



JOSÉ MATHEUS MACEDO MAGALHÃES

**CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO LODO DE ESGOTO DE UMA INDÚSTRIA DE
BEBIDAS**

**INCONFIDENTES-MG
2008**

JOSÉ MATHEUS MACEDO MAGALHAES

**CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO LODO DE ESGOTO DE UMA INDÚSTRIA DE
BEBIDAS**

Monografia apresentada, como pré-requisito de conclusão do curso de Gestão Ambiental na Agropecuária, da Escola Agrotécnica Federal de Inconfidentes-MG.

Orientador: Gerson de Freitas Silva Valente

**INCONFIDENTES-MG
2008**

JOSÉ MATHEUS MACEDO MAGALHÃES

**CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO LODO DE ESGOTO DE UMA INDÚSTRIA DE
BEBIDAS**

Data de aprovação: ___ de _____ 200

**Gerson de Freitas Silva Valente
Escola Agrotécnica Federal de Inconfidentes**

**Éder Clementino dos Santos
Escola Agrotécnica Federal de Inconfidentes**

**Oberdan Everton Zerbinati
Escola Agrotécnica Federal de Inconfidentes**

DEDICO

In memória aos meus avôs Aloisio Macedo e José da Costa Magalhães;
E as minhas avós Magali Macedo e Maria de Lourdes Magalhães, por tudo que eles
significam pra mim.

AGRADEÇO

A minha mãe por sempre ter me apoiado em todos os momentos da minha vida e neste não foi diferente.

A Deus, pois só ele sabe o quanto foi difícil realizar este trabalho na Instituição.

Ao meu pai pelos conselhos.

A Natália, pela atenção, compreensão e paciência por não deixar desistir diante as dificuldades para a realização deste trabalho.

Ao professor orientador Gerson Valente pela atenção e paciência durante elaboração do trabalho.

Aos bolsistas que me auxiliaram nas análises.

Ao Departamento de Solos pela colaboração prestada ao trabalho.

E a todos os parceiros de copo durante o período de graduação.

EPÍGRAFE

Hoje eu quero a rua cheia de sorrisos francos
de rostos serenos, de palavras soltas
eu quero a rua toda parecendo louca
com gente gritando e se abraçando ao sol
(...)

Hoje eu quero que os poetas dancem pela rua
pra escrever a música sem pretensão
eu quero que as buzinas toquem flauta-doce
e que triunfe a força da imaginação

Oswaldo Montenegro “Sem Mandamentos”

SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
SUMMARY.....	iii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	3
2.1 Ojetivo Específico	3
4. REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
4.1 Distribuição dos mananciais brasileiros	5
4.2 Poluição dos mananciais	5
4.3 Tratamento de Esgoto	6
4.4 Sistemas de Tratamento de Efluentes Industriais	7
4.5 Lodo	8
4.6 Composição do lodo doméstico	9
4.6.1 Nitrogênio (N).....	10
4.6.2 Carbono (C).....	11
4.6.3 Fósforo (P).....	11
4.6.4 Potássio (K).....	12
4.6.5 Metais Pesados.....	13
4.6.6 Presença de Patógenos.....	14
4.7 Utilizações na Agricultura	16
4.8 Processo de estabilização do lodo de esgoto	18
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
5.1 Procedimento do experimento.....	21
5.2 Determinação de Matéria Orgânica	21
5.3 Determinação do Nitrogênio	22
5.4 Determinação de Fósforo e Potássio	22
5.5 Determinação de Sólidos Totais (ST)	22
5.6 Determinação de Sólidos Fixos (SF)	23
5.7 Determinação de Sólidos Voláteis (SV)	23
5.8 Análise de Coliformes Termotolerantes	23
5.9 Determinação de pH	23
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
7. CONCLUSÕES.....	32
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33
ANEXOS I.....	38
ANEXO II.....	41

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar a caracterização inicial do lodo de esgoto produzido pela estação de tratamento de uma indústria de bebidas, a qual possui sistema de tratamento de lodos ativados. A caracterização foi realizada no laboratório da EAFI/MG analisando os seguintes parâmetros físico-químico Nitrogênio Kjeldahl, Fósforo total, Potássio total, Matéria orgânica, Carbono orgânico, Sólidos totais, Sólidos Fixos, Sólidos Voláteis e o parâmetro microbiológico analisado foi coliformes termotolerantes, conforme a resolução do CONAMA nº 375 de 29 de agosto de 2006. O lodo foi classificado como classe “B”, que pode ser utilizado na agricultura com algumas restrições. Os resultados encontrados neste trabalho foram satisfatórios para utilização do lodo na agricultura, porém necessita-se de outras análises para caracterizar o lodo e utilizá-lo com segurança. Pode se concluir que a caracterização físico-química do lodo de esgoto da estação de tratamento de esgoto (ETE) pode proporcionar um modelo de gestão integrar os impactos ambientais dos resíduos de esgoto.

Palavras chave: Resolução CONAMA 375, utilização na agricultura, estação de tratamento de esgoto, avaliação de nutrientes.

SUMMARY

INITIAL CHARACTERIZATION OF THE SLIME OF SEWER OF AN INDUSTRY OF BEVERAGES

The present work had the objective of to realize the initial characterization of the slime of sewer produced by the station of handling of an industry of beverages, to which possessed activated slime handling system. The characterization was carried out in the laboratory of the EAFI/MG analyzing the following parameters physical Nitrogen Kjeldahl, total Match, total Potassium, organic Matter, organic Carbon, total Solids, Fixed Solids, Volatile Solids and the parameter microbiológico analyzed was coliformes termotolerantes, according to resolution of the CONAMA in the 375 of 29 of August of 2006. The slime was classified like class "B", that can be utilized in the agriculture with some restraints. The results found in this work were satisfactory for utilization of the slime in the agriculture, however needs-itself of other analyses for characterize the slime and utilize-him with security. It is able to conclude that the physical characterization of the slime of sewer of the sewer handling station (ETE) can provide a model of management integrate the environmental impacts of the residues of sewer.

Keywords: Resolution CONAMA 375, utilization in the agriculture, sewer handling station.

1. INTRODUÇÃO

O planeta possui 1,4 milhões de quilômetros cúbicos de água, mas apenas 2,5% desse total é doce. Os rios, lagos e reservatórios de onde a humanidade retira o que consome só correspondem a 0,26% desse percentual. Em todo mundo, 10% da utilização da água vai para o abastecimento público, 23% para a indústria e 67% para a agricultura (MOSS, 2003).

O Brasil possui 12% da água doce da Terra o que o torna a maior reserva de água doce do mundo, porém, não é distribuída em todo o território nacional. (TUCCI et al. , 2001).

Os recursos hídricos são limitados e têm um papel significativo no desenvolvimento econômico e social do país. O crescimento populacional e econômico no século XX levou a explorar de forma predatória os recursos naturais. Dentre os recursos, o hídrico, que até as décadas passadas era considerado farto, tornou-se limitante e comprometido, em virtude da alta carga de poluentes em algumas regiões. Nessa condição, há que se tratem os esgotos que são os principais poluidores dos mananciais hídricos (CAMARGO & BETTIOL, 2000).

No Brasil a maioria dos rios que atravessam as cidades estão deteriorados, sendo esse considerado o maior problema ambiental brasileiro. Essa deterioração ocorre porque a maioria das cidades brasileiras não possui coleta e tratamento de esgotos domésticos, jogando *in natura* o esgoto nos rios (TUCCI et al., 2001). Porém os corpos d'água possuem capacidade de depurar o esgoto, pela ação da própria natureza. O efluente pode ser lançado sem tratamento em um curso d'água, desde que não ultrapasse cerca de quarenta avos da vazão um exemplo um rio com vazão de 120 l/s pode receber uma descarga de 3 l/s de esgoto bruto, sem maiores conseqüências (BORSIO, 1997). Porém essa hipótese não é respeitada, pois freqüentemente os mananciais recebem cargas de efluentes muito elevadas para sua vazão e não conseguem se recuperar pela

autodepuração, havendo a necessidade da depuração artificial ou tratamento do esgoto. O tratamento do efluente pode, inclusive, transformá-lo em água para diversos usos, como a irrigação, por exemplo. Existem vários tipos de tratamento de esgoto como as lagoas anaeróbias, de estabilização aerada e sem aeração, disposição no solo, filtros biológicos, sistema de lodos ativados (BORSOI, 1997).

Com relação ao lodo de esgoto gerado pelas estações de tratamentos existe a resolução do CONAMA 375 de 29 de Agosto de 2006 e a 380 de 31 de Outubro de 2006, que propõem parâmetros físico-químicos e microbiológicos que devem ser utilizados para assegurar a qualidade do material quanto a utilização para que não corra risco de contaminação ao ser humano e ao meio ambiente.

Desta forma o trabalho tem com objetivo determinar a concentração de matéria orgânica e minerais do lodo de esgoto da estação de tratamento de esgoto (ETE) e avaliar a possibilidade de uso do lodo de esgoto na agricultura.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi avaliar o lodo de esgoto gerado pela estação de tratamento de efluentes da empresa JOTA EFE INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA localizada na cidade de Ouro Fino-MG.

1. Ojetivo Específico

- Determinar se a concentração de matéria orgânica e minerais do lodo de esgoto da estação de tratamento de esgoto (ETE) da indústria de bebidas enquadra nas previstas pela resolução do CONAMA;
- Avaliar a possibilidade de uso do lodo de esgoto da ETE da indústria de bebidas na agricultura;
- Avaliar se ocorreram alterações nos atributos físico, químico e biológico ligado a composição do lodo de esgoto da ETE em sistema de lodos ativados.

3. HIPÓTESES

A caracterização do lodo de esgoto originado da estação de tratamento de esgoto (ETE) da indústria de bebidas pode ser eficaz e classificado conforme a resolução do CONAMA 375.

O lodo de esgoto originado da ETE da indústria de bebidas pode ser eficaz para promover melhorias nos atributos físico, químico e biológico relacionados à fertilidade do solo.

O tratamento do lodo originado da ETE da indústria de bebidas pode fornecer nutrientes para o solo em formas assimiláveis para as plantas.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

1. Distribuição dos mananciais brasileiros

O planeta possui 1,4 milhões de quilômetros cúbicos de água, mas apenas 2,5% desse total é doce. Os rios, lagos e reservatórios de onde a humanidade retira o que consome só correspondem a 0,26% desse percentual. Daí a necessidade de preservação dos recursos hídricos. Em todo mundo, 10% da utilização da água vai para o abastecimento público, 23% para a indústria e 67% para a agricultura (MOSS, 2003).

O Brasil no que diz respeito à quantidade de água tem a maior reserva de água doce da Terra, 12% do total mundial, porém, não é uniforme em todo o território nacional. De acordo com a divisão adotada pela Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, são oito as grandes bacias hidrográficas no País: a do rio Amazonas, a do rio Tocantins, as do Atlântico Sul, trechos Norte e Nordeste, a do rio São Francisco, as do Atlântico Sul, trecho Leste, a do rio Paraná, a do rio Paraguai, e as do Atlântico Sul, trecho Sudeste. (TUCCI et al., 2001).

