



Fundação Educacional do Município de Assis
Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis
Campus "José Santilli Sobrinho"

ERICK RAFAEL DOS SANTOS

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO LODO DE
ESGOTO PRA FINS DE FERTILIZAÇÃO**

Assis
2011

ERICK RAFAEL DOS SANTOS

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO LODO DE
ESGOTO PRA FINS DE FERTILIZAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso de apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, como requisito do Curso de Graduação em Química Industrial

Orientadora: Ms. Patrícia Cavani Martins de Mello

Área de Concentração: Química

Assis
2011

FICHA CATALOGRÁFICA

SANTOS, Erick Rafael

Caracterização química e microbiológica do lodo de esgoto para fins de fertilização / Erick Rafael dos Santos. Fundação Educacional do Município de Assis - FEMA -- Assis, 2011.

59p.

Orientador: Patrícia Cavani Martins de Mello.

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – IMESA.

1. Lodo de esgoto1. 2. fertilizante

CDD:660

Biblioteca da FEMA

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO LODO DE ESGOTO PRA FINS DE FERTILIZAÇÃO

ERICK RAFAEL DOS SANTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, como requisito do Curso de Graduação, analisado pela seguinte comissão examinadora:

Orientadora: Ms. Patrícia Cavani Martins de Mello

Analisador: Ms. Nilson José dos Santos

Assis
2011

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por tudo que ele faz por mim, as bênçãos e vitórias que me dá. À minha família, especialmente aos meus pais, por não terem medido esforços para me dar esta oportunidade de estudar. Aos meus amigos pela ajuda nos momentos difíceis através do compartilhamento de conhecimentos. A todos professores que transmitiram seus conhecimentos e contribuíram para minha formação, em especial à professora Patrícia Cavani, pela orientação com seu conhecimento e compreensão para a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

À professora, Ms. Patrícia Cavani Martins de Mello, pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante o trabalho.

Aos amigos, Erick Gustavo, Luis Zardetto, Joelma Lopes, Lorrán Garcia Teixeira e a professora Elaine Amorim e a todos aqueles que colaboraram direta e indiretamente para realização deste trabalho.

Aos familiares, Elieth Aparecida, Ronaldo dos Santos que me ajudaram muito durante todo este tempo.

A minha namorada Rebeca Ciciliato por ter sempre me encorajado.

Ele verá o fruto trabalho da sua alma, e ficará satisfeito, pelo seu conhecimento o meu servo justo justificará a muitos, e as iniquidades deles, ele as tornará sobre si.

1-Isaías 53:11

RESUMO

O lodo de esgoto é um subproduto de sistemas de tratamento de efluentes industriais e domésticos, que apresenta altos índices de matéria orgânica e nutrientes como N e P. Microrganismos patogênicos e metais pesados podem estar presentes de acordo com o sistema de tratamento empregado na estação de tratamento de esgoto. Dadas suas características químicas, o lodo de esgoto pode ser utilizado na agricultura, como forma de disposição final. Esta pesquisa foi realizada com objetivo de caracterizar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos do lodo gerado na ETE do município de Andirá/PR, segundo a Resolução CONAMA 375/06, e de classificá-lo em biossólido da classe A ou B. Amostras de lodo cru e caleado foram analisadas segundo parâmetros microbiológicos e físico-químicos estabelecidos segundo os critérios da resolução nº 31 do MAPA de 1982. Os resultados mostraram um lodo rico em macronutrientes 21,97g/Kg de N, 6,79g/Kg de P, 59,04g/Kg de Ca, 0,08g/Kg de Mg e micronutrientes com 27592 mg/Kg de Fe e 110 mg/Kg de Mn havendo a necessidade de suplementação de K que apresentou 0,33 g/Kg. Depois de caleado as concentrações aumentaram para 10,99g/Kg de P, 144,79g/Kg de Ca e 143,01g/Kg de Mg e dos micronutrientes para 42752 mg/Kg de Fe e 189 mg/Kg de Mn. A concentração de N diminuiu para 19,57g/Kg. O lodo cru apresentou concentrações de metais pesados (Cr, Cu, Pb e Zn, abaixo dos níveis máximos permitidos pela Resolução CONAMA 375/06, mesmo após a calagem, onde suas concentrações diminuíram, com exceção do Pb. *Salmonella spp* e Coliformes Fecais estiveram ausentes no lodo cru. O *Enterococcus spp* apresentou concentração de $5,1 \times 10^3$ NMP/100 mL. Após a calagem, todos os parâmetros microbiológicos estiveram ausentes após a calagem. O lodo da ETE Andirá é classificado, de acordo com a legislação do Paraná como biossólido classe A.

Palavras-chave: lodo de esgoto; fertilizante; macronutrientes; micronutrientes; metais pesados.

ABSTRACT

Sewage sludge is a byproduct of processing systems in domestic and industrial effluents, which shows high levels of organic matter and nutrients such as N and P. Pathogens and heavy metals may be present according to the treatment system used in sewage treatment plant. Given its chemical characteristics, the sludge can be used in agriculture as a means of final disposition. This research was conducted in order to characterize the physico-chemical and microbiological indicators of WWTP sludge generated in the municipality of Andirá / PR, according to CONAMA Resolution 375/06, and classify them into biosolids Class A or B. Samples of raw sludge and limed parameters were analyzed according to microbiological and physico-chemical criteria established pursuant to resolution No. 31 MAP 1982. After nitroperchloric digestion of samples of raw sludge and limed sludge were subjected to reading atomic absorption spectrum, except for N, P and K, which, respectively were determined by the Kjeldahl method, Quimociac and by flame photometry. The results showed a sludge rich in macronutrients 21.97 g / kg N, 6.79 g / kg P, 59.04 g / kg Ca, 0.08 g / kg Mg and micronutrients with 27,592 mg / kg Fe and 110 mg / kg Mn there is a need for supplemental K showed that 0.33 g / kg. After limed concentrations increased to 10.99g/Kg P, 144.79g/Kg Ca and 143.01g/Kg Mg and micronutrients to 42,752mg/Kg Fe and 189mg/kg Mn. The N concentration decreased to 19.57g/kg. The raw sludge showed concentrations of heavy metals (Cr, Cu, Pb and Zn levels below the maximum permitted by CONAMA Resolution 375/06, even after liming, where their concentrations decreased, with the exception of Pb. Fecal Coliforms and *Salmonella spp* were absent in the raw sludge. The *Enterococcus spp* showed concentrations of 5.1×10^3 MPN/100ml. After liming, all microbiological parameters were absent after liming. The WWTP Andirá sludge is classified according to the law of the Paraná biosolids as A class.

Keywords: sewage sludge, fertilizer, macronutrients, micronutrients, heavy metals

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Parâmetros de qualidade do esgoto e seus efeitos sobre a água	18
Tabela 2	- Classificação do lodo de esgoto.....	23
Tabela 3	- Características físico-químicas do lodo de esgoto, segundo alguns autores nacionais	25
Tabela 4	- Teores máximos (mg/Kg) de metais pesados admitidos no lodo a ser utilizado na agricultura, segundo a legislação de diversos países	28
Tabela 5	- Tempo de sobrevivência de alguns patogênicos no solo.....	29
Tabela 6	- Número de distritos por região em função do destino final do lodo no Brasil	31
Tabela 7	- Limites estabelecidos para patogênicos segundo a legislação do Paraná e EUA.....	32
Tabela 8	- Cocentração limite de alguns metais pesados encontrados no lodo de esgotos segundo a Resolução CONAMA 375/06.....	33
Tabela 9	- Macronutrientes e micronutrientes e suas funções para as plantas.....	35
Tabela10	- Comparação das concentrações (g/Kg) dos macronutrientes da ETE Andirá com diferentes pesquisas no Brasil (* não especificado).....	48
Tabela11	- Concentrações de metais pesados presentes no lodo cru e lodo caledo da ETE Andirá (mg/Kg) (* Resolução CONAMA 375/06).....	50
Tabela12	- Comparação das concentrações (mg/Kg) de metais pesados da ETE Andirá com diferentes pesquisas no Brasil.....	51
Tabela13	- Resultados microbiológicos do lodo cru e caledo comparados com a legislação do Paraná (NMP: número mais provável).....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- O lodo de esgoto da ETE Andirá/PR seco.....	45
Figura 2	- Reator Anaeróbio.....	45
Figura 3	- Leito de Secagem	46
Figura 4	- Lodo depois de caleado	46
Figura 5	- Lodo caleado depois de 30	
Figura 6	dias.....	46
	- Amostras digeridas através da digestão nitroperclórica do lodo	
	caleado.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	TRATAMENTO DE ESGOTO.....	17
2.1.1	Importância do Tratamento de Esgoto.....	17
2.2	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO (ETE)	19
2.3	CLASSIFICAÇÕES DO TRATAMENTO DE ESGOTO.....	19
2.3.1	Tratamento Preliminar	19
2.3.2	Tratamento Primário	20
2.3.3	Tratamento Secundário	20
2.3.3.1	Processo Aeróbico	20
2.3.3.2	Lodo Ativado.....	21
2.3.3.3	Lagoas Aeradas	21
2.3.3.4	Processo Anaeróbico.....	21
2.3.4	Tratamento Químico.....	22
2.4	LODO DE ESGOTO.....	22
2.4.1	Caracterização Físico-Química do Lodo de Esgoto.....	24
2.4.1.1	Metais Pesados no Lodo de Esgoto.....	27
2.4.2	Microrganismos Patogênicos Presentes no Lodo de Esgoto.....	28
2.5	APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO.....	30
2.5.1	Culturas Recomendadas para o Uso do Lodo de Esgoto como Fertilizante.....	30
2.6	DESTINAÇÃO FINAL DO LODO.....	31
2.7	CRITÉRIOS DE QUALIDADES DO LODO PARA FINS DE CLASSIFICAÇÃO.....	32
3	O LODO DE ESGOTO COMO FONTE MACRO E MICRONUTRIENTES PARA AS PLANTAS.....	34
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
4.1	MATERIAIS E REAGENTES.....	37
4.2	EQUIPAMENTOS.....	38

4.3	COLETA DE DADOS.....	39
4.4	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LODO DE ESGOTO.....	39
4.4.1	pH.....	39
4.4.2	Determinação de Nitrogênio.....	40
4.4.3	Determinação de Fósforo.....	41
4.4.4	Procedimento das Análises de Metais Cu, Pb, Zn, Cr, Fe, Mn, Na, Mg, Ca e K.....	42
4.5	CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO LODO DE ESGOTO.....	42
4.5.1	Determinação de Coliformes Termotolerantes (Fecais)	43
4.5.2	Determinação de <i>Salmonella spp</i>	43
4.5.3	Determinação de <i>Enterococcus spp</i>	43
4.6	HIGIENIZAÇÃO LODO DE ESGOTO COM ADIÇÃO DE CAL HIDRATADO.....	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
5.1	AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LODO DA ETE ANDIRÁ....	47
5.2	AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO LODO DA ETE ANDIRÁ.	52
6	CONCLUSÃO.....	53
	REFERÊNCIAS	54
	ANEXO 1 – CONDIÇÕES ANALÍTICAS DA ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA.....	59

1. INTRODUÇÃO

Entre os resíduos gerados pelos seres humanos, o esgoto sanitário vem sendo alvo de enormes preocupações, pelo aumento da necessidade do tratamento de esgotos em virtude da elevação da população nos centros urbanos. A maior finalidade do tratamento de esgoto é o de reduzir o índice de carga orgânica, para garantir o retorno da água residual aos rios sem causar impactos ambientais e sanitários à população (CORREIA, 2009).

