



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Luan Milhomem Carvalho

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DO LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMO FERTILIZANTE AGRÍCOLA:**

**Estudo de caso Araguaína-TO**

Palmas – TO

2018

Luan Milhomem Carvalho

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DO LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMO FERTILIZANTE AGRÍCOLA:

Estudo de caso Araguaína - TO

Trabalho de Conclusão de Curso(TCC) II elaborado e  
apresentado como requisito parcial para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro  
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc. Dalton Cardozo Bracarense

Palmas – TO

2018

Luan Milhomem Carvalho

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DO LODO DE  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMO FERTILIZANTE AGRÍCOLA:  
Estudo de caso Araguaína - TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e  
apresentado como requisito parcial para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro  
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.Sc. Dalton Cardozo Bracarense.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. M.Sc. Dalton Cardozo Bracarense

Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

---

Prof. Dr. José Geraldo Delvaux Silva

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

---

Prof. <sup>a</sup> M.Sc. Jacqueline Henrique

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais Luciane Caetano, Alexandro Almeida e aos meus tios Maria das Dores e Joel Caetano, pela determinação e luta na minha. Ao meus irmãos de outra mãe Magno e Wolney, uma das melhores pessoas que já conheci. A todos os meus familiares e conhecidos que contribuíram para minha formação.

Aos meus queridos amigos Andressa, Rodrigo Brito, Matheus Rodrigues, pela amizade e companheirismo durante essa jornada acadêmica.

Aos professores e colaboradores do CEULP/ULBRA, em especial o meu orientador Prof. M.Sc. Dalton Cardozo Bracarense.

## RESUMO

CARVALHO, Luan Milhomem. **ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DO LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COMO FERTILIZANTE AGRÍCOLA**: Estudo de caso Araguaína – TO. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

O presente trabalho teve como propósito avaliar a viabilidade técnica e econômica do uso do lodo de estação de tratamento de esgoto como fertilizante agrícola, em um estudo de caso na cidade de Araguaína-TO. Foi estudado por meio de análises do lodo realizadas e fornecidos pela BRK Ambiental, da ETE de Rio Claro, que possui tratamento Nereda, o mesmo que será utilizado na ETE-Lontra. E também, características pedológicas da região, sendo calculado a taxa de aplicação de acordo com a norma da CETESB, e com base, em uma estimativa de necessidade de macronutrientes como Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K), para um solo do cerrado que é característico do local. Ao final foi calculados a produção do lodo, e identificados as atividades agrícolas praticados na região, chegando na conclusão que o lodo é suficiente para suprir a necessidade em área para adubação, sendo então concluído que a aplicação do lodo em solos para atividades e tecnicamente possível e economicamente viável.

Palavras-chave: Lodo; Macronutrientes; Fertilizantes.

## **ABSTRACT**

CARVALHO, Luan Milhomem. **STUDY OF TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY OF THE USE OF SLODE OF SEWAGE TREATMENT STATION AS AN AGRICULTURAL FERTILIZER:** Case study Araguaína - TO. 2018. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2018.

The present study had the purpose of evaluating the technical and economic viability of the use of sewage treatment plant sludge as agricultural fertilizer, in a case study in the city of Araguaína-TO. It was studied by means of sludge analyzes carried out and supplied by BRK Ambiental, from Rio Claro ETE, which has Nereda treatment, the same one that will be used in ETE-Lontra. Also, pedological characteristics of the region, being calculated the rate of application according to CETESB standard, and based on an estimate of the need for macronutrients such as Nitrogen (N), Phosphorus (P) and Potassium (K), for a soil of the cerrado that is characteristic of the place. At the end, the production of the sludge was calculated, and the agricultural activities practiced in the region were identified, and it was concluded that the sludge is enough to supply the need for fertilization, and it was concluded that the application of sludge to soils is technically possible and economically viable.