2. Poluição dos mananciais

Os recursos hídricos são limitados e têm um papel significativo no desenvolvimento econômico e social de uma região. O crescimento populacional e econômico no século XX levou a se explorar de forma predatória os recursos naturais, em geral, e os recursos hídricos em particular.

A crescente demanda da sociedade pela manutenção e melhoria das condições ambientais tem exigido das autoridades e das empresas a capacidade do desenvolvimento com limitações da exploração dos recursos naturais. Dentre os recursos, o hídrico, que até as décadas passadas era considerado farto, tornou-se limitante e comprometido, em virtude da alta carga de poluentes em algumas regiões. Nessa condição, há que se tratar os esgotos urbanos que são os principais poluidores dos mananciais hídricos (CAMARGO & BETTIOL, 2000).

A maioria dos rios que atravessam as cidades brasileiras estão deteriorados, sendo esse considerado o maior problema ambiental brasileiro. Essa deterioração ocorre porque a maioria das cidades brasileiras não possui coleta e tratamento de esgotos domésticos, jogando *in natura* o esgoto nos rios. (TUCCI et al., 2001)

O caminho para amenizar a deterioração desses mananciais é o tratamento do esgoto, pois com ele a carga de poluentes que irá contaminar os mananciais torna-se reduzida e gera como produto final um resíduo rico em matéria orgânica e nutrientes, denominado lodo de esgoto, havendo necessidade de uma adequada disposição final desse “resíduo”. Porém, diversos tratamentos de esgoto não usufrui deste lodo produzido e com isso anulam-se parcialmente os benefícios do tratamento dos efluentes. Nesse contexto a comunidade precisa encarar com seriedade este problema e desenvolver alternativas seguras e factíveis para que esse resíduo/produto não se transforme num novo problema ambiental, mas sim vantagens ambientais de sua disposição (CAMARGO & BETTIOL, 2000).

3. Tratamento de Esgoto

O esgoto tratado apresenta composição variada em função do local de origem, se é proveniente de indústria ou doméstico, da época do ano entre outros fatores. A Figura 1 apresenta a composição básica de esgoto domiciliar (MELO & MARQUES, 2000).

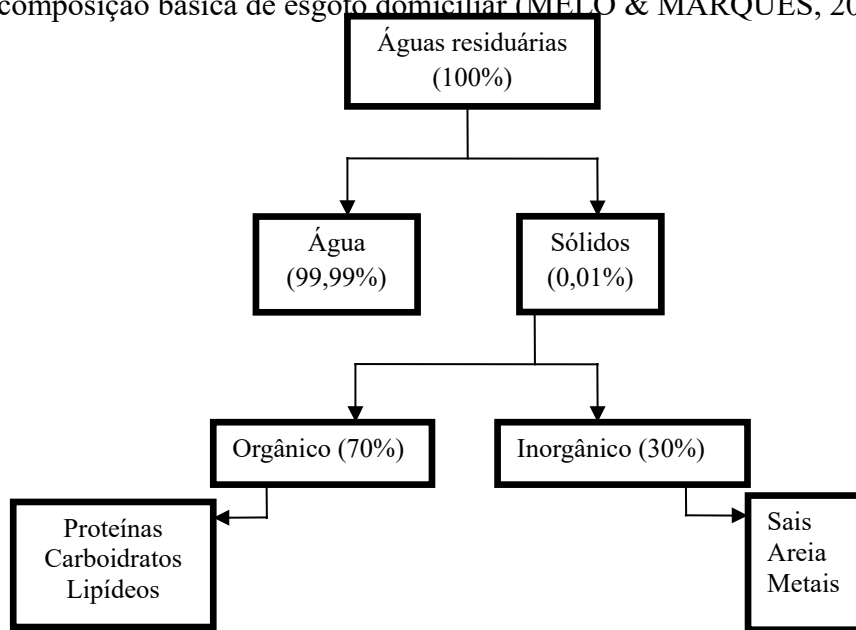


Figura. 1. Composição do esgoto doméstico (MELO & MARQUES, 2000)

Os esgotos industriais são gerados a partir de qualquer utilização da água para fins industriais, normalmente, o efluente industrial apresenta características próprias da linha de produção de cada empresa e também do tipo de sistema de tratamento a ser utilizado (BORSOI, 1997).

4. Sistemas de Tratamento de Efluentes Industriais

Existem vários tipos de tratamento de esgoto como lagoa anaeróbia, lagoa de estabilização aerada, lagoa de estabilização sem aeração, disposição no solo, filtros biológicos, no entanto o sistema de lodos ativados consiste em um processo mecanizado e aeróbio, onde a remoção da matéria orgânica é feita através da ação das bactérias que se desenvolvem no tanque de aeração e formam flocos que sedimentada no decantador. O lodo que está presente no decantador secundário é retornado, através de bombeamento, ao tanque de aeração, para aumentar a eficiência do sistema. O oxigênio é fornecido ao sistema através de aeradores mecânicos superficiais. Este sistema pode operar de forma intermitente, e possui vantagens como quase não produzem maus odores, insetos ou vermes, remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) pode alcançar de 85 a 98% e a de patogênicos de 60 a 90% e necessita de uma área menor quando comparado com outros tipos de tratamentos. As desvantagens deste sistema são necessidade de diversos equipamentos para operar, necessita de mão-de-obra especializada para operar o sistema e um custo de operação elevado quando comparado com outros sistemas de tratamento (BORSOI, 1997).

O lodo é enviado do tanque de sedimentação para o leito de secagem, como pode ser visto na Figura 2 e 3.



Figura 2. Tanque de sedimentação da indústria de bebidas.



Figura 3. Lodo disposto no leito de secagem.

5. Lodo

O lodo de esgoto é um resíduo semi-sólido predominantemente orgânico, com teores variáveis de componentes inorgânicos, provenientes do tratamento de águas residuárias domiciliares ou industriais (ANDRADE, 1998), a sua composição variada é devido à origem do esgoto e o tipo de tratamento que esta sendo utilizado. Em uma

estação de tratamento o volume de lodo produzido corresponde cerca de 1 a 2% do volume de esgoto tratado. (WEBBER & SHAMES, 1984).

De acordo com Camargo & Bettioli (2000), as formas mais utilizadas para o aproveitamento ou disposição final do lodo são: disposição em aterro sanitário; reuso industrial, como produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmica e produção de cimento; incineração; conversão em óleo combustível; disposição oceânica; recuperação de solos na recuperação de áreas degradadas e de mineração e pode ter como fim o uso agrícola e florestal através da aplicação direta no solo, compostagem, fertilizante e solo sintético. No entanto a utilização para fim agrícola e florestal apresenta-se como uma das mais convenientes, pois, como o lodo é rico em matéria orgânica e em macro e micronutrientes para as plantas, é amplamente recomendada sua aplicação como condicionador de solo e ou fertilizante. Entretanto, o lodo apresenta em sua composição diversos poluentes como, metais pesados e organismos patogênicos ao homem, dois atributos que devem ser olhados com muito cuidado.

6. Composição do lodo doméstico

Segundo Melo & Marques (2000), o lodo de esgoto doméstico apresenta composição em torno de 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo além dos macro e micronutrientes e de elementos potencialmente tóxicos.

Bettioli & Camargo, em estudo realizado em 2006 utilizou o lodo de esgoto da estação de tratamento de esgoto de Franca (LF), de Barueri (LB), e de Júndiaí (LJ), localizado no Estado de São Paulo e de Curitiba (LC) e de Paranavaí (LP), localizadas no Estado de Paraná, conforme a tabela a seguir:

Atributo	Unidade ⁽²⁾	LB*	LF*	LC**	LP**	LJ***
Umidade	%	71,2	82,7			76,2
Sólidos Voláteis	%	56,8	72,5			69,0
pH		6,4	5,4	5,9	6,1	5,5
Carbono orgânico	g kg ⁻¹	293	382	321	201	226
Nitrogênio total	g kg ⁻¹	42,1	68,2	49,1	22,2	21,2
Fósforo	g kg ⁻¹	26,9	12,9	3,7	0,95	4,5
Potássio	g kg ⁻¹	1,0	1,0	1,5	0,34	0,66
Cálcio	g kg ⁻¹	47,8	24,8	15,9	8,3	6,6
Enxofre	g kg ⁻¹	17,1	15,7			11,1
Sódio	g kg ⁻¹	0,5	0,9			2,4
Magnésio	g kg ⁻¹	4,5	2,2	6,0	3,0	1,3
Arsênio	mg kg ⁻¹	<1	<1			Nd
Alumínio	mg kg ⁻¹	23.283	23.317			11.465
Cádmio	mg kg ⁻¹	9,4	2,05	3		9,2
Chumbo	mg kg ⁻¹	348,9	140,5	123	60	136,4
Cobre	mg kg ⁻¹	953,0	240,9	325	114	547
Cromo total	mg kg ⁻¹	1297,2	1230,3	140	53	97,5
Mercúrio	mg kg ⁻¹	<0,01	<0,01	1,0	1,8	Nd
Molibdênio	mg kg ⁻¹	<0,01	<0,01			Nd
Níquel	mg kg ⁻¹	605,8	72,4	73	37	25,3
Selênio	mg kg ⁻¹	<0,01	<1			
Zinco	mg kg ⁻¹	3372	1198	728	530	839
Boro	mg kg ⁻¹	29,3	19,7			10,1
Manganês	mg kg ⁻¹	418,9	232,5			425
Ferro	mg kg ⁻¹	37.990	24.176			15.728

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

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

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

Fonte: Bettiol & Camargo, 2006.

A incorporação de macro e micronutrientes ao solo via lodo constitui um dos se não o principal atrativo ao uso do resíduo pelos agricultores. Entre os nutrientes destacam-se com mais relevantes o nitrogênio e o fósforo, e composição do lodo favorecendo a disponibilidade destes no solo.

1. Nitrogênio (N)

O Nitrogênio (N) é o elemento de maior valor econômico no lodo, sendo também o elemento que as culturas necessitam para o seu desenvolvimento. Sua origem provém dos dejetos presentes no esgoto e da biomassa microbiana e encontra-se no lodo nas formas inorgânicas, como nitratos e amônio, e orgânica, constituindo moléculas de proteínas, aminoácidos, aminoaçúcares, amidos, associados a polímeros etc (ANDREOLI, 2001).

A fração orgânica constitui a maior porção do N do lodo, variando de 70 a 90 %, dependendo do tipo de lodo e da sua idade. As formas minerais (nítrica e amoniacal),

embora representem pequena fração do N total, apresentam-se prontamente disponíveis para as plantas, enquanto o N orgânico deverá sofrer o processo de mineralização, transformando-se lentamente em formas minerais, para só então ser absorvido pelas plantas.