Em países subdesenvolvidos o não tratamento de esgoto ocasiona altas taxas de mortalidade através de doenças como amebíase, leptospirose, hepatite infecciosa, giardíase, esquistossomose, tracoma, escabiose, febre tifóide, febre paratifóide, ascaridíase, tricuriase, diarréia e ancilostomíase (SILVA et al., 2002).

No tratamento de esgoto sanitário há a geração de um subproduto chamado de lodo, que na maioria das vezes se apresenta como um problema devido à necessidade de disposição final adequada. Quando dispostos em locais inadequados há uma redução da eficiência técnica das estações, pelo acúmulo do lodo em leitos de secagem ou em pilhas dispostas no solo, tornando-o fonte de contaminações de rios, solos, animais e os seres humanos, além de servir como fator de multiplicação de vetores de doenças infecciosas e parasitárias (CORREIA, 2009).

A produção dos lodos de esgotos é crescente, devido às ampliações das coberturas de coleta e tratamento nos centros urbanos. Estima-se que no Brasil sejam gerados cerca de 150 a 220 mil toneladas por ano de massa seca de lodo (CORREIA, 2009).

São várias opções para o uso do lodo de esgoto, mas o que define a escolha adequada para a disposição final do lodo é o tipo de tratamento dado ao resíduo. Entre as alternativas dadas para a reutilização do lodo, o aproveitamento agrícola ganha destaque, sendo de extrema importância o conhecimento das características físico-químicas e microbiológicas do lodo (PACHECO, 1995).

O lodo de esgoto apresenta alto teor de matéria orgânica, quantidades de macro e micronutrientes importantes para as plantas, sendo por isso considerado um fertilizante de alta qualidade. A ausência de potássio e boro, entretanto, faz necessária uma suplementação (BETTIOL et al., 2011).

Devido aos custos envolvidos na disposição final e as possibilidades de contaminação que este material pode causar ao meio ambiente, este trabalho tem como objetivo a caracterização físico-química e microbiológica do lodo produzido pelo sistema de tratamento da cidade de Andirá – PR, para fins de fertilização agrícola.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. TRATAMENTO DE ESGOTO

Tratamento de esgoto é um conjunto de procedimentos físicos, biológicos e químicos aplicados a água para que ela retorne em boas condições para o consumo, tendo como finalidade a redução da demanda bioquímica de oxigênio, remover materiais sólidos, destruir microorganismos patogênicos e reduzir substâncias químicas indesejáveis (MAGALHÃES, 2011).

O sistema de tratamento de esgotos sanitários é um conjunto de instalações que consiste em redes coletoras, interceptores, emissário, elevatórias de esgoto, estação de tratamento de esgoto e disposição final (BARBOSA, 2005)

2.1.1. Importância do Tratamento de Esgoto

O tratamento de esgoto é de extrema importância, pois evita a proliferação de inúmeras doenças parasitárias e infecciosas além da degradação do corpo da água. Os esgotos podem contaminar a água, o alimento, os utensílios domésticos, as mãos, o solo (DELTA SANEAMENTO, 2011).

As doenças veiculadas a água têm origem, principalmente, a partir de dejetos. Podem ser transmitidos cerca de cinquenta tipos de infecções de uma pessoa doente para uma pessoa sadia por diferentes caminhos, envolvendo excretos humanos, dado que muitos microorganismos patogênicos são parasitas do intestino humano e, portanto são eliminados juntamente com as fezes. Pela falta muitas vezes de um tratamento adequado dos esgotos, os excretos humanos chegam a mananciais superficiais ou subterrâneos. As águas destes mananciais quando utilizadas para o consumo humano, podem ocasionar o acesso desses

microorganismos ao organismo de uma pessoa, causando lhe doenças. (SILVA et al., 2002).

Em países subdesenvolvidos o não tratamento do esgoto ocasiona altas taxas de mortalidade através de doenças como amebíase, leptospirose, hepatite infecciosa, giardíase, esquistossomose, tracoma, escabiose, febre tifóide, febre paratifóide, ascaridíase, tricuriase e ancilostomíase. (SILVA et al., 2002).

Uma grande importância em tratar os esgotos é a preservação do meio ambiente, já que algumas substâncias exercem ação de destruição nos corpos de água, quando lançadas sem adequado tratamento em águas naturais. (LOPES, 2007)

As principais substâncias provenientes do esgoto que alteram a qualidade da água são e seus efeitos, são apresentados na tabela 1.

Parâmetro	Efeito
Matéria orgânica	Ao ser degradado reduz o nível de oxigênio dissolvido na água, podendo matar os peixes e a formação de ambientes com maus cheiros
Metais pesados	Causam inibição á atividades vitais da micro fauna, microflora e peixes
Sais inorgânicos de cálcio e magnésio	Aumentam a dureza da água, prejudicando sua utilização
Nutrientes (nitrogênio e fósforo)	Podem provocar crescimento indesejáveis de algas (eutrofização)
Microorganismos patogênicos	Temperaturas elevadas, podendo provocar aumento da temperatura dos cursos de água acima do nível letal para os peixes, ou podendo acelerar as reações bioquímicas, fazendo com que aumente o grau de desoxigenação
Óleos e graxas	Acabam com aspecto da água e influem negativamente na capacidade de reaver oxigênio natural nos corpos de água
pH e temperatura	São modificados devido ao despejo de esgoto não tratado sobre as águas

Tabela 1 - Parâmetros de qualidade do esgoto e seus efeitos sobre a água (In: LOPES, 2007)

2.2. Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)

A Estação de Tratamento de esgoto (ETE) é a unidade operacional do sistema de esgotamento sanitário que através de processos físicos, biológicos e químicos removem as cargas poluentes do esgoto, devolvendo ao meio ambiente o efluente tratado, de acordo com os padrões exigidos pela legislação ambiental (BARBOSA, 2005).

As vantagens desta forma de tratamento são alta eficiência no tratamento, a necessidade de pouco espaço, a estabilização do lodo resultante no tanque de aeração e a produção do gás metano (BARBOSA, 2005). Como desvantagens existem a necessidade das análises mensais de demanda bioquímica de oxigênio (DQO), demanda química de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido (OD) para acompanhar a eficiência do tratamento, juntamente com os custos envolvidos e o tempo necessário para a obtenção dos resultados (BARBOSA, 2005; RAMOS et al., 1992 a 1994).

2.3. CLASSIFICAÇÕES DO TRATAMENTO DE ESGOTO

O tratamento de esgoto pode ser classificado em: tratamento preliminar, tratamento primário, tratamento secundário e tratamento terciário (PACHECO, 1995).

2.3.1. Tratamento Preliminar

Consiste em remover por ações físicas o material grosseiro e uma parcela das partículas maiores em suspensão no esgoto. Sendo os materiais grosseiros são retidos por grades, enquanto as partículas em suspensão são retidas em caixa. Na caixa de areia são retidas, por sedimentação, as partículas minerais pesadas com predominância de areia. Sendo o tratamento preliminar fica restrito ao uso de grade e caixas de areia (FERANDES, 1999).

2.3.2. Tratamento Primário

Tratamento primário ou mecânico: é um tratamento caracterizado pela remoção de substâncias grandes e fisicamente separáveis dos líquidos, que são insolúveis, que de modo geral permite a purificação do efluente, onde as substâncias contaminadas não são degradadas, mas transferidas para uma nova fase (MOREIRA, 2006).

Este tratamento tem como finalidade eliminar os sólidos em suspensão em três etapas: a primeira etapa está caracterizada como separação de fases sendo destacadas técnicas simples como sedimentação, decantação, filtração, centrifugação e flotação, a segunda etapa seria a parte física, como, destilação, evaporação, precipitação física e cristalização e a terceira etapa seria o método de transferência de fases (PACHECO, 1995).

2.3.3. Tratamento Secundário

Tratamento secundário, também chamado de biológico é um tratamento cuja atividade principal é alimentação das bactérias e microorganismos pela matéria orgânica presente nos resíduos, podendo ser aeróbico ou anaeróbico, se ocorrer na presença ou ausência de oxigênio, respectivamente (BARBOSA, 2005).

As ETE's com tratamento biológico se diferenciam pelos tipos de unidades que promovem este tratamento: filtro biológico, valo de oxidação, lodo ativado, carrossel, lagoa aerada, lagoa de estabilização, reator anaeróbico (FERNANDES, 1999).

2.3.3.1. Processo aeróbico

Esta forma de tratamento de esgotos é empregada por microorganismos, como bactérias, protozoários, fungos, micrometazoários, leveduras, para oxidar biologicamente a matéria orgânica. O oxigênio é utilizado como receptor de elétrons (BARBOSA, 2005).

2.3.3.2. Lodo ativado

A recirculação da biomassa ativa (bactérias capazes de assimilar a matéria orgânica), nos reatores é o princípio básico do processo de lodo ativado. Constitui-se de um tanque de aeração que por ação de microorganismos, estabiliza a matéria orgânica, produzindo um efluente de alta qualidade na remoção de matéria orgânica e nutriente, e de um decantador onde são removidos os flocos biológicos de seu efluente. Partes destes flocos retornam ao reator de aeração, para manter a quantidade de microorganismos no sistema (CORREIA, 2009).