Keywords: Sludge; Macronutrients; Fertilizers.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Conceito de sistema convencional de tratamento e esgoto .....	18
Figura 2. Algumas alternativas para tratamento e disposição do lodo gerado no processo de lodos ativos .....	23
Figura 3 Fluxograma de Tratamento Fase Líquida e Fase Sólida .....	27
Figura 4 Localização e Acessos ao Município de Araguaína.....	32
Figura 5 Fluxograma .....	33
Figura 6 Mapa pedológico de Araguaína-TO.....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Origem dos principais subprodutos sólidos gerados no tratamento de esgotos pais subprodutos sólidos gerados no tratamento de esgotos .....	20
Tabela 2 Principais alternativas de disposição s final do lodo .....	21
Tabela 3 Composição química e algumas propriedades típicas do lodo de esgoto .....	24
Tabela 4 Síntese dos efeitos dos principais metais pesados sobre a saúde humana.....	25
Tabela 5. Concentração de limites de metais pesados no lodo de esgoto aceitáveis para uso agrícola .....	26
Tabela 6 Produção agrícola - Lavoura temporária – Ano 2017 .....	31
Tabela 7 Produção agrícola - Lavoura permanente – Ano 2017 .....	31
Tabela 8. Quantidade necessária de cada nutriente N,P e K .....	34
Tabela 9 Concentrações limites de metais no lodo .....	35
Tabela 10 Análise do lodo da estação de tratamento Rio Claro-SP, por processo de tratamento Nereda.....	37
Tabela 11 Características físicas e químicas do solo.....	39
Tabela 12 Resumo de quantidades de lodo .....	40
Tabela 13 Comparativo com os limites máximos .....	41
Tabela 14 Resumo de custos .....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de tratamento de esgoto
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Normas Brasileiras
SNIS	Sistema Nacional de informações sobre saneamento
ULBRA	Universidade Luterana do Brasil

## LISTA DE FÓRMULAS

Equação (1) : Taxa de aplicação dos nutrientes .....	34
--	----

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	14
1.2	HIPÓTESE.....	14
1.3	OBJETIVOS.....	14
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>14</b>
1.4	JUSTIFICATIVA.....	14
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
2.1	CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO.....	15
<b>2.1.1</b>	<b>Características físicas do esgoto doméstico.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Características químicas do esgoto doméstico.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Características biológicas do esgoto doméstico .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.4</b>	<b>Tratamento e destinação do esgoto.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.5</b>	<b>Tipos sólidos gerados no tratamento de esgoto .....</b>	<b>18</b>
2.2	LODO DO ESGOTO .....	19
<b>2.2.1</b>	<b>Geração de lodo .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Tipos de tratamento de lodo.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Incineração.....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Aterros sanitários .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.5</b>	<b>Landfarming .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.6</b>	<b>Reciclagem agrícola do lodo de esgoto .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.7</b>	<b>Propriedades físico-químico e microbiológicas .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.8</b>	<b>Metais pesados .....</b>	<b>24</b>
2.3	LEGISLAÇÃO.....	26
2.4	PROCESSO DE TRATAMENTO NEREDA – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO RIO CLARO, SÃO PAULO .....	27
<b>2.4.1</b>	<b>Detalhamento das etapas do processo .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Tratamento preliminar compacto.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Posto de recebimento de despejos .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Tanque de equalização.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.5</b>	<b>Tratamento biológico Nereda.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4.6</b>	<b>Tanque de acumulo e regularização de vazão .....</b>	<b>29</b>