O nitrogênio orgânico é a melhor forma de se armazenar nitrogênio no solo. O N mineral no solo é considerado elemento efêmero, pois é logo absorvido, lixiviado ou perdido para a atmosfera através da desnitrificação. A matéria orgânica representa um reservatório de N que nunca está completamente vazio e, outras vezes, suficientemente cheio para suprir as necessidades de máxima produção da maioria das culturas (KIEHL, 1985).

A velocidade de mineralização do N orgânico é muito variável em função da temperatura, umidade e atividade microbiana no solo, entre outros fatores, com isso não se pode definir um valor fixo para esta fração do lodo, podendo ocorrer variações amplamente de local para local e de ano para ano; sabe-se, no entanto, que varia entre 20 e 70 % do N orgânico aplicado (ANDREOLI, 2001).

É desta forma que o lodo pode atender completamente a necessidade de N das culturas, podendo ser aplicado em uma única oportunidade, e liberando lentamente o elemento no solo, à medida que a planta o necessita. De acordo com dados bibliográficos no primeiro ano de aplicação o nitrogênio apresenta disponibilidade de 30 a 50%, no segundo ano cerca de 10 a 20 % no terceiro ano de 5 a 10 %, a partir do terceiro ano é considerado como constituinte da matéria orgânica humificada do solo (ANDREOLI, 2001).

Devido ao grau de solubilidade do nitrogênio e o risco de contaminação do lençol freático a sua dose de aplicação muitas vezes são limitadas em função do teor de nitrogênio presente no lodo, que nunca deve ser superior à demanda da cultura (ANDREOLI, 2001).

2. Carbono (C)

O carbono (C) é um nutriente natural do solo, cuja função é garantir a ciclagem dos componentes físicos, químicos e biológicos que servem de alimento às plantas durante todo o desenvolvimento vegetativo. A conservação do carbono no solo garante uma menor demanda por insumos, maior retenção da água e menor compactação. "O carbono funciona como uma esponja que minimiza os impactos na compactação. A

estrutura do solo sofre a pressão, mas volta ao seu estado normal em pouco tempo" (AGÊNCIA BRASIL, 2004).

O acúmulo de matéria orgânica, que pode ser obtido a partir de um manejo adequado do solo e dos resíduos culturais, geralmente está associado a uma melhora das condições físicas do solo (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990; CAMPOS et al., 1995; ARVIDSSON, 1998), especialmente pelos benefícios que a matéria orgânica pode trazer à sua estrutura (BAUMGARTL & HORN, 1991).

A matéria orgânica desempenha importante papel no desenvolvimento das plantas, por meio de sua influência direta e indireta nos processos químicos, físicos e biológicos do solo e constitui-se, também, em um dos principais agentes responsáveis pela formação e estabilização dos agregados. O teor de matéria orgânica do solo resulta do equilíbrio entre a adição e a decomposição do material orgânico e da atividade microbiana (SOUZA, 2004). As taxas de adição e decomposição do material orgânico alteram-se quando se substitui a vegetação nativa por determinada cultura. Geralmente, o preparo do solo tem efeito sob a atividade microbiana, acelerando a mineralização da matéria orgânica (PASSOS, 2000)

É o elemento presente em maiores concentrações, com teores de matéria orgânica no lodo variando entre 18 e 50% da massa seca. Em função do conteúdo orgânico do resíduo, seu uso agrícola como condicionador do solo (BOYD et al., 1980).

3. Fósforo (P)

O fósforo do lodo provém dos dejetos, células de microrganismos que atuam no tratamento do esgoto e detergentes e sabões que utilizam fosfatos como aditivos. O lodo também é rico em fósforo, com uma biodisponibilidade de 40 a 80 % do total contido no material (ANDREOLI, 1999).

As plantas necessitam de quantidades pequenas de P para seu desenvolvimento, no entanto, o P é o elemento mineral mais aplicado na agricultura brasileira. Isso se deve pelo fato da baixa eficiência das adubações químicas do solo, apenas 5 a 30 % do total de P aplicado são aproveitados pelas plantas, fenômeno ocasionado pela alta capacidade de fixação de P dos solos brasileiros (ANDREOLI, 1998)

Os solos brasileiro podem apresentar de 100 a 2.500 kg P total/ha; no entanto, a quantidade assimilável pelas plantas é extremamente baixa, normalmente entre 0,1 e 1,0

kg/ha, dada a elevada capacidade de fixação do elemento pelos solos, tanto por precipitação quanto por adsorção (ANDREOLI, 1998)

O lodo pode contribuir de duas formas para a otimização do uso de P na agricultura:

- i) Considerado como fonte de P, apresentando uma liberação lenta e contínua do elemento para as plantas;
- ii) Pode atuar no ciclo do P no solo, auxiliando na disponibilidade do P mineral fixado: a matéria orgânica ao ser decomposta libera ácidos, diversos autores relatam incremento dos níveis de P no solo com a adição de doses crescentes de lodo (ROS et al., 1993; ABRAHÃO, 1992; MARQUES, 1997; SEKI, 1995),

4. Potássio (K)

O conhecimento sobre a dinâmica de disponibilidade de K para as plantas tem sido gerado, em sua maior parte, nas regiões temperadas. Nas regiões tropicais, os estudos têm enfatizado a quantificação de K trocável e a relação existente entre essa forma e a absorção pelas plantas. Dentre os nutrientes essenciais às plantas, é possível que o K seja aquele cuja dinâmica de disponibilidade esteja mais intimamente relacionada com a composição mineralógica do solo, razão por que é fundamental que haja estudos que relacionem mineralogia com disponibilidade. (MELO et al., 2004)

O K é encontrado em feldspatos e micas que, ao serem intemperizados, liberam-no para a solução do solo, onde será absorvido pelas plantas (Fanning et al., 1989; Huang, 1989). Os minerais secundários, produtos da intemperização dos primários, também podem apresentar K na sua estrutura, por esse motivo constituem fontes potenciais de K.

Nos solos tropicais cauliníticos mais intemperizados, por apresentarem baixo teor de minerais primários fontes de K, a dinâmica deste nutriente seria controlada pelo K trocável (Ritchey, 1982). Em muitos desses solos, porém, não ocorrem reduções nos rendimentos em cultivos sucessivos, não há resposta às adubações potássicas e, além disso, a quantidade de K absorvida pelas plantas é superior ao teor de K trocável (Oliveira et al., 1971; Silva et al., 1995).

Embora os teores de K no lodo sejam considerados muito baixos, não sendo considerada fonte de K para os solos. Alguns autores relatam aumento nos níveis do elemento em solos adubados com lodo, provavelmente associado à redução das perdas

em função do aumento da capacidade troca de cátion (CTC). Estes aumentos, no entanto, são pouco expressivos e geralmente não chegam a alterar a classe de disponibilidade do elemento no solo (ANDREOLI, 1998).

5. Metais Pesados

Metais pesados são metais quimicamente altamente reativos e bio-acumulativos, ou seja, o organismo não é capaz de eliminá-los. Os metais são definidos como um grupo de elementos situados entre o cobre e o chumbo com pesos atômicos entre 63,546 e 200,590 e gravidade específica superior a 4,0.

Os seres vivos necessitam de pequenas quantidades de alguns desses metais, incluindo cobalto, cobre, manganês, molibdênio, vanádio, estrôncio, e zinco, para a realização de funções vitais no organismo, porém níveis excessivos desses elementos podem ser tóxicos. Outros metais pesados como o mercúrio, chumbo e cádmio não possuem nenhuma função dentro dos organismos e a sua acumulação pode provocar graves doenças em mamíferos.

Quando lançados como resíduos industriais, na água, no solo ou no ar, esses elementos podem ser absorvidos pelos vegetais e animais das proximidades, provocando graves intoxicações ao longo da cadeia alimentar (WIKIPÉDIA, 2008).

O termo metal pesado pode ser atribuído aos elementos químicos que apresentam massa específica superior a 5 g cm^{-3} (MELO et al., 1997).

Na natureza, os metais pesados podem originar-se das rochas. Os solos são resultantes de processos de intemperismo de rochas e, dessa forma, acabam por conter os metais pesados herdados da rocha-matriz (FASSBENDER, 1980). Entretanto, nos solos cultivados, os fertilizantes minerais também podem ser possíveis fontes de metais pesados (FASSBENDER, 1980 e SIMONETE, 2001).

De acordo com Lake (1987), quando o teor de um determinado metal num resíduo é menor ou igual ao teor do mesmo metal no solo, pode-se inferir que o resíduo não apresenta potencial de contaminação. Entretanto, o autor ressalta que, quando se trata de resíduos orgânicos, a mineralização da matéria orgânica, que poderá ocorrer após a disposição no solo, tenderá a aumentar os riscos de contaminação.

Apesar das possibilidades para a indisponibilidade dos metais no solo e dos mecanismos de proteção das plantas, a absorção de metais pesados, dependendo das condições, pode ocorrer em quantidades suficientes para o surgimento de sintomas de

fitotoxicidade. LAKE (1987) e MELO et al. (1997) estabeleceram os seguintes níveis fitotóxicos para Cd (2-10 mg kg⁻¹), Cr (10-100 mg kg⁻¹), Ni (11-100 mg kg⁻¹) e Pb (35-400 mg kg⁻¹).

Considerando a presença de nutrientes e metais pesados na composição do lodo de esgoto, ao mesmo tempo em que o seu emprego como fertilizante e/ou condicionador de solo pode trazer vantagens por promover a reciclagem de nutrientes e melhoria da fertilidade do solo, pode também trazer prejuízos se, por ventura, viabilizar aumento na absorção e acúmulo de metais pesados em plantas (SILVA et al., 1998).

6. Presença de Patógenos

A origem da contaminação microbiológica do lodo é principalmente em razão do material fecal contido no esgoto, portanto, dependente das características epidemiológicas da população local e dos efluentes lançados na rede coletora. No esgoto são encontrados vírus, fungos, bactérias e parasitas (protozoários e helmintos), e, embora a grande maioria desses organismos seja inofensiva, alguns grupos de patógenos são considerados perigosos pelo risco que representam para a saúde humana e animal, de acordo com a tabela a seguir (ANDREOLI, 2001).

Tipo de microrganismo	Concentração em número/g peso úmido
Vírus	10 ⁷ a 10 ¹¹
Bactérias	10 ⁵ a 10 ⁹
Ovos de helmintos	10 ¹ a 10 ⁴
Cistos de protozoários	10 ⁴ a 10 ⁷

Fonte: Schwartzbrod (1996).

O conteúdo microbiológico do material fecal é diluído no esgoto, que mesmo assim apresenta concentração elevada de microrganismos, que mostram valores médios observados nos Estados Unidos, de acordo com a tabela a seguir (ANDREOLI, 2001)

Microrganismo	Concentração em número/ml de esgoto
Coliformes totais	10^5 a 10^6
Coliformes fecais	10^4 a 10^5
Estreptococos	10^3 a 10^4
Salmonella	0 a 10^2
Cistos de protozoários	10 a 10^3
Ovos de helmintos	10^{-2} a 10
Vírus entéricos	10 a 10^2

Fonte: Metcalf & Eddy (1991).