O sobrenadante do decantador é o efluente tratado, pronto para descarte ao corpo receptor. O lodo, decorrente do crescimento biológico, é extraído do sistema sempre que as concentrações da mistura entre microorganismos e efluente ultrapassam os valores de projeto. Este lodo pode ser espessado e desidratado, tendo como aplicação a utilização como fertilizante (ACQUA, 2011).

Apresenta como vantagens: excelente qualidade no efluente obtido, baixo custo de investimento e alta taxa de eficiência de remoção de DBO e DQO (LOPES, 2007).

2.3.3.3. Lagoas aeradas

Nestas lagoas não há utilização de nenhum tipo de equipamento mecânico. A oxigenação é promovida por organismos fotossintetizantes como algas, que fornecem oxigênio às bactérias aeróbicas. Caso deseje-se acelerar o processo de depuração, podem ser utilizado-s aeradores (MOREIRA, 2006).

2.3.3.4. Processo anaeróbico

Esta forma de tratamento é caracterizada pela utilização de microorganismos acidogênicos e metanogênicos capazes de degradar matéria orgânica em produtos estáveis (BARBOSA, 2005).

Apresenta como vantagens a produção de 5 a 10 vezes menos lodo que os tratamentos aeróbicos, não há consumo de energia elétrica, pouco espaço para a produção de gás metano e não há surgimento de moscas e nem odor desagradável (BARBOSA, 2005).

2.3.4. Tratamento químico

É utilizado quando os tratamentos físicos e biológicos não conseguiram atender a eficiência, sendo as características de este tratamento remover as impurezas através de produtos químicos (FERNANDES, 1999).

Nesta fase de tratamento há a eliminação de compostos poluentes através de métodos bem simples, como lagoas de maturação, desinfecção, processos de remoção de nutrientes e filtração final (PACHECO, 1995).

2.4. LODO DE ESGOTO

O lodo de esgoto é gerado nos sistemas de tratamento de esgotos sanitários. Devido à origem e o processo utilizado pode conter de 0,25 a 12% de sólidos (CORREIA, 2009). Tem sua composição química muito variável, sendo rico em matéria orgânica, macronutrientes e micronutrientes (ZUTION et al., 2007).

O lodo de esgoto gerado nos tratamentos biológicos é constituído em boa parte por bactérias vivas, assim é matéria prima para os processos de tratamento biológicos. O seu excesso é considerado como resíduo e isto depende da tecnologia do sistema empregado (ANDREOLI, 2001). A classificação do lodo de esgoto é apresentada na tabela 2.

Lodo	Características
Lodo bruto	É gerado em decantadores primários é composto por sólidos sedimentáveis, apresenta coloração acinzentada, odor ofensivo, pegajoso, facilmente fermentável e pode ser facilmente digerido.
Lodo secundário	É a própria biomassa que cresceu á custa do alimento afluente. São gerados em reatores biológicos, com aparência floculante, tem odor fraco, coloração amarronzada para preto e quanto fresco pode ser digerido sozinho ou misturado ao lodo primário chamando de lodo misto.
Lodo digerido	Aquele que sofreu estabilização biológica aeróbia ou anaeróbia, não tem odor ofensivo e possui coloração marron escuro.
Lodo químico	É produzido quando o tratamento de esgoto utiliza etapas físico-químicas para melhorar o desempenho dos decantadores primários.

Tabela 2 - Classificação do lodo de esgoto (In: Correia, 2009)

O termo biossólido serve para designar o lodo produzido pelos tratamentos secundários de esgoto, e podendo ter como finalidade o uso agrícola. Este termo biossólido só é sugerido quando lodo já foi estabilizado, caso contrário é empregado outros nomes como torta, lodo ou sólidos (ANDREOLI, 2001).

Nos Estados Unidos, a produção do lodo de esgoto no ano 2000 foi de 7,1 milhões de toneladas, podendo chegar a 8,2 milhões de toneladas em 2010. Sendo na Europa, foram produzido cerca de 8,9 milhões de toneladas que poderá alcançar 10,1 milhões de toneladas em 2005 (ANDREOLI, 2001).

Mais de 90% de todo lodo produzido no mundo tem sua disposição final via a três processos: incineração, disposição em aterros e uso agrícola. A forma com que é feito a disposição final dos resíduos é chamado de uso benefício, nos Estados Unidos o lodo ganhou o destino final para o uso agrícola podendo alcançar cerca de 61,5% de todo esse lodo produzido para uso agrícola no ano de 2010. Já na Europa, o lodo tem como destino final reciclagem e disposição em aterros sanitários,

podendo ser direcionadas para cada uma dessas atividades cerca de 40% de todo o lodo produzido (ANDREOLI, 2001).

Nós últimos anos a produção de lodo tem aumentado e bastante devido a grandes ampliações da cobertura de coleta e do tratamento de esgotos, principalmente nos centros urbanos devido à população querer melhores condições de vida e ambientais. No Brasil, estima-se que sejam geradas cerca de 150 -220 mil toneladas de lodo seco por ano nas estações de tratamento (CORREIA, 2009).

2.4.1. Caracterização físico-química do lodo de esgoto

O lodo é composto em sua maior parte de água, de matéria orgânica, de macronutrientes e micronutrientes, além de microorganismos patogênicos e outros poluentes como os metais pesados. Estas características dependem da origem e processo utilizado (BETTIOL et al., 2011).

Em geral é composto por 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo e os demais macronutrientes (Mg, S, Ca) e micronutrientes (B, Fe, Cu, Zn, Mo, Cl, Co, Si, Mn e Na) (BETTIOL et al., 2011). Devido a presença destes elementos no lodo, quando aplicado ao solo, os valores de condutividade elétrica e capacidade de troca de cátions do mesmo, são aumentadas (VAL MORAES, 2008).

O pH fornece uma ótima informação sobre o estado de decomposição da matéria orgânica. Valores de pH elevados (de 7 a 12) favorecem a atividade microbiana, aumentando a mineralização da matéria orgânica e ocasionando aumento na disponibilidade de micronutrientes como Fe, por exemplo. (CORREIA, 2009)

Em valores de pH maiores que 12 acontece a inativação de microorganismos no lodo. O mecanismo de destruição químico-alcálica se dá pela elevação do pH e da temperatura, para produção de amônia (NH_3), que altera a natureza coloidal do protoplasma celular dos microorganismos patogênicos de forma letal. O NH_3 é capaz de penetrar na membrana protetora de ovos helmintos, desnaturando as enzimas responsáveis pelo metabolismo, inativando e destruindo (CORREIA, 2009).

A tabela 3 apresenta características físico-químicas do lodo de esgoto, segundo alguns autores nacionais.

Autor	pH	Matéria Orgânica (%)	Umidade (%)	Cinzas (%)	C (ppm)	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)
Fernandes <i>et al</i> , 1993 (Lodo fresco)	6	-	98-99	10-12	33	4,5-5,0	3,1	0,1	1	0,3
Fernandes <i>et al</i> , 1993 (Lodo digerido)	7	-	90-91	38,0-40,0	24	3,0-3,2	5,6	0,2	1,9	0,3
Fernandes <i>et al</i> , 1993 (Lodo ativado)	7	-	98-99	12,0-13,0	30	6,0-6,5	2,9	0,1	0,9	0,4
Berton <i>et al.</i> , 1989	-	-	-	-	16	1,38	0,9	0,2	1,6	0,6
Carvalho, 1982	-	31,74	-	-	-	1,26	2,6	0,3	-	-
Bettioli <i>et al.</i> , 1983	6	58,68	-	-	-	2,24	4	0,7	-	-

Tabela 3 - Características físico-químicas do lodo de esgoto, segundo alguns autores nacionais (In: MORAES, 2005).

O nitrogênio do lodo é encontrado na forma mineral nitratos (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) ou orgânica. O nitrogênio amoniacal e o nítrico são totalmente disponíveis para as plantas, já o nitrogênio orgânico deve se passar por mineralizações microbiológicas antes ser absorvido. É um elemento fundamental para o crescimento dos vegetais e microrganismos do solo, porém sua aplicação muita elevada pode contaminar corpos d'água por arraste deste elemento do solo (CORREIA, 2009). Segundo pesquisa científicas estudada indicam que em climas quentes 50% do nitrogênio total contido no lodo são utilizadas pelas plantas no primeiro ano. Esta taxa pode

cair para 10-20% no segundo ano, caso sejam feitas dosagens altas de lodo no solo, o que pode ocasionar perda de nitrogênio por lixiviação. Outro fator é que seu excesso dificulta a absorção de outros nutrientes, retarda a colheita e diminui a resistência da folhagem contra doenças (CHAGAS, 2000).

A disponibilidade de nitrogênio total e suas formas podem ser influenciadas pelos processos de estabilização. A digestão anaeróbia produz um lodo com elevado níveis de amônio e pouco nitrato. Já a digestão aeróbia produz altos níveis de nitrato. O processo de desidratação reduz tanto o nitrato quanto o nitrito (CORREIA, 2009).

O fósforo estimula o crescimento das raízes, aumenta sua resistência a doenças e acelera a manutenção da planta (CHAGAS, 2000). Dificilmente, o excesso de fósforo no solo brasileiro pode causar toxicidade de plantas e corpos d'água subterrâneos, pois o solo brasileiro é pobre neste nutriente que tem grande capacidade de retenção. Quando em excesso e combinado a um período chuvoso, pode formar compostos solúveis sendo lixiviável e contribuindo para o processo de eutrofização de rios e lagos. O fósforo orgânico pode ser mineralizado com a decomposição da matéria orgânica, num pH entre 5 e 7. Já no lodo estabilizado, o fósforo inorgânico será lentamente liberado durante anos (CORREIA, 2009).

O potássio desenvolve a parte rígida dos caules e a polpa das frutas, formando tecidos fibrosos e resistentes, sendo ainda necessário á formação da clorofila que aumenta a resistência da planta contra doenças. Todavia, retarda a maturação do vegetal. Como geralmente está presente em pequena quantidade no lodo, torna-se necessária a suplementação com fontes minerais (CHAGAS, 2000).

Solos tropicais e subtropicais, em geral são ácidos, o que provoca as perdas de elementos como Ca, Mg e K. A correção se dá pela adição de calcário. Processos de decomposição de matéria orgânica também podem contribuir para incorporação destes elementos ao solo, com exceção do potássio (CORREIA, 2009).