2.4.7	Emissário terrestre.....	29
2.4.8	Desaguamento de Lodo.....	29
2.4.9	Descarga de fundo de unidades.....	30
2.4.10	Atividades agrícola da região de Araguaína.....	30
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	32
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO LODO.....	33
3.1.1	Parâmetros do metais pesados (mg/kg de lodo seco) .....	33
3.1.2	Concentração dos nutrientes do lodo (%) e parâmetros microbiológicos .....	33
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO .....	33
3.2.1	Propriedades físicas e químicas do solos .....	34
3.3	TAXAS DE APLICAÇÃO .....	34
3.3.1	Taxa de aplicação dos nutrientes .....	34
3.3.2	Metais pesados .....	34
3.4	ESTIMATIVA DE VOLUME PRODUZIDO DE LODO .....	35
3.4.1	Área de atendimento do lodo como fertilizante.....	35
3.5	ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA .....	35
3.6	ANÁLISE DA VIABILIDADE FINANCEIRA DO LODO .....	35
4	<b>RESULTADOS</b> .....	37
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO LODO.....	37
4.2	SOLO DA REGIÃO.....	38
4.2.1	Características químicas do solo dominante.....	38
4.3	TAXAS DE APLICAÇÃO MACRONUTRIENTES (N,P,K) .....	40
4.3.1	Nitrogênio.....	40
4.3.2	Fósforo.....	40
4.3.3	Potássio.....	40
4.4	METAIS PESADOS .....	41
4.5	ESTIMATIVA DE VOLUME PRODUZIDO DE LODO .....	41
4.5.1	Produção anual.....	42
4.5.2	Atividades agrícola da região de Araguaína.....	42
4.6	VIABILIDADE TÉCNICA.....	42
4.6.1	Análise de limites de metais pesados .....	42
4.6.2	Atendimento à demanda de fertilizantes.....	42
4.7	VIABILIDADE FINANCEIRA DO LODO.....	42
4.7.1	Custo dos fertilizantes químicos.....	43

<b>4.7.2</b>	<b>Custo do lodo .....</b>	<b>43</b>
<b>4.7.3</b>	<b>Custo do lodo + Complementação com fertilizantes químicos.....</b>	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A expansão urbana desordenada e sem um apropriado planejamento ocasiona a criação de uma população carente de infraestrutura, devido ao não acompanhamento do crescimento com a necessidade em termos de infraestrutura básica. Toda atividade humana tem por consequência produção de resíduos, onde há uma demanda por manutenção e melhorias ambientais que tem exigido das autoridades públicas, privadas e empresas, atividades capazes de compatibilizar o desenvolvimento às limitações da exploração dos recursos naturais.

Segundo pesquisa realizada no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2016), a média de atendimento total com rede de esgoto no Brasil foi igual a 51,9% e no atendimento urbano 59,7%, sendo que somente 44,9% dos esgotos gerados tiveram um devido tratamento.

Mesmo quando tratado, o efluente gera resíduos resultantes do processo empregado. Um dos resíduos gerado é o lodo. Segundo CONAMA (2006), o mesmo corresponde a uma fonte potencial de riscos à saúde pública e ambiental, pois, pode conter metais pesados e patógenos em concentração nociva, assim potencializando a proliferação de vetores de moléstia e organismos nocivos. Com isso, a disposição final desse material deve ser de forma que seus compostos causem o mínimo de impacto, obedecendo aos limites permissíveis de concentrações do mesmo. Um dos meios de descarte desse resíduo é a reutilização como fertilizantes, por apresentar composição rica em nutrientes.

O estudo desenvolvido avaliou a viabilidade técnica e econômica do uso do subproduto do tratamento do esgoto como fertilizante agrícola. Este lodo será gerado pela futura estação de tratamento de esgoto (ETE) Lontra que será implantada em Araguaína. Para tanto, foi necessário avaliar as propriedades do lodo, concentração de metais pesados e nutrientes, identificar e limitar sua usabilidade para atividade agrícola.

O trabalho está estruturado em 5 capítulos. O capítulo 2 traz o referencial teórico, abordando as características físicas, químicas e biológicas do esgoto, seu tratamento, destinação, os tipos de sólidos gerados, legislação e caracterização de tratamento de uma estação de tratamento com processo Nereda. São abordadas as propriedades do lodo e sua disposição final, descrevendo os tipos de descarte e legislação pertinente. O capítulo 3 descreve a metodologia adotada para o desenvolvimento do trabalho. No seguinte, capítulo 4, são apresentados os resultados. Para finalizar, são apresentadas as conclusões e referências bibliográficos utilizados.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Há viabilidade técnica e econômica da utilização do lodo resultante do tratamento de esgoto doméstico da ETE Lontra como fertilizante agrícola?