O lodo de esgoto, quando aplicado ao solo, causa alterações na estrutura e no funcionamento do agroecossistema, sendo a comunidade microbiana um dos componentes mais sensíveis, podendo ser utilizada como indicador da qualidade dos solos (DICK, 1994; GILLER et al., 1998).

A aplicação de lodo de esgoto pode tanto estimular, devido ao aumento de carbono e nutrientes disponíveis, como inibir, devido à presença de metais pesados e outros poluentes, a atividade microbiana do solo. Portanto, o comportamento da população microbiana depende da qualidade e da quantidade dos resíduos que estão sendo adicionados ao solo (BAATH, 1989; PONTES, 2002)

Alterações nas atividades microbianas dos solos podem ser determinadas por meio de análises, como biomassa microbiana, respiração, quociente metabólico e atividades enzimáticas do solo (DICK, 1994; GILLER et al., 1998; BAATH, 1989; WARDLE, 1992; BROOKES, 1995), ou da comunidade microbiana pela contagem dos organismos. Isto é possível, pois as alterações no solo proporcionadas pela adição de lodo poderão ocorrer de três formas:

- i) produzindo ação tóxica direta sobre os microrganismos;
- ii) por meio de distúrbios funcionais, desnaturação de proteínas e destruição da integridade de membranas celulares, alterando as condições físicas e químicas do ambiente;
- iii) diminuindo a disponibilidade de substratos energéticos essenciais ao desenvolvimento dos microrganismos (BROOKES, 1995).

O funcionamento do ecossistema solo é largamente governado pela dinâmica da microbiota. O componente biológico é responsável pela formação do húmus, ciclagem de nutrientes, estrutura física e por outras funções (LYNCH & BRAGG, 1985). A

microbiota tem uma função essencial na decomposição da matéria orgânica. A Redução ou abundância na sua diversidade pode afetar a ciclagem de nutrientes (GILLER et al., 1998).

7. Utilizações na Agricultura

A produção de lodos de esgoto está intimamente ligada ao processo de tratamento de esgotos que é diretamente proporcional ao crescimento população. Uma vez que o lodo é uma fonte de matéria orgânica e de nutrientes sua aplicação no solo pode trazer benefícios à agricultura. Considerando o uso agrícola uma alternativa com vantagens ambientais quando comparado a outras práticas de disposição deste resíduo (CAMARGO & BETTIOL, 2000)

A aplicação do lodo de esgoto na agricultura se enquadra nos princípios de reutilização de resíduos de forma ambientalmente adequada sendo este resíduo uma fonte potencial de riscos à saúde pública e ao ambiente e potencializa a proliferação de vetores de moléstias, organismos nocivos, metais pesados, compostos orgânicos persistentes e patógenos em concentrações nocivas, o governo elaborou uma resolução do CONAMA 375, a qual dispõe de parâmetros para a caracterização do lodo de esgoto. De acordo com os parâmetros agrônômicos devem ser analisados as seguintes substâncias Carbono orgânico, Fósforo total, Nitrogênio Kjeldahl, amoniacal, nitrato/nitrito, pH em água (1:10), potássio total; sódio total; enxofre total, cálcio total, magnésio total, umidade e sólidos voláteis e totais e parâmetros microbiológicos o qual irá classificar o lodo analisando os seguintes parâmetros coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, Salmonella e Virús entéricos, a resolução do CONAMA 377 de 9 de Outubro de 2006, que dispõem a respeito de licenciamento ambiental da estações de tratamento de esgoto (ETE) com os seguintes parâmetros, porte da ETE, vazão do efluente, números de população que irá ser atendida entre outros parâmetros.

Para a utilização do lodo na agricultura deve seguir um programa de planejamento e monitoramento adequado, onde devem ser analisadas as informações como: adequação necessária para as estações de tratamento de esgoto e monitoramento ambiental, alternativas de higienização, aptidão das áreas de aplicação e operação da distribuição, estimativa da produção, avaliação da qualidade. Estas informações devem garantir que o lodo tenha uma boa qualidade para ser utilizado na agricultura (ANDREOLI & PEGORINI, 1998).

Algumas vantagens com a utilização do lodo na agricultura podem ser percebidas com a redução da emissão de CO₂ causada pela incineração, a redução na utilização de fertilizantes químicos e aumento do teor de matéria orgânica do solo (OUTWATER, 1994). Segundo LAL et al., 1995, a utilização do lodo na agricultura vem em consonância com as políticas globais de preservação da biosfera devido à redução das emissões atmosféricas de CO₂.

Outras vantagens do lodo de esgoto relacionadas diretamente ao solo é que ele de maneira semelhante à matéria orgânica aumenta a retenção de umidade em solos arenosos, melhora a permeabilidade e infiltração nos solos e por determinado tempo mantém uma boa estrutura e estabilidade dos agregados na superfície. Por outro lado, a capacidade de troca de cátions do solo, o teor em sais solúveis e de matéria orgânica pode ser aumentado, o que é extremamente benéfico para a maioria de nossos solos agrícolas, geralmente pobres e de baixa capacidade de troca de cátions (CAMARGO & BETTIOL, 2000).

De acordo com Silva et al. (2000), Bettiol & Camargo (2000), Melo & Marques (2000), existem testes com o lodo em algumas culturas como o arroz, aveia, azevém, café, cana-de-açúcar, feijão, girassol, milho, pastagens, pêsego, soja, sorgo, e trigo.

Segundo Anjos (1999), que avaliou o efeito do lodo de esgoto em plantas de milho cultivado em Latossolo Roxo distrófico e Latossolo Vermelho Escuro, onde as aplicações de lodo totalizaram 387 mg ha⁻¹ (base seca), verificou-se que a aplicação de lodo resultou em aumentos na produção de matéria seca das plantas. Em experimento de campo, Silva et al. (2002) avaliaram o lodo de esgoto como fonte de nutrientes para o milho cultivado em Latossolo Vermelho distrófico, utilizando doses de 0, 54, 108 e 216 mg ha⁻¹, e observou-se que o lodo forneceu quantidades suficientes de macro e micronutrientes para o desenvolvimento do milho, sendo que a menor dose de lodo aplicada (54 mg ha⁻¹) teve efeito residual até o terceiro ano após a sua aplicação, refletindo em um efeito direto na produtividade da cultura.

Segundo Silva et al. (2001), o lodo de esgoto aumenta a fertilidade do solo pela diminuição da acidez e fornecimento de nutrientes para a cultura de cana-de-açúcar. Silva et al. (1998) também encontraram aumentos na produtividade da cana-de-açúcar quando aplicaram 30 t ha⁻¹ de lodo de esgoto.

A utilização do lodo de esgoto em plantios de eucaliptos vem sendo utilizado por algumas empresas florestais do Brasil, visando minimizar os aspectos negativos do manejo intensivo das florestas plantadas, melhorando a produtividade e diminuindo os

custos de aplicação de fertilizantes minerais (SANTOS e TSUTYA, 1997; MORO, 1994; ZEN *et al.*, 1994). Uma grande vantagem da aplicação desse tipo de resíduo em plantações florestais consiste no fato dos principais produtos destas culturas não serem destinados à alimentação humana ou animal, possibilitando uma maior segurança quanto à dispersão de eventuais contaminações (POGGIANI e BENEDETTI, 2000).

8. Processo de estabilização do lodo de esgoto

Os processos de estabilização do lodo têm por objetivo atenuar duas características indesejáveis desse resíduo: odor e os patógenos. Estes dois fatores têm importância variável, de acordo com o destino final previsto para o lodo. A estabilização significa biodegradação de parte da matéria orgânica, redução de odores e redução do nível de microrganismos patogênicos (ANDREOLI, 2001).

Em qualquer situação, quanto mais o lodo se assemelhar à matéria orgânica “fresca”, maior será seu potencial de putrefação e produção de odores desagradáveis. Também, maior será seu teor em microrganismos patogênicos, já que os esgotos domésticos contêm esses microrganismos em alta concentração. À medida que o lodo “fresco” passa por processos de biotransformação, seus componentes orgânicos mais facilmente biodegradáveis são transformados e o lodo ganha características de lodo “estabilizado”, apresentando odor menos ofensivo e menor concentração de microrganismos patogênicos (ANDREOLI, 2001).

A necessidade de estabilização do lodo está ligada principalmente a duas características negativas do lodo fresco: seu potencial de produzir odores e seu conteúdo em microrganismos patogênicos, sendo que, na prática, um lodo pode ser “estabilizado” por outros métodos além dos processos de biodegradação (ANDREOLI, 2001).

Os processos biológicos são eficazes na redução de odores, porém o lodo com altos níveis de patógenos, e se o destino final escolhido for a reciclagem agrícola, será necessário um processo adicional de estabilização, também chamado de desinfecção, para tornar as características sanitárias do lodo compatíveis com o uso (ANDREOLI, 2001).

A estabilização e desidratação devem ser compatíveis entre si e coerentes com o destino final a ser dado ao lodo. Se o destino do lodo for o uso agrícola, o nível de patógenos e seu potencial de geração de odores são de extrema importância. Caso o

destino final seja a incineração, as exigências serão muito menores. De acordo com a EPA (Environment Protection Agency), o grau de estabilização do lodo é:

- Muito importante para a reciclagem agrícola.
- Moderadamente importante para a disposição em aterro sanitário e transporte em geral.
- Sem importância quando o destino final é a incineração ou disposição oceânica.

Os odores agressivos são causados por gases produzidos durante o processo de biodegradação do lodo. O lodo bruto, por conter alto teor de sólidos voláteis, possui alto potencial de putrefação e conseqüente produção de aminas, diaminas, gás sulfídrico, mercaptanas e amônia, principais gases responsáveis pelos odores desagradáveis (ANDREOLI, 2001).

Com o objetivo de atenuar ou eliminar os inconvenientes do odor e da presença de patógenos no lodo, são empregados processos químicos, físicos e biológicos que, utilizando vários mecanismos de atuação, estabilizam o lodo.

Na estabilização biológica, são utilizados os mecanismos naturais de biodegradação que transformam a parte mais putrescível do lodo. As vias podem ser anaeróbia ou aeróbia, sendo os principais processos:

- Digestão anaeróbia.
- Digestão aeróbia.
- Digestão aeróbia autotérmica.
- Compostagem.

Dentre todos os processos citados anteriormente o processo de estabilização do lodo de digestão anaeróbia é o método mais antigo de estabilização e, talvez, o mais utilizado, nas ETEs que empregam o sistema de lodos ativados. O processo consiste na solubilização e redução de substâncias orgânicas complexas pela ação de microrganismos, na ausência de oxigênio (ANDREOLI, 2001).

O lodo é colocado em digestores, e a biodegradação anaeróbia leva à produção de metano, dióxido de carbono, alguns outros gases e lodo estabilizado. A tabela a seguir mostra a evolução do lodo após a digestão anaeróbia.