2.4.1.1. Metais pesados no lodo de esgoto

Os lodos de esgoto podem conter metais pesados originários da atividade industrial, através muitas vezes do recebimento dos esgotos sanitários nas estações de tratamento. Sendo assim devem-se levar em conta as concentrações máximas de metais pesados nos biossólidos, às cargas cumulativas máximas de metais pesados em solos para a aplicação de biossólidos e as concentrações máximas de metais pesados em solos agrícolas (PIANA, 2009).

A toxicidade dos metais pesados depende, em grande parte da sua especiação química. Os metais pesados em sua forma livre condensados, não são tóxicos e podem passar pelo corpo humano sem grandes danos. Contudo, o mercúrio, (Hg), o cádmio, (Cd), o chumbo, (Pb) e o arsênio, (As) tornam-se perigosos nas formas catiônicas ou quando ligados em cadeias pequenas de carbono (CORREIA, 2009).

Os metais pesados como Cr, Cu, Cd, Zn, Pb e Ni, dentre outros que estão presentes no lodo, sofrem várias reações químicas no solo como: complexação com ácidos húmicos, flúvicos e ligantes inorgânicos e orgânicos, adsorção na superfície de argila, precipitação como sulfetos, carbonatos, hidróxidos e outros, redução e oxidação. O equilíbrio químico destas reações define a disponibilidade e toxidez para as plantas, a solubilidade e a lixiviação de um metal no solo (CHAGAS, 2000).

A biodisponibilidade e a mobilidade dos metais dependem das propriedades físico-químicas das amostras de lodo como; condutividade elétrica, matéria orgânica, pH, nitrogênio mineralizável e força iônica. A biodisponibilidade e mobilidade dos metais aumentam em $\text{pH} < 6,5$ e diminui com $\text{pH} > 6,5$, com exceção o Mo e Se (CORREIA, 2009). A tabela 4 apresenta os limites máximos de metais pesados tolerados no lodo de esgoto a ser usado na agricultura pelas legislações de alguns países.

País	Ano	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Hg
C.E.E.	1986	1-3	50-140	100-150	30-75	50-300	150-300	1-1,5
França	1988	2,0	100	150	50	100	300	1,0
Alemanha ¹	1992	1,5	60	100	50	100	200	1,0
Itália	1990	3,0	100	150	50	100	300	
Espanha	-	1,0	50	100	30	50	150	1,0
Reino unido ²	1989	3,0	135	400	75	300	300	1,0
Dinamarca	1990	0,5	40	30	15	40	100	0,5
Finlândia	1995	0,5	100	200	60	60	150	0,2
Noruega	-	1,0	50	100	30	50	150	1,0
Suécia	-	0,5	40	30	15	40	100	0,5
EUA	1993	20	750	1500	210	150	1400	8,0
Nova Zelândia	1992	3	140	600	35	550	280	1
Canadá		1,6	100	120	32	60	220	0,5

1: Valores para pH > 6. Para pH 5 a 6 os limites pra Cd e Zn são 1 e 150mg/Kg respectivamente;

2: Valores para pH 6 a 7.

Tabela 4 - Teores máximos (mg/Kg) de metais pesados admitidos no lodo a ser utilizado na agricultura, segundo a legislação de diversos países (In: POPPE; GUEDES, 1999).

2.4.2. Microrganismos patogênicos presentes no lodo de esgoto

Microrganismos patogênicos são organismos capazes de causar doenças nos animais e aos homens por várias vias de infecção como a inalação, a ingestão e o contato dérmico. Os quatro maiores grupos de organismos patogênicos que afetam à saúde humana são as bactérias, protozoários, vírus e os helmintos, presentes no lodo conforme o quadro epidemiológico da comunidade local e do tipo de processo que o gera. Estes microrganismos podem ser também de procedência animal quando suas fezes são lançadas ou pela sua presença (i.e.: roedores e insetos), na rede de esgoto (CORREIA, 2009).

Existem vários métodos para eliminação dos microrganismos patogênicos do lodo: oxidação, baixa pressão, pasteurização, compostagem, desinfecção química, radiação, tratamento com elevação do pH, entre outros. Em pesquisas feitas no

Estado do Paraná, foram introduzidos dois métodos de higienização e estabilização do lodo, a calagem e a compostagem. A calagem tem como princípio a elevação do pH a níveis iguais ou superiores a 12, o que pára ou destrói maior parte dos microrganismos patogênicos do lodo. O princípio da compostagem é a eliminação ou diminuição dos microrganismos patogênicos pela elevação da temperatura obtida com o processo de biodegradação da matéria orgânica (ANDREOLLI; PEGORINI, 1998).

Sabe-se em que sua constituição, o lodo de esgoto apresenta uma quantidade significativa de ovos de helmintos, sendo este um dos grandes problemas da utilização deste material sem um tratamento adequado. A remoção destes ovos é apontada como um grande problema ambiental, pois nenhum tratamento consegue total remoção deste microrganismo (PIANA, 2009).

Os helmintos são considerados organismos patogênicos de alta resistência aos processos de higienização. De acordo com pesquisas de Piana (2009), a sedimentação de um material sólido em tanques sépticos para a remoção de matéria orgânica acaba por reduzir a presença de microrganismos patogênicos dos esgotos, mas contribui em um ambiente favorável aos helmintos.

Os diferentes microrganismos patogênicos podem apresentar tempos de sobrevivência relativamente altos no lodo, conforme apresentado na Tabela 5.

Organismo	Tempo de Sobrevivência
Coliformes Totais	4 a 77
Coliformes Fecais	4 a 55
Enterococos	8 a mais de 70
<i>Leptospira</i>	menos 15
<i>Mycobacterium</i>	10 a 500
<i>Salmonella paratyphi</i>	mais de 259
<i>Salmonella typhi</i>	11 a mais de 280
<i>Streptococcus faecalis</i>	26 a 77

Tabela 5 - Tempo de sobrevivência de alguns patogênicos no solo (In: MORAES, 2005)

2.5. APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO

A aplicação do lodo de esgoto tem sido recomendada em culturas perenes e anuais, em que as partes comestíveis dos alimentos não entrem em contato com o lodo, sendo usadas em reflorestamento, pastagens (CHAGAS, 2000).

Segundo pesquisas do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP), concluiu com que a aplicação do lodo doméstico tratado nas lavouras de cana-de-açúcar tem suprido em 100% o uso do adubo mineral nitrogenado e em 30% o adubo fosfatado mineral. Daí cabe a produtor complementar a adubação com potássio. Então com base nos critérios agrônômicos, conclui-se que a aplicação do lodo tratado aumentou 23% comparado a área que recebeu adubação convencional (MORGAN, 2011).

Nos Estados Unidos existem fertilizantes produzidos a partir do lodo de estações de tratamento, por compostagem ou outros processos, são comercializados em supermercados, para uso agrícola, em jardins, parques gramados, etc (PACHECO, 1995).

Em países como Estados Unidos, Japão e África do Sul é utilizada em escala industrial a incorporação do lodo de esgotos á fabricação de materiais cerâmicos (tijolos para construção, pisos cerâmicos). No Brasil não é utilizado com lodo de esgoto doméstico, mas sim com lodo industrial incorporado para produção em escala industrial de tijolos cerâmicos (PACHECO, 1995).

2.5.1. Culturas recomendadas para o uso do lodo de esgoto como fertilizante

As propriedades do lodo de esgoto são muito parecidas com outros produtos orgânicos usados normalmente na agricultura (esterco bovino, suíno, avícola), então em termos de resultados agrônômicos pode ser utilizado na maioria das culturas. Algumas culturas se prestam mais que as outras para o uso do lodo, devido a aproveitar melhor sua composição química e liberação lenta do nitrogênio, também por eliminar riscos associados à reciclagem de resíduos animais, principalmente

quando falamos em patogênicos. Culturas destinadas a serem consumidas cruas como, por exemplo, hortaliças, não podem ser plantadas em locais na onde foi aplicado o lodo. Os milhos e as gramíneas (trigo, sorgo, cana) pelas suas características são as culturas mais recomendadas e as que dão melhores resultados quando a aplicação do lodo. Outras aplicações como em reflorestamento, fruticultura e recuperação de áreas degradadas são alternativas muito interessantes, dentro de critérios específicos enquanto a utilização (CHAGAS, 2000).

2.6. DESTINAÇÃO FINAL DO LODO

O destino final do lodo gerado nas estações de tratamento tem se apresentado como um grande problema, pois envolve vários estudos e decisões relativas ao condicionamento e estabilização do lodo gerado, grau de desidratação, formas de transporte, eventual reuso do lodo, eventuais riscos ambientais, e aspectos econômicos. Antes de decidir sobre a forma e o local de destino final, devem-se conhecer alguns aspectos, como quantidade gerada e características físico-químicas e microbiológicas (PACHECO, 1995). A tabela 6 formas de destino final do lodo em restritos das cinco regiões do Brasil.

Destino	Região					Brasil
	Norte	Nordeste	Centro oeste	Sudeste	Sul	
Rio	2	93	9	128	39	271
Mar	-	6	-	3	1	10
Terreno baldio	1	52	5	20	24	102
Aterro sanitário	4	33	13	240	44	334
Incineração	-	1	1	9	1	12
Reaproveitamento	3	15	10	43	94	165
Outro	7	60	18	241	58	384
Sem declaração	2	3	2	134	101	151
Números de distritos	19	252	57	795	260	1383

Tabela 6 - Número de distritos por região em função do destino final do lodo no Brasil (In: MORAES, 2005).

2.7. CRITÉRIOS DE QUALIDADES DO LODO PARA FINS DE CLASSIFICAÇÃO

Alguns critérios para a escolha das áreas aptas à recepção de lodo de esgoto devem ser levados em consideração para se reduzir ao mínimo os riscos associados ao seu uso agrícola e obtenção de boas respostas agrônômicas. A área ideal a receber o lodo deve ser aquela em que, o lodo pode ser utilizado pelas plantas de maneira satisfatória, em que não há perda dos componentes por lixiviação ou escurrimto superficial (CHAGAS, 2000). A tabela 7 mostra a classificação do lodo e possíveis aplicações, de acordo com a legislação do Paraná e dos Estados Unidos.

