduos esgotados de sistemas de tratamento individual de esgotos domésticos de Natal. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – Rio Grande do Norte, 2009.

REPÚBLICA ARGENTINA (1992). Ley Nacional de Residuos Peligrosos. Ley 24.051, Boletín Oficial de la Rep. Arg. No.27307 y Decreto Reglamentario 631/93.

SANEPAR. Manual técnico para utilização agrícola do lodo de esgoto no Paraná. Curitiba, 1997. 96p.

SANTOS, Y. T. C. Caracterização do conteúdo de fossas e tanques sépticos na cidade de Natal. 2009. 204f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SÃO PEDRO DO SUL. Prefeitura Municipal. Regulamento de Saneamento. Disponível em: <http://www.cmspsul.pt/downloads/sosu/Regulamento%20Saneamento.pdf>>. Acesso em: 21 set 2012.

SCANCAR, J.; MILACIC, R.; STRAZAR, M.; BURICA, O. Total metal concentrations and partitioning of Cd, Cr, Cu, Fe, Ni and Zn in sewage sludge. The Science of the Total Environment, Amsterdam, v. 250, n. 1, p. 9-19, abr. 2000.

SCHWARTZBROD, J. (2000). Consultancy report submitted to EAWAG/SANDEC, unpublished.

SILVA, M. O. S. A. Sedimentação de lodo em lagoas de estabilização. 12<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Santa Catarina, 1983.

SOUSA, R. K. S. Avaliação de estratégias em educação ambiental para a gestão integrada de resíduos sólidos domiciliares em um bairro de Campina Grande-PB. 2011. Monografia – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.

U.S. Environmental Protection Agency (1993). A Guide to the Federal EPA Rule For Land Application of Domestic Septage to Non-Public Contact Sites, United States Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Enforcement and Compliance (WH-547), EPA/832-B-92-005, September 1993.

SAITO, L.M. Incorporação de resíduo em tijolos de cerâmica. Revista Ambiente, 1994. v.8, p.23-27.

SAQQAR, M.M., PESCOD, M.B. Modelling sludge accumulation in anaerobic wastewater stabilization ponds. Wat. Sci. Tech., Vol. 31, No 12, pp. 185-190, 1995.

STRAUSS, M. ;HEINSS, U. (1995). Faecal Sludge Treatment. Sandec News, No. 1, Maio. EAWAG, Duebendorf/Switzerland.

STRAUSS, M.; LARMIE, S.; HEINSS, U.; MONTANGERO, A. Treating faecal sludges in ponds. Water Sci Technol, 42 (10) (2000), pp. 283–290.

SIMONETE, M.A.; KIEHL, J.C.; ANDRADE, C.A. & TEIXEIRA, C.F.A. Efeito do lodo de esgoto em um argissolo e no crescimento e nutrição de milho. Pesq. Agropec. Bras., 38:1187-1195, 2003.

TACHINI, M.; BELLI FILHO, P.; PINHEIRO, A. Avaliação de tratamento integrado de esgotos sanitários e de lodo de tanques sépticos em um Ralf – um estudo de caso. V.24. Sanare. Revista Técnica da Sanepar. Curitiba: SANEPAR, jan/jun. 2006 p. 70-78.

TAY, JOO-HWA E SHOW, KUAN-YEOW. Innovative civil-engineering material from sewage sludge biocement and its use as blended cement material. In.: Journal of Materials and civil engineering, v6, n1, Feb. 1994;

TORRES, D. M. Decaimento bacteriano em lagoas de estabilização no nordeste brasileiro. Natal, RN: Dissertação de mestrado (UFRN), 2011.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de bio sólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (coord.), Jaguariúna: EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 2000a.p.69-105.

TSUTIYA, M.T. Qualidade de bio sólidos produzidos em estações de tratamento de esgotos da região metropolitana de São Paulo. In: 27 CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Porto Alegre, 2000b. Anais. São Paulo: ABES,2000b.

TSUTIYA, M.T.eCASSETARI, O.Z. Características do lodo de lagoas de estabilização. 18<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Salvador (BA), 1995.

USAID. (2010). A Rapid Assessment of Septage Management in Asia: Policies and Practices in India, Indonesia, Malaysia, Philippines, Srilanka, Thailand and Vietnam. USAID.

VIEIRA, F.R.; TANAKA, R.T.; TSAI, S.M.; PEREZ, D.V.; SILVA, C.M.M.S. Disponibilidade de nutrientes no solo, qualidade de grãos e produtividade da soja em solo adubado com lodo de esgoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.40, n.9, p.919-926, 2005.

VOTUPORANGA. Prefeitura Municipal. Decreto n.º 8280, de 22 de novembro de 2010. Institui e aprova o Regulamento dos Sistemas Tarifário e Técnico dos Serviços prestados pela Superintendência de Água, Esgotos e Meio Ambiente de Votuporanga e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.saev.com.br/DecretoMunicipal2011.pdf>> Acesso em: 20 set. 2012.

WENG, C. H.; LIN, D. F., CHIANG, P. C. Utilization of sludge as brick materials. *Advances in Environmental Research* 7, 2003.

WISCONSIN/USA. Código Administrativo. Capítulo NR 113. Disponível em: <[http://docs.legis.wisconsin.gov/code/admin\\_code/nr/100/113](http://docs.legis.wisconsin.gov/code/admin_code/nr/100/113)> Acesso em: 05 ago. 2012.

WHO (1989). *Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture*. Report of a Scientific Group. World Health Organization Technical Report Series 778.