Tipo de lodo	pH	Sólidos fixos %	C %	N %	C/N	P %
Lodo primário	6,2	12	33,3	4,5	7,4	3,1
Lodo ativado	7,0	13	30,4	6,0	5,0	2,9
Lodo digerido	7,0	40	23,5	3,0	7,8	5,6

Fonte: Fernandes & Silva (1999), Fernandes et al. (1993).

Pode-se observar a elevação relativa do teor de sólidos fixos, como resultado do processo de biodegradação. Também há perdas de nitrogênio, devido à volatilização e pequena elevação da relação C/N. No que diz respeito à redução de patógenos, a tabela a seguir mostra valores de redução de alguns microrganismos após digestão anaeróbia do lodo em número/100 ml.

Patógeno	Lodo bruto	Lodo digerido
Vírus	380 a 7×10^4	ND a 10^3
Coliformes totais	$4,3 \times 10^9$ a $5,0 \times 10^9$	$3,0 \times 10^4$ a $7,0 \times 10^7$
Coliformes fecais	$1,4 \times 10^9$ a 10^9	ND a $7,8 \times 10^6$
Salmonella	3 a $4,6 \times 10^4$	3 a 62
Estreptococos	$2,3 \times 10^7$ a $1,5 \times 10^8$	ND a $2,2 \times 10^6$
Ovos de helmintos	20 a 700	30 a 70

Fonte: WEF (1995).

Pode-se dizer que a digestão anaeróbia do lodo é um processo de estabilização eficiente para diminuir o problema do mau odor, porém a redução de patógenos observada é pequena, o que impõe limites ao uso do biossólido por questões de segurança sanitária (ANDREOLI, 2001).

5. MATERIAL E MÉTODOS

1. Procedimento do experimento

Para a caracterização inicial do lodo de esgoto, amostras foram coletadas no leito de secagem da estação de tratamento da indústria de bebidas JOTA EFE INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. As amostras foram obtidas em quatro leitos de secagem que correspondiam a dias diferentes de tratamento. A coleta de amostras ocorreu em 31 de março e 8 de abril de 2008.

A indústria se localiza no município de Ouro Fino – MG e tem como coordenadas geográficas 22° 17' 51" Latitude Sul e 46° 23' 36" Longitude e altitude média de 900 metros. O clima da região é Cwa, segundo a classificação de Koppen. A precipitação média anual é de 900 mm.

O sistema de tratamento que a indústria possui consiste em sistema de lodos ativados, o efluente gerado possui características de um efluente doméstico. A vazão efluente gerada pela indústria é de 4500 litros por hora, sendo esta a capacidade máxima suportada pela estação de tratamento.

2. Determinação de Matéria Orgânica

Para a determinação de matéria orgânica foi utilizado o método gravimétrico, o qual consiste na pesagem de aproximadamente 5g de amostra com baixa granulometria (<40µm), com posterior aquecimento em seqüências crescentes de temperatura (105°C, 16 horas e 360°C, 2 horas). A perda expressa em percentagem da diferença de peso entre 105°C e 360°C corresponde às substâncias orgânicas (GROSS, 1971), sendo seu

valor dividido por 1,724 para obtenção do carbono orgânico. A análise de cada amostra foi realizada em triplicata (DIAS e LIMA, 2004).

3. Determinação do Nitrogênio

Para a determinação do Nitrogênio foi utilizado o método de Kjeldahl, o qual consiste na pesagem de aproximadamente 200 mg de amostra que sofre um processo de digestão com 10 mL da solução digestora, uma mistura de ácido sulfúrico, sulfato de cobre e sulfato de sódio e selênio, a fim de decompor a matéria orgânica transformando o nitrogênio da amostra em nitrogênio amoniacal, sendo este destilado em presença de 50 mL de hidróxido de sódio (40%) com o subsequente desprendimento de amônia que entra em contato com 25 mL de solução de ácido bórico (4%) contendo indicador misto de Tashiro, formando o tetraborato de amônio, que por hidrólise libera o hidróxido de amônio que é titulado por uma solução padronizada de ácido clorídrico 0,05 N. A análise de cada amostra foi realizada em triplicata (DIAS e LIMA, 2004).

4. Determinação de Fósforo e Potássio

Para determinação de fósforo e potássio foi destruída a matriz orgânica que forma a sua estrutura. Esta remoção foi conduzida pela oxidação dos compostos orgânicos de aproximadamente 5 g de amostra, em triplicata em mufla a 550 ° C. Foi feita uma diluição em um balão volumétrico de 50 mL deste resíduo mineral com ácido clorídrico diluída em água destilada (1:1) (v/v). Foi feita uma nova diluição com uma alíquota de 0,1 mL da amostra em 50 mL de água destilada para realizar a determinação de fósforo. A determinação de fósforo foi realizada em espectrofotômetro a 725 nm após reação com solução a base de molibdato de amônio com a formação de um complexo fosfomolibdico e a redução deste complexo com ácido ascórbico. A determinação de potássio foi realizada em espectrofotômetro de absorção atômica utilizando a diluição de 1 mL da amostra em 50 mL de água destilada, onde o aparelho suga a amostra e queima em um chama e faz-se a leitura (absorvância) através de uma lâmpada para a respectiva substância (VIZEU et al., 2005)

5. Determinação de Sólidos Totais (ST)

Os sólidos totais (ST) compreendem todas as frações dos sólidos presentes sejam elas orgânicas ou inorgânicas suspensas ou dissolvidas e sedimentáveis.

Para determinar os ST colocaram-se os cadinhos previamente na estufa para secar a 105° C, por 2 horas, depois de retirá-los da estufa pesaram-se os cadinhos, pesou-se aproximadamente 5 g da amostra em triplicata colocando em estufa a 105° C por 24 horas. Após retirá-la da estufa pesa-se novamente para que possa determinar o solido presente na amostra (PRADO, 2006).

6. Determinação de Sólidos Fixos (SF)

Para a determinação dos sólidos fixos, utilizaram-se as mesmas amostras para a determinação dos sólidos totais, levaram-se as amostras a mufla à 550° C por 30 minutos, após retirá-las e deixá-las em dessecador, pesou-se. (PRADO, 2006).

7. Determinação de Sólidos Voláteis (SV)

Para a determinação dos sólidos voláteis foi necessário realizar as análises de ST e a SF, pois os SV são dados pela diferença dos ST em relação aos SF (PRADO, 2006)

8. Análise de Coliformes Termotolerantes

Para a análise de coliformes termotolerantes das quatro amostras de lodo foi utilizado o método do número mais provável (NMP) para a determinação a presença de coliformes fecais nas amostras. O teste baseia-se na utilização de um meio de cultura seletivo “Caldo E.C.” e incubação a temperatura superior a 44,0° C e inferior a 45,5° C e utilização 3 tubos para diluição (10^{-1} , 10^{-2} e 10^{-3}).

Determina-se a positividade do teste se houver produção de gás no interior dos tubos de fermentação (tubo de Durham). E para determinar o número mais provável de coliformes utilizou-se a tabela de NMP (SIQUEIRA, 1995).

9. Determinação de pH

Para determinar do pH utilizou-se a resolução do Conama nº 375. Primeiramente pesou-se aproximadamente 2 g de cada amostra, fez-se a diluição das amostras em um Becker com 18 mL de água destilada, homogeneizou-se , esperou pra 30 minutos e realizou a leitura das amostra no pHmetro.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos na caracterização do lodo de esgoto da estação de tratamento da indústria de bebidas JOTA EFE INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, estão apresentados nas Figuras e Tabelas a seguir.

Os valores médios de Nitrogênio Kjeldahl encontrados na amostra foi de 46,698 mg.Kg⁻¹ com desvio padrão 5,296, apresentados na Figura 5.

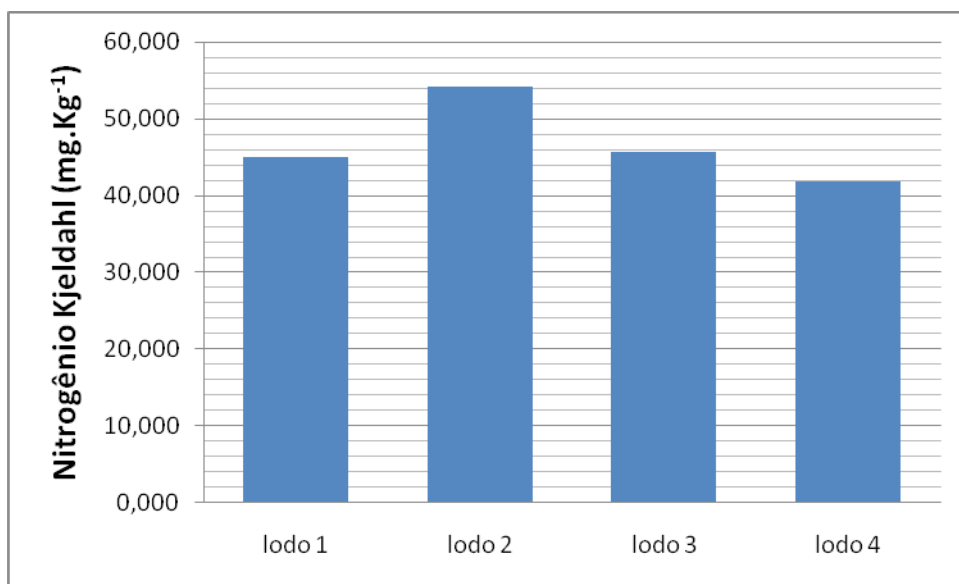


Figura 5. Valores Médios de N Kjeldahl.

O nitrogênio é um nutriente essencial para o desenvolvimento dos seres vivo presentes no solo e para os vegetais. O lodo deve ser utilizado na agricultura visando à maior eficiência do nitrogênio nele existente, pois uma vez aplicado este nutriente pode ser perdido no solo por volatilização, desnitrificação e arraste superficial. Outra forma

de se obter nitrogênio no solo é através da decomposição do lodo, onde o nitrogênio orgânico se converte em outras formas que podem ser contaminantes ao meio ambiente. Neste trabalho foi obtido um teor de N Kjeldahl de 46,698 mg.Kg⁻¹ que está próximo ao valor de 4% que foi encontrado por Melo & Marques (2000).

Com relação à análise de Fósforo o valor médio encontrado foi de 4132,917 mg.Kg⁻¹ com desvio padrão 866,734, apresentados na Figura 6.