Microrganismo	Legislação do Paraná		Legislação dos EUA	
	Lodo Classe A	Lodo Classe B	Lodo Classe A	Lodo Classe B
Ovos de helmintos	Até 50 ovos / 100g massa seca	Até 100 ovos / 100g massa seca	< 1 / 4g massa seca	Não especificado
<i>Samonella spp</i>	Ausente	Ausente	< 3 / 4g massa seca	Não especificado
<i>Enterococcus spp</i>	< 10 ³ / 100g massa seca	< 10 ⁶ / 100g massa seca	< 10 ³ / g massa seca	< 2 x 10 ⁶ / g massa seca
Coliformes fecais	< 10 ³ / 100 g massa seca	< 10 ⁶ / 100 g massa seca	< 1 / 4 g massa seca	Não especificado
Culturas	Milho, feijão, soja, ou seja, grandes culturas mecanizadas sem contato primário.	Espécies florestais e frutíferas sem sistema de covas.	Pode ser aplicados em terrenos de praças, jardins e pastagens.	Pode ser usado na agricultura com algumas restrições.

Tabela 7 - Limites estabelecidos para patogênicos segundo a legislação do Paraná e EUA (In: ARAÚJO, 2008)

A legislação vigente no Brasil, que estabelece parâmetros de qualidade de lodo de esgoto – Resolução CONAMA 375/06. A tabela 8 mostra a quantidade de metais pesados que possam existir no lodo de acordo com esta Resolução.

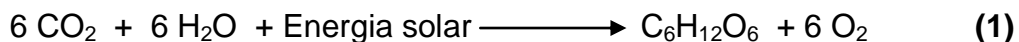
Metal	Concentração máxima (mg/Kg) em lodo seco
Ba	1300
Cd	39
Cr	1000
Cu	1500
Pb	300
Ni	420
Zn	2800
As	41
Hg	17
Se	100
Mo	50

Tabela 8 - Concentração limite de alguns metais pesados encontrados no lodo de esgoto seco segundo a Resolução CONAMA 375/06 (Fonte: CORREIA, 2009).

3. O LODO DE ESGOTO COMO FONTE DE MACRO E MICRONUTRIENTES PARA AS PLANTAS

Assim como ser humano, as plantas também são organismos vivos, formados por moléculas, que em sua composição contêm açúcares, lipídios, proteínas e ácidos nucléicos (FILHO, 2011).

As plantas se alimentam através da absorção de nutrientes minerais, através de suas raízes, absorvidos juntamente com água presente no solo. As plantas utilizam o CO₂ e o vapor de água da atmosfera para, na presença de luz solar, sintetizar compostos orgânicos de carbono, hidrogênio e oxigênio, tais como a glicose (FILHO, 2011). Este processo é chamado fotossíntese e está representado na equação 1.



Excetuando o carbono, o hidrogênio e o oxigênio, determinou-se que as plantas necessitam de treze elementos minerais essenciais, os quais foram classificados em macronutrientes e micronutrientes. Eles foram retirados do solo na forma iônica, dissolvidos em água, ou por transporte ativo, sendo levados pelo xilema até a parte aérea da planta, onde são utilizados ou redistribuídos. Os macronutrientes são: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). Os micronutrientes: boro (B), cloro (Cl), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), cobre (Cu) e zinco (Zn) (COSTA, 2011).

É difícil de determinar o papel de cada nutriente na planta, pois o mesmo elemento muitas vezes desempenha vários papéis com importância para a fisiologia da planta. Por exemplo, o nitrogênio que é um elemento indispensável para síntese de proteínas é também é um constituinte de fosfolipídios, de algumas vitaminas e da clorofila. O fósforo, assim como nitrogênio, é um constituinte necessário para muitas substâncias vitais: nucleoproteínas, fosfolipídios e componentes de enzimas. O

enxofre ocorre em proteínas e vitaminas e participa ainda da síntese de clorofila, absorção de CO₂, reações de fosforização, etc. (COSTA, 2011) A tabela 9 mostra os macronutrientes e micronutrientes e suas funções para as plantas.

Nutriente	Função
Nitrogênio	Atua principalmente na manutenção do crescimento da planta, na formação de aminoácidos e proteínas.
Fósforo	Responsável pela energia na planta (forma ATP) Atua na multiplicação das células, promovendo o crescimento das raízes, maturação e melhor formação dos grãos e frutos, faz parte dos compostos essenciais ao metabolismo vegetal.
Potássio	Atua regulando a abertura e fechamento de estômatos, oferecendo a planta uma maior resistência à planta a doenças e falta de água.
Cálcio	Principal componente da parede das células atua promovendo resistência física em flores, ramos, e frutos. Junto ao fósforo atua no crescimento e multiplicação de raízes
Enxofre	Atua na formação de aminoácidos e no metabolismo vegetal, é constituinte de enzimas e hormônios vegetais. Colabora na formação do sistema radicular e estimula a produção de sementes. Além disso, o enxofre é componente principal dos compostos aromáticos, atuando no aromas das flores e frutos.
Magnésio	Principal componente da molécula de clorofila, sua presença nos fertilizantes para as plantas é indispensável pois. A função do magnésio na planta está relacionada com a sua capacidade para interagir com ligantes nucleofílicos (ex. grupos fosforil) através de ligações iônicas, e atuar como um elemento de ligação e ou formar complexos de diferente estabilidade.
Zinco	Atua no processo da fotossíntese como catalisador para reguladores de crescimento da planta. Participa na formação do AIA – Ácido Indol Acético, Composto que desempenha papel no estímulo mitótico e no alongamento celular para o crescimento orientado das plantas.
Cobre	É um ativador enzimático, participa na fase reprodutiva e na respiração da planta.
Boro	Fixa o cálcio nas paredes das células. Atua no transporte de açúcares e proteínas, na fecundação das flores e na formação das sementes.
Manganês	Tem importância na fotossíntese, faz parte das enzimas envolvidas na respiração e na síntese de proteínas, atuando no crescimento da planta.
Molibdênio	Participa da bioquímica da absorção, transporte e fixação de Nitrogênio.
Ferro	O Fe possui grande capacidade redox (Fe ³⁺ - Fe ²⁺) o que o torna importante nos processos de oxirredução no metabolismo da planta. Participa na reação de uma grande quantidade de enzimas.

Tabela 9 - Macronutrientes e micronutrientes e suas funções para as plantas (In: FILHO, 2011).

Os macronutrientes são os nutrientes absorvidos em grande escala pelas plantas. São estes os elementos: carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O), potássio (K), nitrogênio (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) (PADILHA, 2011). Os macronutrientes podem ser divididos em macronutrientes primários, que o N, P e K, e os macronutrientes secundários, que são os demais, C, H, Ca, Mg e S. Os micronutrientes são os nutrientes absorvidos pelas plantas em menores escala são estes elementos, ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), zinco (Zn), cobre (Cu), cloro (Cl) e molibdênio (Mo) (PRADO, 2011).

Toda planta necessita de 14 a 17 elementos, sendo nitrogênio, fósforo e potássio os mais importantes. Os agricultores podem fornecer as plantas estes nutrientes de duas maneiras através da adubação orgânica e a da adubação química (NEVES, 2011).

A adubação química consiste na suplementação dos nutrientes através de adubos químicos, ricos em potássio, nitrogênio e fósforo entre outros macronutrientes e micronutrientes. Estes adubos estão disponíveis no mercado de várias formas, mas para sua aplicação ser bem sucedida deve haver estudo do local e da planta que irá receber a adubação para que não ocorram perdas (FILHO, 2011).

A adubação orgânica é a suplementação dos nutrientes necessários às plantas, via os adubos orgânicos rico em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e outros nutrientes. O lodo de esgoto, por exemplo, pode acrescentar estes nutrientes através de sua aplicação ao solo é um material rico em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e outros micronutrientes e macronutrientes (BETTIOL et al., 2011).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. MATERIAIS E REAGENTES

- Ácido Bórico 2%
- Ácido Clorídrico 0,1 M (padronizado)
- Ácido Nítrico p.a
- Ácido Perclórico p.a
- Ácido Sulfúrico p.a
- Agar Bismuto Sulfito (Bismuth Sulfite Agar)
- Agar TSI (Triple Sugar Iron Agar)
- Agar Xilose Lisina Desoxicolato (XLD Agar)
- Água destilada
- Balão volumétrico de 100 mL
- Barra magnética
- Béquer de 250 mL
- Cadinho para fósforo
- Cal Hidrato do tipo III [Ca(OH)_2 , Mg(OH)_2 e MgO_2]
- Caldo Lia (Lysine Iron Agar)
- Caldo selenito cistina (Slenite Cystine Broth)
- Caldo tetracionato (Tethathionate Broth)
- Carbonato de sódio 0,05 M
- Erlenmeyer de 250 mL
- Filtro de porcelana

- Hidróxido de sódio 50%
- HTP (Buffered Peptone Water)
- Kitassato de 500 mL
- Mistura catalítica (1/10 1 de sulfato de potássio (K_2SO_4) para 10 de sulfato de cobre ($CuSO_4$))
- Pipeta graduada de 5 mL
- Pipeta volumétrica 15 mL
- Proveta 50 mL
- Quimociac 10%
- Solução tampão (pH = 4; pH = 7)
- Tubos de ensaio grande
- Tubos de proteína

4.2. EQUIPAMENTOS

- Agitador magnético (Fisatom 702)
- Autoclave (Pnoenin Ruterio)
- Balança analítica (Marte AY – 220)
- Balança de Bancada (Radwag)
- Banho Maria (Quimis)
- Bloco digestor
- Bomba a vácuo (TECNAL TE – 058)
- Chapa elétrica de 350°C
- Destilador de nitrogênio (TECNAL TE – 0363)
- Espectrofotômetro de absorção atômica (Varian AA -1275)

- Estufa Bacteriológica (MA – 032)
- Estufa de secagem 105°C (JIIICA)
- Mufla (EDG Equipamentos EDG 3P – 5)
- pHmetro (Marconi MA – 522)

4.3. COLETA DE DADOS

Os trabalhos experimentais foram desenvolvidos no Centro de Pesquisas em Ciências (CEPECI) da Fundação Educacional do Município de Assis e AGROLAB, localizado na cidade de Assis-SP.

4.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LODO DE ESGOTO

Na caracterização físico-química das amostras de lodo do reator anaeróbio que são depositados em leito de secagem, os seguintes parâmetros foram determinados em laboratório: pH, N, P, K, Cu, Pb, Zn, Cr, Fe, Mn, Na, Mg e Ca. Todos os procedimentos analíticos foram baseados na Portaria nº 31 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento de 08 de junho de 1982, que estabelece os métodos analíticos oficiais para análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes sujeitos a inspeção e fiscalização previstas na legislação.