## 1.2 HIPÓTESE

O lodo possui compostos que tornam interessante sua utilização como fertilizante para agricultura e, com isso, promove uma destinação sustentável para o lodo e uma redução de custo para agricultores.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica e econômica do uso do lodo a ser produzido pela ETE-Lontra, na cidade de Araguaína-TO, como fertilizante agrícola.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o lodo produzido por sistemas tratamento semelhante ao que será implantado na ETE-Lontra;
- Analisar a viabilidade técnica do uso do lodo na agricultura;
- Analisar a viabilidade financeira do emprego do lodo produzido como fertilizante agrícola.

## 1.4 JUSTIFICATIVA

O lodo é um resíduo gerado pelo tratamento do esgoto, cuja produção é proporcional ao crescimento populacional. Por carregar consigo substâncias químicas e patógenos nocivos, o lodo, em grandes concentrações, traz riscos socioambientais, que, por sua vez, afetam a saúde da população e, também, o meio ambiente. Para que os efeitos negativos sejam minimizados, o seu descarte deve ser feito respeitando limites impostos para cada atividade de descarte. O seu uso agrícola apresenta vantagens ambientais em relação as demais destinações finais, pois, a sua composição é rica em nutrientes necessitados pelos solos em atividades agrícolas.

O tema em estudo tem grande importância para o meio científico, ambiental e social, pois sua proposta pode beneficiar tanto a companhia de saneamento quanto os agricultores da região, além de colaborar como um meio de preservação ambiental. A caracterização do lodo da ETE de Araguaína-TO permitirá avaliar a possível reutilização do mesmo na agricultura, possibilitando o aumento de atividades agrícolas na região.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo a ABNT(1986) o esgoto sanitário é o despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e contribuição pluvial parasitária.

Ainda segundo a referente norma, os tipos de esgoto podem ser divididos em quatro grupos principais:

- Doméstico: é o escoamento líquido do consumo da água proveniente de higienização e necessidades fisiológicas, basicamente todo o lixo produzido utilizando água, que escorre pelos ralos e pias espalhados na residência.
- Industrial: é o escoamento líquido derivado das técnicas industriais, respeitando padrões de lançamentos estabelecidos, nos quais surgem dos resultados de limpeza e descontaminação de equipamentos, nos processos de testes de controle de qualidade e de corantes, nos pós tratamento físico-químico de produtos e também na locação de banheiros químicos, entre outros.
- Água de infiltração: é a água derivada do subsolo, indesejável ao sistema separador que adentra nas canalizações, essencialmente são águas subterrâneas oriundas do subsolo que penetram nas canalizações da rede coletora de esgoto por diversos meios, como juntas mal executadas, tubulações defeituosas, poços de visitas e estações elevatórias, etc.
- Contribuição pluvial parasitária: é o deflúvio superficial que de maneira inevitável é absorvida pela rede de esgoto, as contribuições parasitárias indevidas podem ser oriundas do subsolo (terreno), ou provir de encanamento acidental ou clandestino de águas pluviais.

Simões, Peixoto, & Almeida (2013) dizem que, devido essa grande variação de usuários e possíveis pontos de contribuição, as definições que caracterizam os esgotos sanitários, gerados em uma comunidade podem sofrer grandes variações de cargas orgânicas (kg DBO5/hab.dia), vazão unitária média (L/hab.dia) e vazão instantânea (L/s).