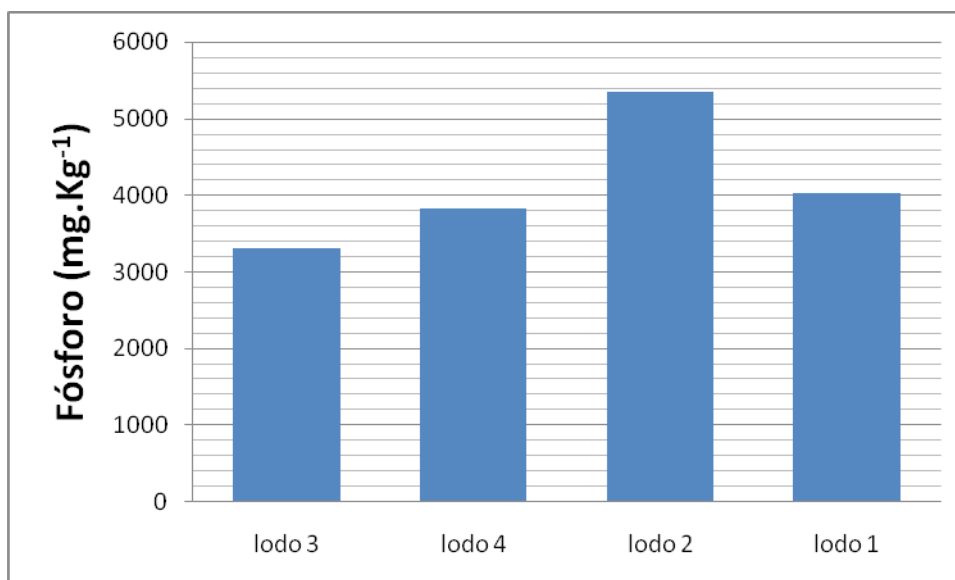


Figura 6. Valores Médios de Fósforo.

O valor de fósforo encontrado no material em estudo encontra-se superior ao encontrados por Bettioli & Camargo (2006), os valores diferem devido ao fato de se estar comparando com um resíduo doméstico, onde a fonte de fósforo é proveniente de detergentes e derivados, já a indústria de refrigerante utiliza de hidróxido de sódio e detergentes para a limpeza dos recipientes que recebem a bebida, do interior da fábrica e além de uma substância que é adicionada a estação de tratamento para tornar adequado para o metabolismo das bactérias.

O valor médio de potássio encontrado foi de 3,637 mg.Kg⁻¹ com desvio padrão de 0,733, representados na Figura 7.

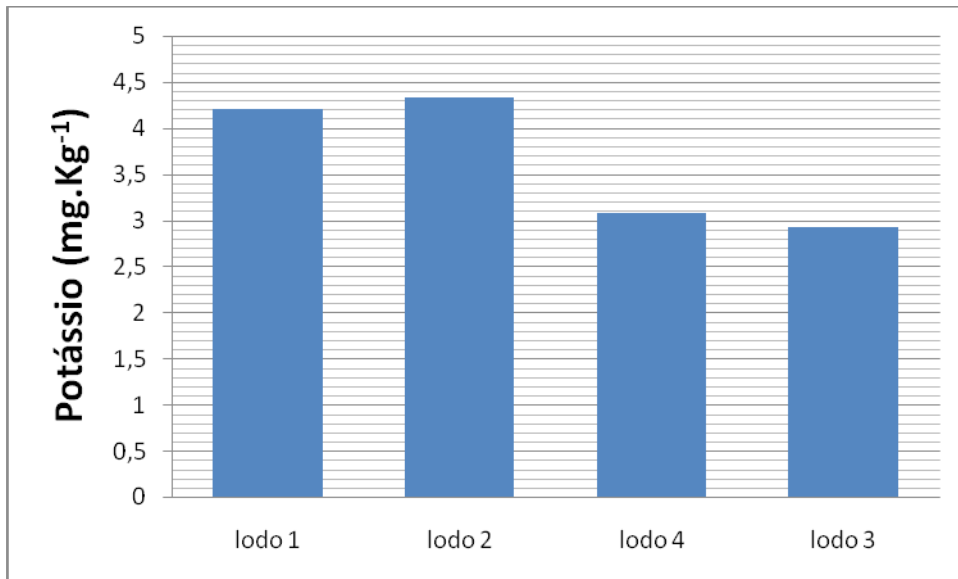


Figura 7. Valores Médios de Potássio

Quanto análise de Matéria Orgânica e Carbono Orgânico foram encontrados nas amostras analisadas um valor médio de 298,703 mg.Kg⁻¹ e 164,761 mg.Kg⁻¹ com desvio padrão de 12,030 e 3,557, respectivamente, apresentados nas Figura 8 e 9 .

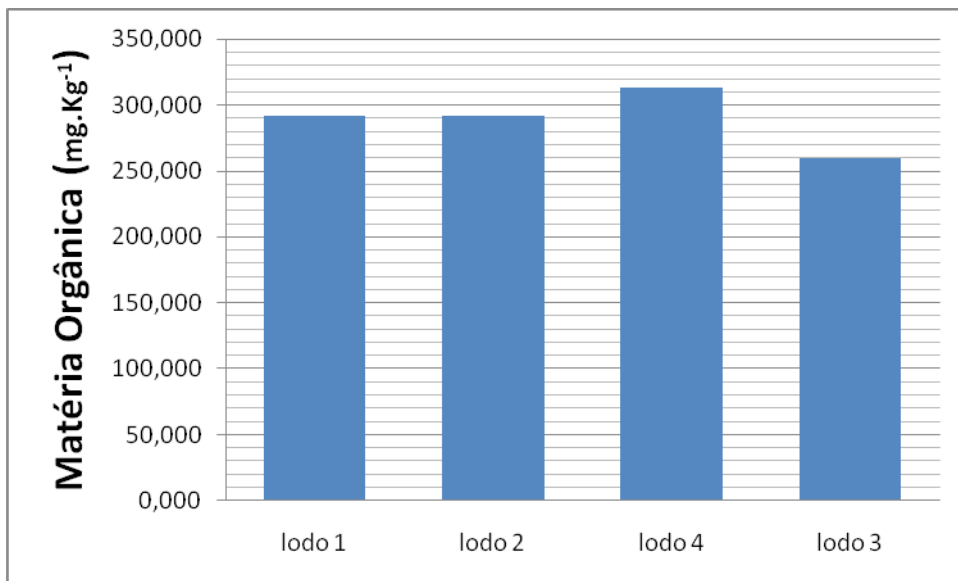


Figura 8. Valores Médios de Matéria Orgânica

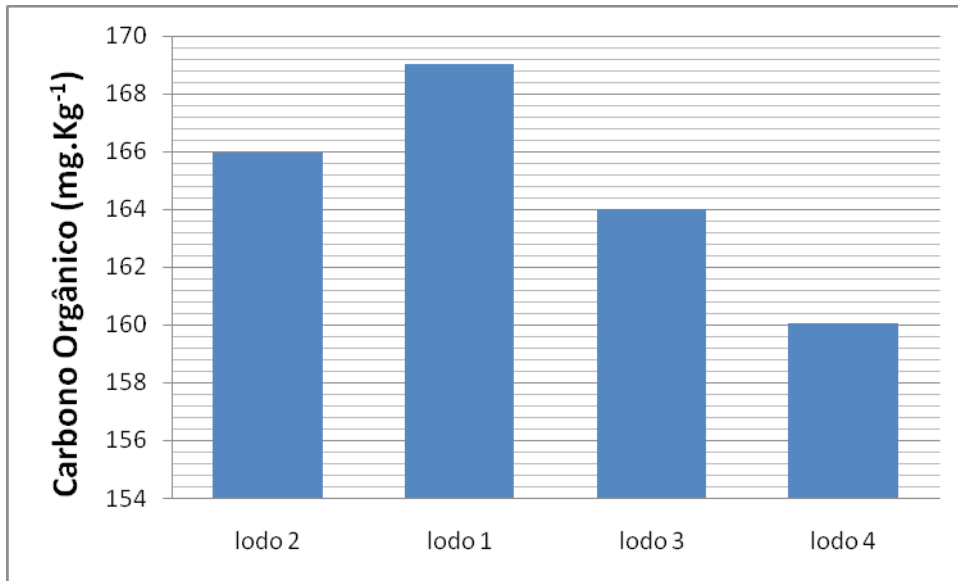


Figura 9. Valores Médios de Carbono Orgânico

Os valores médios de Sólidos Totais encontrados na amostra foi de 880,282 mg.Kg⁻¹ com desvio padrão de 7,487, apresentados na Figura 10.

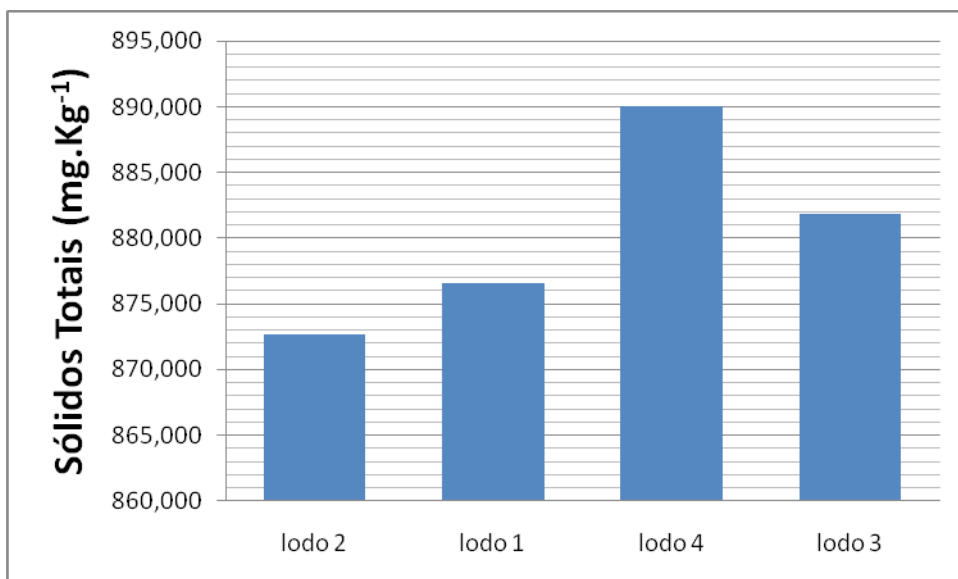


Figura 10. Valores Médios de Sólidos Totais

Com relação aos valores médios de Sólidos Fixos foram encontrados nas amostras o valor 111,374 mg.Kg⁻¹ com desvio padrão de 15,513, apresentados na Figura 11.