4.4.1. pH

Foram pesados 10 g de lodo para 90 mL de água destilada e feito a mediação do potencial de hidrogênio ionizável, num aparelho Marconi Ma – 032 previamente calibrado com soluções tampão 4,00 e 7,00.

4.4.2. Determinação de Nitrogênio

O nitrogênio foi analisado através do método Kjeldahl (oxidação úmida). As amostras de lodo (0,5g) foram digeridas a 350°C em meio ácido (H₂SO₄ p.a.), na presença de um catalisador (CuSO₄ e K₂SO₄) e H₂SO₄ p.a por 4 horas. Foi preparado um branco, utilizando-se todos os reagentes exceto a amostra, para que se descontem erros analíticos provenientes do método. Após a digestão das amostras, foi feita destilação do nitrogênio (NH₃) presente na solução em destilador Kjeldahl. A determinação do nitrogênio digerido foi feita realizada com solução de ácido bórico (H₃BO₃ 4%) e o excesso da amônia foi determinado por titulometria com solução padrão de ácido clorídrico (fator de correção – 0,9925) na presença de indicadores verde bromocressol e vermelho de metila. O nitrogênio foi calculado conforme a equação 2.

CÁLCULO:

$$N (\%) = \frac{V_{\text{HCl}} (\text{mL}) \times f_{\text{HCl}} \times MM_{\text{N}} (\text{g} \cdot \text{mol}^{-1})}{\frac{P_{\text{amostra}} (\text{g})}{100}} \quad (2)$$

Onde:

V_{HCL} = Volume de ácido clorídrico gasto na titulação

f_{HCL} = fator da solução de ácido clorídrico

MM_N = Massa Molar do nitrogênio

P_{amostra} = Peso da amostra

4.4.3. Determinação de Fósforo

O fósforo foi analisado através do método gravimétrico do Quimociac que consiste na solubilização do fósforo da amostra por extração fortemente ácida e posterior precipitação do íon ortofosfato como fosfomolibdato de quinolina – $(C_9H_7N)_3H_3[PO_4 \cdot 12MoO_3]$, o qual é filtrado, secado e pesado.

Foi feita uma digestão nitroperclórica (HNO_3 e $HClO_4$) (Figura 4) da amostra de lodo (1,0g), que posteriormente será diluída a 100mL com H_2O destilada. Desta solução, 15 mL foram transferidos para um béquer que foi submetido a aquecimento até fervura por 15 minutos e por mais 1 minuto com a adição do reagente Quimociac que precipitou o fosfomolibdato de quinolina. O precipitado foi transferido para um cadinho sinterizado de 50 mL limpo e seco previamente pesado e filtrado sob vácuo, com lavagens sucessivas com H_2O destilada. Após secagem ($105^\circ C/4h$) o cadinho foi pesado novamente e a quantidade de P_2O_5 foi determinado através da equação 3.

CÁLCULO:

$$\%P_2O_5 = \frac{[P_{\text{final}} \text{ (g)} - P_{\text{inicial}} \text{ (g)}] \times 3,207 \times 100}{\frac{V_{\text{aliquota}} \text{ (mL)}}{P_{\text{amostra}} \text{ (g)}}} \quad (3)$$

Onde:

P_{final} = Peso da amostra final

P_{inicial} = Peso da amostra inicial

V_{aliquota} = Volume da alíquota

P_{amostra} = Peso da amostra

4.4.4. Procedimento das análises de metais Cu, Pb, Zn, Cr, Fe, Mn, Na, Mg, Ca e K

Foi utilizado um espectrômetro de absorção atômica Varian, modelo AA -1275. Como fontes de radiação foram utilizadas lâmpadas de catodo oco: de cobre ($\lambda = 324,7$ nm, $i = 5$ mA, fenda = 0,5 nm), de zinco ($\lambda = 213,1$ nm, $i = 5$ mA, fenda = 0,2 nm), de ferro ($\lambda = 372$ nm, $i = 5$ mA, fenda = 0,2 nm), de potássio ($\lambda = 766,5$ nm, fenda = 1 nm), de manganês ($\lambda = 403,5$ nm, $i = 5$ mA, fenda = 0,5 nm), de magnésio ($\lambda = 285,2$ nm, $i = 5$ mA, fenda = 0,5 nm), de cromo ($\lambda = 357,9$ nm, $i = 5$ mA, fenda = 0,5 nm), de sódio ($\lambda = 589$ nm, fenda = 1 nm), de cálcio ($\lambda = 422,9$ nm, $i = 5$ mA, fenda = 0,5 nm) e de chumbo ($\lambda = 217$ nm, $i = 5$ mA, fenda = 1 nm). Em todos os casos foi utilizada chama oxidante ar-acetileno.

A calibração do equipamento foi feita com soluções intermediárias de cobre ($20,0 \mu\text{g mL}^{-1}$), ferro ($20,0 \mu\text{g mL}^{-1}$), zinco ($10,0 \mu\text{g mL}^{-1}$), cálcio ($50,0 \mu\text{g mL}^{-1}$), manganês ($20,0 \mu\text{g mL}^{-1}$), magnésio ($10,0 \mu\text{g mL}^{-1}$), cromo ($20,0 \mu\text{g mL}^{-1}$), chumbo ($20,0 \mu\text{g mL}^{-1}$), sódio ($100,0 \mu\text{g mL}^{-1}$) e potássio ($100,0 \mu\text{g mL}^{-1}$) preparadas por diluições das respectivas soluções estoque do padrão ($1000 \mu\text{g mL}^{-1}$ em HNO_3).

4.4. CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO LODO DE ESGOTO

Esta caracterização foi feita para determinar a presença de agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos, de acordo com a legislação do Paraná, que determina as análises de coliformes termotolerantes (coliformes fecais), *Salmonella spp*, vírus entérico (através da determinação de *Enterococcus spp*) e ovos viáveis de helmintos em lodo de esgoto. A determinação de ovos viáveis de helmintos não foi feita devido à falta de reagentes necessários à sua determinação. Todas as análises foram baseadas na norma da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB – L 5.218, AWWA (1998) e SILVA e JUNQUEIRA (1995), com modificações.

4.5.1. Determinação Coliformes Termotolerantes (Fecais)

Para determinação de coliformes termotolerantes foram feitas diluições sucessivas de lodo (10g) em água peptonada, até que se chegasse a uma proporção de 1.10^{-5} g.mL⁻¹. Desta solução, 1mL foi transferido para uma série de 5 tubos contendo caldo lauril sulfato de sódio contendo tubos de Duhran invertidos, que posteriormente foram incubados em estufa bacteriológica (35°C/48h). A turvação do meio e formação de gás (CO₂) dentro do tubo de Duhran indicam a presença de coliformes termotolerantes.

4.5.2. Determinação de *Salmonella spp*

Para a determinação de *Salmonella spp*, as amostras de lodo foram inoculadas diretamente em meios de pré-enriquecimento HTP (Buffered Peptone Water Broth) e Água Peptonada Tamponada. Estas soluções foram incubadas em estufa bacteriológica (35°C/24h) e posteriormente replicadas para meio de enriquecimento Tetracionato e Selenito-cistina, que por sua vez foram inoculados em banho-maria (35°C/24h).

Destes meios de cultura foram realizadas estrias de esgotamento em Agar XLD (XLD Agar) e Agar ABS (Bismuth Sulfite Agar) que foram incubadas em estufa (35°C/24h). Nas colônias formadas foram feitos testes bioquímicos, através da sua inoculação em caldo TSI (Triple Sugar Iron Agar) e o LIA (Lysine Iron Agar) que foram inoculados 35°C em estufa. A coagulação dos caldos TSI e LIA indicam presença de *Salmonella spp*.

4.5.3. Determinação de *Enterococcus spp*

A determinação de *Enterococcus spp*. baseou-se na norma técnica SANCHES (1999). Foram feitas diluições sucessivas de lodo (10g) em água peptonada, até que

se chegasse a uma proporção de 1.10^{-5} g.mL⁻¹. Desta solução, 1mL foi transferido para uma série de 5 tubos contendo Caldo Azide Dextrose que posteriormente foram incubados em estufa bacteriológica (35°C/ 48h). As turvações do meio de cultura indicam presença de *Enterococcus spp.*

4.6. HIGIENIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO COM ADIÇÃO DE CAL HIDRATADO

Foi feita uma higienização do lodo com cal hidratado a 30% para destruição dos microrganismos patogênicos.

Foi pesado 1Kg de lodo e adicionados 300g de cal hidratado seguido de homogeneização vigorosa. Esta mistura ficou em descanso por 30 dias em local protegido para retenção do calor e absorção de umidade (atmosférica ou por chuvas), assim como de retenção de amônia (POPPE; GUEDES, 1999).

Este método objetiva a desinfecção do lodo e a elevação do pH, já que os solos brasileiros são muito ácidos. Este método esteve baseado no manual prático de uso e manejo do lodo de esgoto da PROSAB (POPPE; GUEDES, 1999).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O lodo analisado foi cedido pela empresa do SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto) do município de Andirá – PR (figura 1).



Figura 1 – O lodo de esgoto seco da ETE Andirá/PR.

O lodo do reator anaeróbio (figura 2) é passado por um leito de secagem para que a desidratação seja promovida (figura 3) e depois ser utilizado como fertilizante agrícola conforme informações obtidas pelos administradores da ETE.



Figura 2 – Reator Anaeróbio



Figura 3 – Leito de Secagem

O lodo foi higienizado como adição de cal hidratado como ilustra a figura 4.



Figura 4 – Lodo depois de caleado

Esta mistura ficou em descanso durante 30 dias como mostra figura 5.



Figura 5 – Lodo caleado depois de 30 dias

As amostras de lodo cru e de lodo caleado e maturado, foram digeridas através de uma digestão nitroperclórica como mostra a figura 6.



Figura 6 – Amostras digeridas através de digestão nitroperclórica do lodo caleado

5.1. AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO LODO DA ETE ANDIRÁ

Nas tabelas 10, 11 e 12, estão expressos os valores médios dos parâmetros físico-químicos, obtidos das análises em triplicadas do lodo cru e depois de caleado.

A diminuição da concentração do N, depois de efetuado a calagem, está relacionada com a perda do elemento através da volatilização da amônia durante o processo de calagem. A Tabela 10 mostra a concentração dos elementos no lodo cru e no lodo depois da adição de cal hidratado.