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO

#### 2.1.1 Características físicas do esgoto doméstico

A FUNASA (2006), define que as principais características físicas dos esgotos domésticos são:

- **Matéria sólida:** os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água, e 0,1% de matéria sólida, e relacionada essa pequena parcela de sólidos que ocorre a poluição, havendo assim a necessidade do tratamento:
- **Temperatura:** a temperatura dos esgotos é em geral, superior à das águas de abastecimento, sendo sua decomposição proporcional a temperatura.
- **Odor:** os odores dos esgotos são causados pela formação de gases referente a decomposição do mesmo.
- **Cor e turbidez:** a cor e turbidez indicam o estado de decomposição do esgoto.
- **Variação de vazão:** a variação de vazão do esgoto doméstico está ligada aos costumes dos habitantes. A vazão doméstica é calculada em função do consumo médio diário de água de um indivíduo. Estima-se que de 100% da água consumida, 80% são lançados na rede de esgoto.

### **2.1.2 Características químicas do esgoto doméstico**

A FUNASA (2006) define que as principais características químicas dos esgotos domésticos são:

- **Matéria orgânica:** Cerca de 70% dos sólidos do esgoto são de origem orgânica, geralmente esses compostos são associação de carbono, hidrogênio e oxigênio, algumas vezes com nitrogênio. Os grupos de substância orgânicas nos esgotos são constituídos por:
  - **Proteínas (40% a 60%):** São produtos de nitrogênio e contêm carbono, hidrogênio, oxigênio algumas vezes fósforo, enxofre e ferro. O gás sulfídrico presente nos esgotos é proveniente do enxofre fornecido pelas proteínas.
  - **Carboidratos (25% a 50%):** Composto por carbono, hidrogênio e oxigênio. São as principais substâncias a serem dizimadas pelas bactérias, com a produção de ácidos orgânicos.
  - **Gorduras e óleos (10%):** É o mesmo de matéria graxa e óleos, provem geralmente dos esgotos domésticos.
  - **Sulfactantes:** São compostos por moléculas orgânicas com a propriedade de formar espuma no corpo receptor ou na ETE.
  - **Fenóis:** São compostos orgânicos originados em despejo industriais.

### 2.1.3 Características biológicas do esgoto doméstico

FUNASA (2006) destaca como principais características do esgoto doméstico os microrganismos e os indicadores de poluição, descrito a seguir:

- **Microrganismos:** Segundo Nuvolari (2003), as bactérias, fungos, protozoário, vírus e algas são os mais importantes dos microrganismos. FUNASA (2006) diz que deste grupo citado anteriormente, as bactérias são as mais importantes, pois elas são responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica.
- **Patogênicos:** Para Nuvolari (2003), os microrganismos patogênicos surgem no esgoto pelas coletas das excretas de indivíduos doentes, isso ocorre devido a presença de bactérias do grupo coliforme no trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente, sendo eliminados em grande número pelas fezes.

### 2.1.4 Tratamento e destinação do esgoto

Von Sperling (1996) destaca as relevantes características no sistema de tratamento de esgoto, as quais são: eficácia, credibilidade, disposição do lodo, requisitos de área, impactos ambientais, custos de operação, custos de implantação, sustentabilidade e simplicidade. O sistema deve ser analisado por particularidades individuais, utilizando a melhor alternativa técnica e econômica.

O tratamento de esgoto é usualmente classificado através dos seguintes níveis, segundo Von Sperling (1996):

- **Tratamento primário:** trata-se da extração de sólidos grosseiros, por meio de grandes e a sedimentação ou flotação de material constituídos por fragmentos suspensos. De maneira geral os solos retidos em caixas são enterrados e os retidos em decantadores devem ser adensados e digeridos adequadamente para secagem e disposição em locais adequados.
- **Tratamento secundário:** destinado a deterioração biológica de compostos carbonáceos, óleos, graxas e de proteínas a compostos mais simples, como:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  etc., dependendo do tipo de processo predominante.
- **Tratamento terciário:** no caso de esgoto sanitário tem como objetivo, a redução da concentração de nitrogênio e fósforo, fundamentada em processos biológicos, realizados em fases seguintes denominadas como nitrificação e desnitrificação, onde na nitrificação o nitrogênio é levado à forma de nitrato, e na desnitrificação é levado a produção de  $\text{N}_2$ . O tratamento terciário também produz o, que deve ser adensado, digerido, secado e disposto convenientemente.