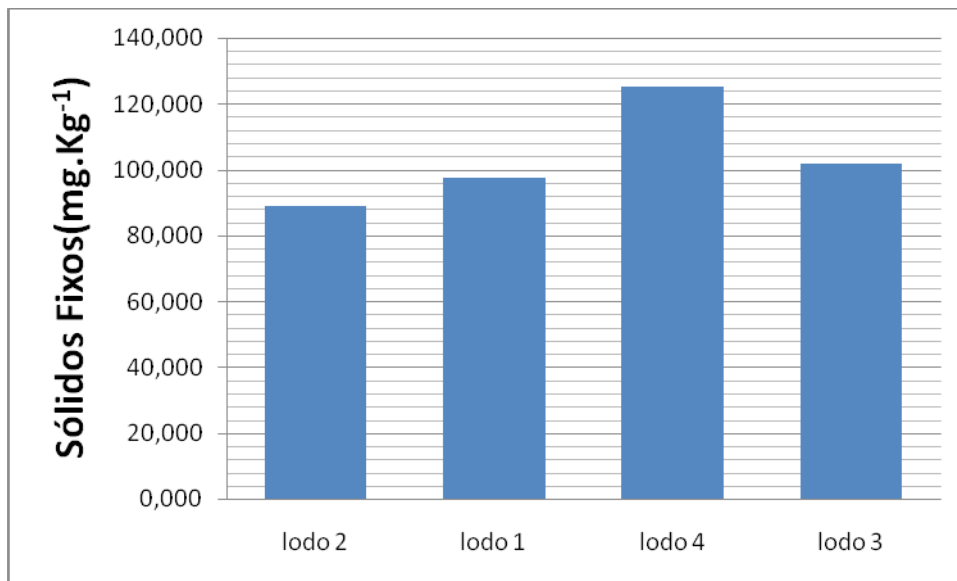


Figura 11. Valores Médios de Sólidos Fixos

Os valores médios encontrados de sólidos voláteis foram 776,976 mg.Kg⁻¹ com desvio padrão 8,336, apresentados na Figura 12.

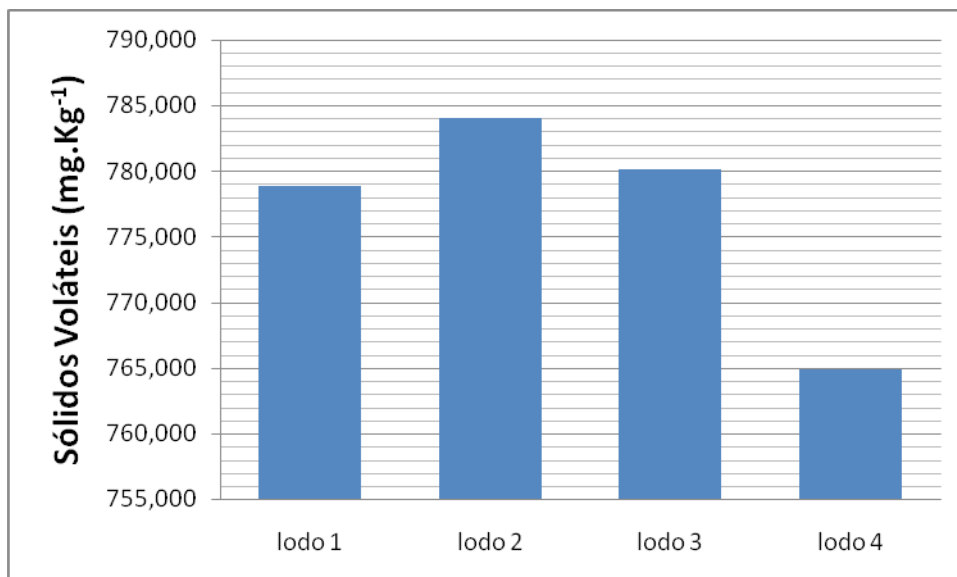


Figura 12. Valores Médios de Sólidos Voláteis

As análises de ST, SF e SV são importantes para a avaliação da estabilidade do lodo, pois um resíduo estável é de suma importância para a sua utilização em reciclagem agrícola, pois uma vez o lodo estabilizado não ocorrerá produção de odores e os coliformes fecais presentes no lodo tornam-se reduzido, pois passam por tratamento de estabilização após sair a ETE, e o resíduo após este processo apresentam valores reais dos nutrientes presente no lodo. Segundo a Resolução CONAMA n° 375 de 29 de agosto de 2006, o lodo para ser considerado estável é preciso que ele tenha uma relação

SV por ST inferior a 0,7, para este trabalho esta relação foi de 0,8729, isso se deve pelo fato de ainda se ter um teor de matéria orgânica elevado no final do sistema, há necessidade do efluente permanecer um tempo maior nos processos de tratamentos e no leito de secagem.

A Tabela 1 apresenta os valores encontrados nas amostras de lodo de esgoto da estação de tratamento de esgoto da indústria de bebidas, analisando parâmetros para a caracterização do lodo de esgoto.

Tabela 1 – Caracterização físico-química do lodo de esgoto originado da estação de tratamento de esgoto da indústria de bebida

Parâmetros analisados	Concentrações médias	Desvio Padrão
pH	6,17	0,110
Umidade (%)	11,972	0,794
C org. (Mg.Kg ⁻¹)	164,761	3,557
M.O. (Mg.Kg ⁻¹)	298,703	12,030
Relação C:N	3,5:1	-
N Kjeldahl (Mg.Kg ⁻¹)	46,698	5,296
P total (mg.l ⁻¹)	4132,917	866,734
K (Mg.Kg ⁻¹)	3,637	0,733
ST (Mg.Kg ⁻¹)	880,282	7,487
SF (Mg.Kg ⁻¹)	111,374	15,513
SV (Mg.Kg ⁻¹)	776,976	8,336

Avaliando o valor médio do pH encontrado próximo do 7,0, resultado considerado normal para este tipo de material de acordo com Fernandes & Silva (1999), Fernandes et al.(1993), pH ideal para aplicação no solo, pois esta próximo do neutro o que faz com que torna o resíduo de fácil degradabilidade pelos microorganismos presentes no solo.

Com relação à presença de patógenos, para que possa ser viável sua utilização na agricultura, o lodo deve receber tratamento adequado para que no corra risco de contaminação para a saúde humana e para o meio ambiente. O lodo deve receber tratamento adequado de acordo com o previsto pelo órgão responsável, que deve apresentar densidade de coliformes termotolerantes abaixo de 10³ NMP/g de ST (Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais) são considerados “Classe A” de acordo com a resolução do CONAMA n° 375. Conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2. Resultado de Microrganismo

Microrganismo	Média (base seca)	Desvio Padrão
Coliformes Termotolerantes	1,4 x 10 ³	925

Neste trabalho o lodo em estudo apresentou número de coliformes termotolerantes permitido pela resolução o valor médio encontrado nas amostras foi de $1,4 \times 10^3$ NMP/g de ST, comparados com AGUSTINI & ONOFRE, (2007), justifica-se pelo fato de não ser um material estabilizado, porém esta abaixo dos valores encontrados por WEF (1995), deste modo o lodo foi classificado em “Classe B”, de acordo com CONAMA 375.

O lodo de qualquer classe tem sua utilização proibida em áreas destinadas a pastagens, em cultivo de olerícolas, tubérculo e raízes, em áreas com cultivos inundados ou em qualquer cultura cuja parte comestível entre em contato com o solo. As pastagens podem ser implantadas em solo onde houve aplicação de lodo de esgoto respeitando um período de 24 meses após aplicação, já as culturas mencionadas acima podem utilizar estas áreas respeitando o período de 48 meses da última aplicação.

A utilização do lodo não pode ser feita em área de preservação permanente (APP) em área de preservação ambiental (APA), em áreas onde possua poços rasos e residências num raio mínimo de 100 m destes locais desde que não ocorra incomodo à vizinhança, porém pode ser utilizado em culturas para produção de fibras, óleo e café e em sistemas silviculturais, respeitando a forma de aplicação mecanizada em sulcos ou em covas, seguido de incorporação ou não de acordo com a declividade do local onde será aplicada esta forma de utilização conforme previsto pelo CONAMA 375 para lodo classificado em “B”. Deve-se ressaltar que ainda são necessárias outras análises como de metais pesados, de outros nutrientes como cálcio, magnésio, manganês, para classificar o lodo de esgoto conforme previsto pela resolução do CONAMA 375.

A Figura 13, esta representando a caracterização inicial do lodo quanto aos nutrientes fósforo, potássio, carbono orgânico, nitrogênio total e fração restante do lodo. Pode-se conciderar que os nutrientes analisados são de suma importância para o desenvolvimento de plantas, o que torna o lodo de esgoto um resíduo de grande relevância para utilização na agricultura.

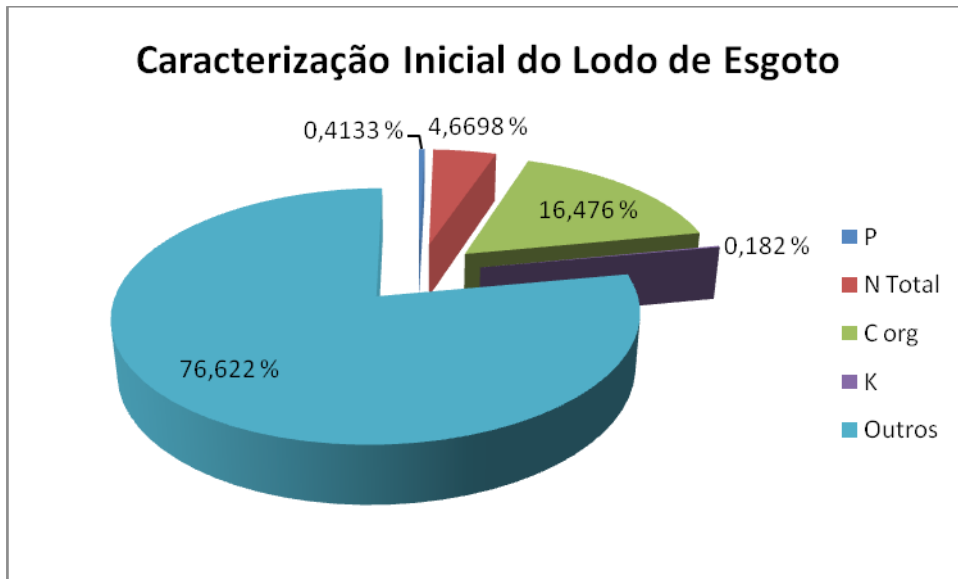


Figura 13. Caracterização inicial do Lodo de Esgoto

O lodo de esgoto analisado apresenta-se como fonte de carbono orgânico (matéria orgânica) e nitrogênio total, porém pobre nos nutrientes potássio e fósforo necessitando assim de outros materiais para suprir a falta destes nutrientes e tornar-se adubo orgânico.

7. CONCLUSÕES

A caracterização físico-química do lodo de esgoto da estação de tratamento de esgoto (ETE) pode proporcionar um modelo de gestão para integrar os impactos ambientais dos resíduos de esgoto.

As características físico-químicas do lodo de esgoto da ETE se enquadram na classe “B”.

É possível a utilização do lodo de esgoto da ETE na agricultura.

A avaliação das características físico-químicas do lodo de esgoto da ETE estabelece um bom padrão de emissão de efluentes.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, E.C. **Efeito de doses de lodo de esgoto sobre a fertilidade, atividade de amilase e celulase de um Latossolo Vermelho-Escuro textura média.** Jaboticabal, FCAV/UNESP, 1992. 110p.

AGÊNCIA BRASIL, Disponível em: <http://www.agrisustentavel.com/san/sojac.htm>
Acessado: 14/07/2008

AGUSTINI, D; ONOFRE, S.B. Caracterização físico-química e microbiológica do lodo de esgoto produzido pela estação de tratamento de esgoto (ETE) DE Pato Branco – PR. **Rev. Biologia e Saúde da UNISEP.** Vol. 1, nº. 1. 2007.