A concentração média de N no lodo cru é igual 21,97 g/Kg diferencia de Correia (2009) que apresentou concentração do elemento de 43,1 g/Kg, Silva et al. (2006) com 68,2 g/kg e Ceolato (2007) com 54,8 g/Kg, mas se aproxima de Vaz (2000) com 20 g/Kg e Guedes et al. (2006) com 18,66 g/Kg. Quando o lodo foi caleado a concentração do elemento caiu para 19,55 g/Kg devido ao processo liberação de gás amônia.

Macronutrientes	Lodo cru (g/Kg)	Lodo caledado (g/Kg)	Correia (2009)	Ceolato (2001)	Guedes et al. (2006)	Silva et al. (2006)	Vaz (2000)
N	21,97	19,55	43,1	54,8	18,66	68,2	20
P	6,79	10,99	11,1	8,32	9,4	12,9	9,5
K	0,33	0,44	*	*	*	*	*
Ca	59,04	144,79	0,195	95,73	86,4	24,8	95
Mg	0,08	143,01	*	*	*	*	*
Na	0,18	0,45	*	*	*	*	*
pH	3,54	11,85	*	*	*	*	*

Tabela 10 – Comparação das concentrações (mg/Kg) dos macronutrientes da ETE Andirá com diferentes pesquisas no Brasil (*não especificado). (Observação: valores obtidos da média das triplicadas)

A concentração média de P no lodo cru da ETE Andirá foi de 6,79 g/Kg. Depois de efetuado a calagem aumentou a concentração do elemento para 10,99 g/Kg de P, aproximando-se dos valores citados por Correia (2009), Silva et al. (2006), Guedes et al. (2006) e Vaz (2000). O conteúdo do P apresentado nesta pesquisa pode ter origem em derivados de produtos de limpeza, como detergentes, que usufruem de fosfatos na composição, já que se trata de um lodo procedente de estação de tratamento de esgoto doméstico (CORREIA, 2009).

Depois da adição do cal hidratado no lodo sua concentração aumentou devido a fixação do fósforo. As diferenças nas concentrações de N e P entre os autores estudados estão relacionadas à origem do esgoto, aos diferentes sistemas de tratamento de esgoto, e principalmente a sua eficiência. Netto et al (2003) observa que a calagem é um método interessante para desinfecção e condicionamento de lodo para uso agrícola, entretanto promove a perda do N no processo de

amonificação e a imobilização do fósforo. O fósforo se torna mais disponível em ambientes ácidos (SOUZA et al, 2007), que podem ser resultado da ação microbiana ou das características próprias dos solos tropicais. Neste trabalho, devido ao aumento do pH, na ordem de 3,4 vezes do seu valor inicial, o processo de imobilização do fósforo foi verificado.

A concentração média do Ca no lodo cru foi de 59 g/Kg diferenciando-se das fontes já citadas neste trabalho. Após a calagem o teor de Ca se elevou para 144,79 g/Kg, devido à adição de cal hidratado, rico em Ca(OH)_2 . A concentração média dos elementos K, Na e Mg, no lodo da ETE Andirá, foi de 0,33 g/Kg; 0,18 g/Kg e 0,08 g/Kg. Estes resultados mostram uma deficiência no lodo de esgoto dos elementos. O lodo depois de caleado as concentrações destes elementos elevaram seus valores para 0,44 g/Kg de K; 0,45 g/Kg de Na e 143,01 g/Kg de Mg. A o cal hidratada pode ter disponibilizado uma grande fonte de magnésio, já que o material usado na calagem é rica em hidróxido de magnésio e óxido de magnésio. Para uso na agricultura, o lodo em estudo necessita de suplementação de K, para atender as necessidades nutricionais das plantas (CORREIA, 2009).

O lodo de esgoto produzido na ETE de Andirá apresenta valores adequados de N e P, para utilização como fertilizante orgânico. Segundo Val Moraes (2008) quando o lodo de esgoto é aplicado ao solo, os valores de matéria orgânica aumentam, assim como a capacidade de troca de cátions e condutividade elétrica do solo. Estes fatores contribuem para a melhoria das suas características químicas, físicas e biológicas (CORREIA, 2009).

O pH apresentado no lodo cru foi de 3,54, muito baixo quando falamos na aplicação deste material no solo. Os processos de oxidação biológica que ocorrem durante a nitrificação, com consumo de oxigênio livre promovem a diminuição do pH (CORREIA, 2009). Depois da calagem, o pH do lodo se elevou para 11,85. Este valor de pH é bom para os solos brasileiros, em sua maioria muito ácidos (POPPE, GUEDES, 1999).

Em geral, exceto para o Pb, os metais estudados tiveram suas concentrações diminuídas depois do processo de calagem no lodo cru. O valores iniciais encontrados no lodo cru para Cr, Cu, Pb, Fe, Mn e Zn, foram respectivamente de

133, 230, 97,4, 27592, 110 e 519 mg/Kg. Depois de caledado, o lodo apresentou os seguintes resultados, para a mesma seqüência dos elementos 99,3, 194, 107, 42752, 189 e 382 mg/Kg. A diminuição da concentração dos metais deveu-se à elevação do pH que promove a biodisponibilidade destes componentes e também por sofrerem reações químicas como complexação com ácidos húmicos, flúvicos e ligantes inorgânicos e orgânicos. A elevação do pH aumenta a mineralização da matéria orgânica e disponibiliza micronutrientes como Fe e Mn (CORREIA, 2009). Neste trabalho observou-se que os teores destes dois metais aumentaram, possivelmente em função deste processo. No processo de mineralização da matéria orgânica, o carbono é oxidado a dióxido de carbono. Os sítios de adsorção para vários metais são perdidos e conseqüentemente, há um aumento na disponibilidade de alguns elementos.

Uma informação importante apresentada por esta pesquisa é de que, tanto para o lodo cru como para o lodo caledado, os teores de metais no lodo de esgoto produzido pela ETE de Andirá estavam de acordo com os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 375/06, conforme a tabela 11.

Metal	Lodo Cru (mg/Kg)	Lodo Caleado (mg/Kg)	V.M.P.*
Cr	133	99,3	1000
Cu	230	194	1500
Fe	27592	42752	-
Mn	110	189	-
Pb	97,4	107	300
Zn	519	382	2800

Tabela 11 – Concentrações de metais pesados presentes no lodo cru e lodo caledado da ETE Andirá (mg/Kg) (*Resolução CONAMA 375/06)

Confrontando os resultados das concentrações de metais pesados no lodo da ETE Andirá com as concentrações obtidas em lodos de diferentes ETE no Brasil (GUEDES et al., 2006; CEOLATO, 2007; CORREIA, 2009), através dos dados representados na tabela 12, observou-se que Ceolato (2007) obteve resultados semelhantes do elemento zinco.

Entre as fontes utilizadas para comparação dos resultados deste trabalho, observaram-se semelhanças com os dados de Ceolato (2007). As diferenças podem ser atribuídas a diversos fatores como: origem do esgoto, tipos de sistema aplicado para tratamento e sua eficiência, além das características de cada região, influenciadas pelas características de uso e ocupação do solo. A existência de fontes industriais de esgotos pode incorporar ao lodo, principalmente metais pesados, utilizados nos processos. O baixo teor de metais pesados presentes no lodo da ETE Andirá é positivo para sua reutilização na agricultura, todavia, segundo Chagas (2000) é necessários estudos da dinâmica dos íons metálicos aplicados ao solo. Podendo ser analisados por extração seqüencial de metais (CORREIA, 2009).

Fontes	Concentração média dos metais pesados no lodo de esgoto (mg/Kg)					
	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
CONAMA 375/06	39	1000	1500	420	300	2800
Lodo cru (ETE Andirá ¹)	*	133	230	*	97,4	519
Lodo caleado (ETE Andirá ²)	*	99,3	194	*	107	382
Correia (2009)	*	3,9	4,6	3,5	5,2	5,9
Ceolato (2007)	1,92	14,15	394	17,87	23,20	494
Guedes et al (2006)	*	268	900	222	*	1632

Tabela 12 – Comparação das concentrações (mg/Kg) de metais pesados da ETE Andirá com diferentes pesquisas no Brasil (*não analisado).

5.2. AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO LODO DA ETE ANDIRÁ

A concentração de Coliformes Fecais no lodo da ETE Andirá, depois de efetuado a calagem, manteve-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação do Paraná, (Tabela 14), podendo ser classificado em lodo de classe A, indicado para uso na agricultura. As bactérias do gênero *Salmonella spp* estiveram ausentes tanto no lodo cru como no lodo caleado. Os resultados se diferenciam daqueles apresentados por Correia (2009), onde observou-se a presença de *Samonella spp*. Para este lodo seria necessário uma higienização, antes da utilização na agricultura.

As bactérias do gênero *Enterococcus spp* estiveram presentes no lodo cru na proporção de $5,1 \times 10^3$ NMP/100 g. Depois da calagem este grupo de microrganismos apresentou-se ausentes. Correia (2009) encontrou $5,03 \times 10^8$ NMP/g de sólidos totais, de *Enterococcus spp*, impossibilitando seu uso na agricultura, segundo a legislação do Paraná.

Parâmetros	Lodo cru	Lodo caleado	Legislação do Paraná	
			Classe A	Classe B
Classes			Classe A	Classe B
Ovos de helmintos	Não analisado	Não analisado	Até 50 ovos / 100g massa seca	Até 100 ovos / 100g massa seca
Coliformes Fecais NMP/100 g	Ausente	Ausente	$< 10^3$ / 100g massa seca	$< 10^6$ / 100g massa seca
<i>Enterococcus spp</i> NMP/100 g	$5,1 \times 10^3$	Ausente	$< 10^3$ / 100g massa seca	$< 10^6$ / 100g massa seca
<i>Salmonella spp</i>	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Tabela 13 – Resultados microbiológicos do lodo cru e caleado comparados com a legislação do Paraná (NMP: número mais provável)

6. CONCLUSÃO

As análises químicas do lodo da ETE Andirá indicaram um potencial de uso como fertilizante agrícola, visto que apresentou teores adequados de macronutrientes como N, P, Ca, Mg e micronutrientes Fe e Mn.

O teor de potássio determinado no lodo de esgoto mostra a necessidade de suplementação, para que as necessidades nutricionais das áreas de cultivo sejam atendidas.

A concentração de metais pesados esteve abaixo dos limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 375/06, sendo que após a calagem as concentrações dos metais pesados diminuíram, devido à maior biodisponibilidade em pH acima de 6,5 e também por sofrerem reações químicas como complexão com ácidos húmicos, flúvicos e ligantes inorgânicos e orgânicos.