ANDRADE, C. A. **Nitratos e metais pesados no solo e em plantas de Eucalyptus grandis após aplicação de biossólido da ETE de Barueri.** 1999. 65 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E.S. Proposta de roteiro para elaboração de Planos de Distribuição de Lodo. In: I Seminário sobre Gerenciamento de Biossólidos do Mercosul, Curitiba, dez 1-4, 1998.

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

ANJOS, A.R.M. **Lixiviação de espécies químicas em latossolos sucessivamente tratados com biossólidos e disponibilidade de metais pesados para plantas de milho.** 1999. 191p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

ARVIDSSON, J. Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory experiments. **Soil Till. Res.**, 49:159-170, 1998.

BAUMGARTL, T. & HORN, R. Effect of aggregate stability on soil compaction. **Soil Till. Res.**, 19:203-213, 1991.

BAATH, E. Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations: a Review. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 47, p. 335-379, 1989.

BORSOI, Z. et al. Tratamento de esgoto: tecnologias acessíveis. **Informe Infra-Estrutura**. Edição nº 16. Novembro. 1997.

BOYD, S.A.; SOMMERS, L.E.; NELSON, D.W. Changes in the humic acid fraction of soil resulting from sludge application. **Soil Science of America Journal**, v.44, p.1179-1186, 1980.

BROOKES, P.C. The use microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metal. **Biology and Fertility of Soil**, v. 19, p.269-279, 1995.

CAMARGO, O. A. de & BETTIOL, W. Agricultura: opção animadora para a utilização de lodo de esgoto. **Revista. O Agrônomo** v. 52, nº. 2/3. 2000.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 19:121-126, 1995.

CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 14:99-105, 1990.

DIAS, J.C; LIMA, W.N. Comparação de métodos para determinação de matéria orgânica em amostras ambientais. **Rev. Científica da UFPA**. Vol. 4 Abril. 2004.

DICK, R.P. Soil enzymes activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Soil Science Society of America, 107-124, 1994.

FANNING, D.S.; KERAMIDAS, V.Z. & EL-DESOKY, M. Micas. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. **Minerals in soil environments**. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.551-634.

FASSBENDER, H.W. **Química de suelos com ênfasis em suelos de América Latina**. San José: Matilde de la Cruz, 1980. 398 p.

FERNANDES, F.; PIERRO, A.C.; YAMAMOTO, R.Y. (1993). Produção de fertilizante orgânico por compostagem do lodo gerado por estações de tratamento de esgotos. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v.28, n.5, p.567-574.

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. (1999). Manual prático para a compostagem de biossólidos. Rio de Janeiro, ABES-FINEP, 84p.

GILLER, K.E.; WITTER, E.; McGRATH, S.P. Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agriculture soils: a review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, p. 1389-1414, 1998.

GROSS, M.G. Carbon determination In.: CARVER, R.E. (ed.) **Procedure in sedimentary petrology**. New York: Wiley-Interscience, 1971. Cap. 25, p. 573-596.

GUIMARÃES, G.A; BASTOS, J.B; LOPES, E.C. **Métodos de análises físicas, químicas e instrumentais de solo**. Vol. 1, n. 1. Belém: IPEAN, 1970. 112p.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

HUANG, P.M. Feldspars, olivines, pyroxenes, and amphiboles. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. *Minerals in soil environments*. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p.975-1050.

LAL, R. ;KIMBLE, J.M.;LEVINE, E. et al. **Soil management and greenhouse effect**. Lewis Publishers, 1995. 385 p.

LAKE, D.L. Sludge disposal to land. In: LESTER, J.N. **Heavy metals in wastewater and sludge treatment process**. Boca Raton: CRC Press, 1987. v.2, p.91-130.

LYNCH, J. M.; BRAGG, E. Microorganism and soil aggregate stability. *Advences in Soil Science*, v.2, p. 133-177, 1985.

MARQUES V.S. **Efeitos de zinco e cádmio em arroz (*Oryza sativa L.*) cultivado com solução nutritiva e em solo tratado com lodo de esgoto enriquecido**. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1997. 146p.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SILVA, F.C.; BOARETTO. A.E. Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...**Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

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

MELO, G.W.; MEURER, E.J. & PINTO, L.F.S. Fontes de potássio em solos distroféricos caulíníticos originados de basalto no Rio Grande do Sul. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 28:597-603, 2004

METCALF & EDDY (1991). *Water engineering: treatment, disposal and reuse*. Metcalf & Eddy INC., 3.ed. McGraw Hill, 1.334p.

MORO, M. Caracterização, distribuição e análise econômica dos resíduos industriais da Champion Papel e Celulose Ltda. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, Botucatu, 1994. **Anais...** Botucatu: UNESP, FCA, 1994. p.155-166.

MOSS, Gérard. A importância da água - Projeto Brasil das Águas “Revelando o azul do verde e amarelo” 2003/2004. Disponível em: <www.brasildasaguas.com.br> Acesso: 27 abr. 2008.

OLIVEIRA, V.; LUDWICK, A.E. & BEATY, M.T. Potassium removed from some southern Brazilian soils by exhaustive cropping and chemical extraction methods. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 35:763-767, 1971.

OUTWATER, A.B. **Reuse of sludge and minor wastewater residuals**. Lewis Publishers, 1994. 179p.

PASSOS, R. R. **Carbono Orgânico e Nitrogênio em Agregados de um Latossolo Vermelho sob Duas Coberturas Vegetais**. 2000. 89f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Viçosa.

POGGIANI, F.; BENEDETTI, V. **Aplicabilidade do lodo filtrado de esgoto produzido na Região Metropolitana de São Paulo em plantações florestais de rápido crescimento**. Piracicaba: ESALQ, IPEF, SABESP, 2000. 111p.

PONTES Z.B.V.S. **Atividade antifúngica de produtos naturais e sintéticos sobre espécies de *Trichosporon behrend***. João Pessoa, 2002. 178p.

PRADO, M.A.C. Procedimentos das análises químicas e físico-químicas – Tratamento de Resíduos Agroindustriais. UFLA/FAEPE. 2006. 37 p.

RITCHEY, K.D. O potássio nos Oxissolos e Ultissolos dos trópicos úmidos. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, Instituto Internacional da Potassa, 1982. 69p. (Boletim Técnico, 7)

ROS, C.O. da; AITA, C.; CERETTA, C.A.; FRIES, M .R. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-preta-ervilhaca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.257-261, 1993

SANTOS, H.F.; TSUTYA, M.T. Aproveitamento e disposição final do lodo de esgoto de ETEs do Estado de São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.2, n.2, p.70-82, 1997.

SCHWARTZBROD, J. Seminário multidisciplinar sobre reciclagem agrícola do lodo de esgoto (fotocópias). Curitiba, Nov. 1996.

SEKI, L.T. Estudo **da aplicação de doses de calcário e de lodo de esgoto na cultura da aveia branca (*Avena Sativa L.*) cv. UFRGS-7, cultivada em latossolo vermelho-escuro**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 1995. 63p.

SILVA, D.N.; MEURER, E.J.; KAMPF, N. & BORKERT, C.M. Mineralogia e formas de potássio em dois Latossolos do Estado do Paraná e suas relações com a disponibilidade para as plantas. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:433-439, 1995.

SILVA, F.C.; BOARETTO, A.E.; BERTON, R.S.; ZOTELLI, H.B.; PEXE, C.A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.1, p.1-8, 1998.

SILVA, L.S.; CAMARGO, F.A.O.; CERETTA, C.A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E.J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, 2000. p.45-62.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36 n. 5, p. 831-840, maio 2001.

SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D. Alternativa agronômica para o biossólido produzido do Distrito Federal. I – Efeito na produção de milho e adição de metais pesados em Latossolo no Cerrado. **Revista Brasileiro de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 26, p. 487-495, 2002.

SIMONETE, A.A. **Alterações nas propriedades químicas de um Argissolo adubado com lodo de esgoto e desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em plantas de milho**. 2001. 89 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Vegetal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SIQUEIRA, Regina Silva de. Manual de Microbiologia de Alimentos. Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos (Rio de Janeiro, RJ). Brasília: EMBRAPA – SPI ; Rio de Janeiro: EMBRAPA – CTAA, 1995. 159 p.

SOUZA, M.A.S; LIMA, L.M; CUNHA, D.G; JUNIOR, A.M.S; BORGES, E.N. Avaliação dos teores de COT (Carbono Orgânico Total) em diferentes regiões do cafeeiro sob dois sistemas de condução na cafeicultura tecnificada do cerrado. In.: VII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IV Encontro Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. 2004

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO O. M. C. **Gestão da água no Brasil** – Brasília : UNESCO, 2001. 156p.

VIZEU, V.E; FEIJÓ, M.B.S; CAMPOS, R.C. Determinação da composição mineral de diferentes formulações de multimistura. **Rev. Ciênc. Tecnol. Aliment.** Vol. 25 n°. 2 Campinas. Apr/June 2005

WARDLE, D.A. A comparative assessment of factors withinfluence of microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. **Biological Review**, v.67, p.321-358, 1992.

WEBBER, M. D.& SHAMES, A. Land utilization of sewage: a discussion paper. **Expert Commitee on soil and water management**. Toronto, 1984. 48 p.

WEF – Water Environmental Federation (1995). Waste water residuals stabilization – manual of practice FD-9. Alexandria, USA, 244p.

WIKIPÉDIA, Metais Pesados Disponível em:
http://pt.wikipedia.org/wiki/Metais_pesados Acessado: 15/07/2008

ZEN, S.; BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D. Resíduos urbanos como fonte de nutrientes em povoamentos de eucalipto. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DE RESÍDUOS

INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, Botucatu, 1994. **Anais...** Botucatu: UNESP, FCA, 1994. p.25-39

ANEXOS I



Tanque de aeração da estação de tratamento da indústria de bebidas.



A figura acima é o leito de secagem do lodo de esgoto gera para indústria de bebidas.

ANEXO II

Tabela de Número Mais Provavel (NMP) utilizado para a determinação de coliformes termotolerantes.

Tubos positivos			NMP	Limite NMP	
10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	/g	Inferior	Superior
0	0	0	<3	-	-
0	0	1	3	0,5	9
0	1	0	3	< 0,5	13
1	0	0	4	< 0,5	20
1	0	1	7	1	21
1	1	0	7	1	23
1	1	1	11	3	36
1	2	0	11	3	36
2	0	0	9	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	3	44
2	1	1	20	7	89
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	150
3	0	0	23	4	120
3	0	1	39	7	130
3	0	2	64	15	380
3	1	0	43	7	210
3	1	1	75	14	230
3	1	2	120	30	380
3	2	0	93	15	380
3	2	1	150	30	440
3	2	2	210	35	470
3	3	0	240	46	1300
3	3	1	460	71	2400
3	3	2	1100	150	4800
3	3	3	>2400	-	-

Fonte: SIQUEIRA, 1995