O lodo da Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Andirá – PR, segundo os estudos microbiológicos realizados, cru ou caleado, é classificado, de acordo com a legislação do Paraná em biossólido classe A.

Os estudos realizados no lodo da ETE Andirá coletado para esta pesquisa mostram que este lodo não necessitava de uma higienização em relação aos metais pesados e aos parâmetros microbiológicos para sua utilização na Agricultura.

REFERÊNCIAS

ACQUA ENGENHARIA. **Manual de Operação Lodo Ativado**. ACQUA Engenharia e Consultoria S/C Ltda. Disponível em: <<http://www.acquaeng.com.br/wpcontent/uploads/2010/01/manuallodosativados1.pdf>>. Acesso em: 27 mar. 2011.

AMERICAN WATER AND WASTERWATER ASSOCIATION (AWWA). **Standard Methodds for the Examination of Water and Wasterwater**. 20. th. Editores Lenore S. Clescreri; Arnold E. Greenberg; Andrew D. Eaton: AWWA, 1998.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E.S. Proposta de roteiro para elaboração de Planos de Distribuição de Lodo. In: I SEMINÁRIO SOBRE GERENCIAMENTO DE BÍOSSÓLIDOS DO MERCOSUL, 1998. Curitiba. **Anais PROSAB Tema 4 Edital 1/96**, dezembro, 1998. p. 1-10.

ANDREOLI, Cleverson Vitório. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. 1. ed. Curitiba: Editora ABES, 2001.

ARAÚJO, Franciulli Silva Dantas. **Influência do Lodo de ETE na Massa para Fabricação de Cerâmica Vermelha**. 2008. 76p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Exatas e da Terra – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

BARBOSA, Silvane Rodrigues. **TRATAMENTO BIOLÓGICO DE ESGOTOS SANITÁRIOS**. 2005. 44p. Monografia – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – Fundação Educacional do Município de Assis, Assis, 2005.

BETTIOL, Wagner; CAMARGO, Otávio Antonio; BERTON, Ronaldo S. **Utilização de lodo de esgoto na agricultura**. Disponível em:

<<http://www.iac.sp.gov.br/ECS/WORD/ArtigoRuiSABESP2.htm>>. Acesso em: 4 abr. 2011.

CEOLATO, Luiz Carlos. **Lodo de esgoto líquido na disponibilidade de nutrientes e alterações dos atributos químicos de um argiloso**. 2007. 45p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agrônomo, Campinas, 2007.

Chagas, Welington Ferreira. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da ilha do governador e da Penha no estado do Rio de Janeiro**. 2000. 89p. Dissertação (Mestrado) - Fundação Oswaldo Cruz - Escola Nacional de Saúde Pública; Rio de Janeiro, 2000.

CORREIA, Joelande Esquivel. **CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO LODO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO CONTORNO FEIRA DE SANTANA, BA**. 2009. 82p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.

COSTA, Maria Camargo C. D. **Nutrição mineral – macro e micro nutrientes**. Disponível em: <<http://mcarmo.bio.br/disciplinas/FisiologiaVegetal/nutricaoMineral.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2011.

DELTA SANEAMENTO. **A importância do tratamento de esgoto. Sistemas Compactos de Tratamento de Esgoto**. Disponível em: <http://tratamentodeesgoto.blogspot.com/2008/07/importncia-do-tratamento-de-esgoto.html?utm_source=feedburner&utm_medium=feed&utm_campaign=Feed%3A+TratamentoDeEsgoto-DeltaSaneamento+%28Tratamento+de+Esgoto+-+Delta+Saneamento%29>. Acesso em: 22 mar. 2011.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira. **Manual prático para a compostagem de bissólidos**. 1. ed. Londrina: PROSAB, 1999.

FILHO, Pedro Fernando Grando. **A função dos nutrientes**. TECNUTRI do Brasil. Disponível em:

<http://www.forthjardim.com.br/html/fique_por_dentro/dicas.php?ID=NA==>. Acesso em: 14 mar. 2011.

GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A. de; POGGIANI, F.; MATTIAZO, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.30,n.2, mar/abr, 2006. Disponível em: <<http://www.sielo.br/sielo.php/>>. Acesso em: 7 out. 2011.

JUNQUEIRA, Valéria Christina; SILVA, Neusely. **Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos**, 1. Ed. Campinas: Manual Técnico nº14, 1995.

LOPES, Vivian Aparecida. **DETERMINAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO EM CORPOS D'AGUA CLASSE II ATRAVÉS DO MÉTODO D.Q.O E D.B.O. 2007**. 26p. Monografia – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – Fundação Educacional do Município de Assis, Assis, 2007.

MAGALHÃES, Marcio Augusto. **Esgotos Sanitários**. Projetos e consultoria de engenharia civil e ambiental. Disponível em: <http://www.enge.com.br/esgoto_conceito.htm>. Acesso em: 27 mar. 2011.

MORAES, Luciana Mattos. **Avaliação de biodegradabilidade anaeróbica de lodos de esgotos provenientes de reatores anaeróbicos**. 2005. 164p. Dissertação (Doutorado) – FEAGRI Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MOREIRA, Renata Castanho. **TRATAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS POR MÉTODO DE BIODIGESTOR ANAERÓBIO**. 2006. 36p. Monografia – Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – Fundação Educacional do Município de Assis, Assis, 2006.

MORGAN, Ariádne. **Lodo de esgoto doméstico é o novo componente na adubação das lavouras**. Centro de Produções Técnicas e Capacitação Profissional. Disponível em: <<http://www.cpt.com.br/noticias/lodo-de-esgoto-domestico-e-o-novo-componente-na-adubacao-das-lavouras>>. Acesso em: 27 mar. 2011.

NEVES, João Pádua. **Adubação**. Divinópolis – MG. Disponível em: <<http://www.aorquidea.com.br/arg17.html>>. Acesso em: 26 jul. 2011.

NETTO, O.S.M., ANDREOLI, C.V., CARNEIRO, C., TAMANINI, C.R., FRANÇA, M. **Estudo das variações de pH no lodo caledado em função de diferentes dosagens de óxido de cálcio e teores de umidade**. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2003.

PACHECO, EDUARDO JORDÃO CONSTANTINO ARRUDA PESSÔA. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

PADILHA, Charles Soares. **Macronutrientes e Micronutrientes o que são?**. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.pimentas.info/forum/viewtopic.php?f=11&t=102>. Acesso em: 22 jul. 2011.

PIANA, Matheus Garcia. **Higienização de Lodo de Estações de Tratamento de Esgoto por Compostagem Termofílica**. 2009. 51p. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

POPPE, Célia; GUEDES, Elizabeth Pinto. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. 1. ed. Curitiba: PROSAB, 1999.

PRADO, Renato Mello. **Manual de nutrição de plantas forrageiras**. Disponível em: <http://www.nutricaoodeplantas.agr.br/site/downloads/sumula_livro_nutricaooforrageira.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2011.

RAMOS, Sara da Silva; MARTINS, Marluce de Aguiar; Sérgio, Antônio Ferreira Mendonça. Correlação entre DBO e DQO em esgotos domésticos para a região da grande Vitória – ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1992 a 1994. Vitória. **ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, p.982.

SANCHES, Petra S. **Atualização em técnicas para o controle microbiológico de águas minerais**. 1999. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Ambientais – Universidade Presbiteriana Mackenzie, Rio de Janeiro, 1999.

SILVA, Bernado Rodrigues; ROCHA JR, Josenberg Martins; PIMENTA, Hadson Cláudio Dias, TORRES, Felipe Ruzo Macêdo. O esgoto: a importância do tratamento e as opções tecnológicas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 22, 2002, Curitiba. **Anais ENEGEP**, outubro, 2002, p.3.

SILVA, C. A; RANGEL, O. J. P.; DYNIA, J. F.; BETTIOL, W.; MANZATTO, C. V. Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em latossolo sucessivamente tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.30, n.2, mar/abr, 2006. Disponível em: <<http://www.sielo.br/sielo.php/>>. Acesso em: 7 out. 2011.

SOUZA, C.E.S., SILVA, M.O., DUDA, G.P., MENDES, A.M.S..Solubilização de fósforo de fertilizantes fosfatados após tratamento com diferentes resíduos orgânicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v.7,n.1, 1ºsem, 2007.

VAL MORAES, Silvana Pompéia. **Impacto do Lodo de Esgoto na Comunidade Bacteriana do Solo: Avaliação por Microarranjo de DNA**. 54p. Dissertação (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias Campus de Jaboticabal – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, Jaboticabal, 2008.

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

ZUTION, Ivo Gonçalves, CARLOS, João Madalhão,NIPPES, Hanne Bragança, OLIVEIRA, Giovanni Garcia, AZEVEDO, Aline Nazário. **Viabilidade da aplicação do lodo de esgoto doméstico no desenvolvimento vegetativo inicial de eucalipto após a aplicação do lodo de esgoto doméstico**. Agosto a Outubro, 2007, p.2.

ANEXO 1 - CONDIÇÕES ANALÍTICAS DA ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA

ELEMENTOS	λ	Lâmpada	Fenda	Chama	Concentrações dos padrões mg/L	Corretor de interferências
Cr	357,9nm	5 mA	0,5 nm	Ar acetileno	0; 1,6; 3,2 e 4,8	-----
Mn	403,5nm	5 mA	0,5 nm	Ar Acetileno	0; 2; 4 e 6	-----
Cu	324,7nm	5 mA	0,5 nm	Ar acetileno	0; 2; 4 e 6	-----
Pb	217nm	5 Ma	1 nm	Ar Acetileno	0; 1,6; 3,2 e 4,8	-----
Zn	213,1nm	5 mA	0,2 nm	Ar Acetileno	0; 1; 2 e 3	-----
Fe	372nm	5 mA	0,2 nm	Ar Acetileno	0; 2; 4 e 6	-----
Na	589nm		1 nm	Ar Acetileno	0; 2; 4 e 6	-----
K	766,5nm		1 nm	Ar Acetileno	0; 2; 4 e 6	-----
Ca	422,9nm	5 mA	0,5 nm	Ar Acetileno	0; 5; 10 e 15	Óxido de Lantânio 10%
Mg	285,2nm	5 mA	0,5 nm	Ar Acetileno	0; 0,1; 0,3 e 0,5	Óxido de Lantânio 10%

* uso de queimador invertido.