A Figura 1 a seguir demonstra esquematicamente a composição de uma estação de tratamento completa convencional:

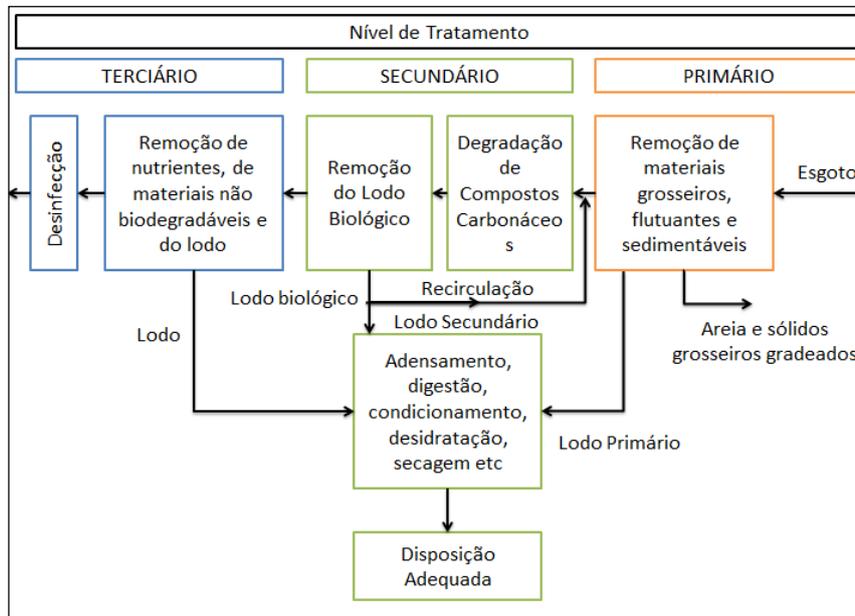


Figura 1 Conceito de sistema convencional de tratamento e esgoto

Fonte: Campos (1999)

### 2.1.5 Tipos sólidos gerados no tratamento de esgoto

Segundo Menezes, Silvino, & Neto (2006) o sistema de tratamento de esgoto origina muitos resíduos sólidos, como material gradeado e areia, no qual são retirados no tratamento preliminar. Entretanto, um dos principais subprodutos é o lodo, em que é necessário ser retirado do sistema e tratado para, após ser organizado em valas na área da ETE, ou em aterro sanitário.

Em alguns sistemas o lodo se aglomera na própria unidade de tratamento e não precisa ser removido dentro de um longo prazo de operação da estação, ocasionando algumas eventuais remoções mecânicas. A seguir serão descritos os sólidos retirados das ETEs:

- **Material gradeado:** estes materiais podem provocar danos nos equipamentos que dão subsequência as etapas de tratamento de esgoto. De acordo com Araújo (2008), do esgoto bruto pode-se esperar em torno de 30 a 90 litros de sólidos grosseiros por 1000 m<sup>3</sup> de esgoto.
- **Areia:** é separado no desarenador, ele envolve os sólidos inorgânicos mais pesados, que sedimentam com velocidades elevadas.
- **Escuma:** é composta de materiais com a densidade menor que a da água, tais como as graxas, óleos, plásticos, papeis, resíduos de alimentos, entre outros. Este material

é expulso por meio de decantadores primários e secundários e logo em seguida, com os auxílios de bombas, são encaminhados para outros procedimentos de tratamento e disposição final.

## 2.2 LODO DO ESGOTO

O processo biológico de tratamento do esgoto resulta dois tipos de resíduos: o efluente líquido no qual é devolvido ao ambiente natural e o lodo (primário e secundário) que é um material pastoso com grande concentração de micro-organismos, sólidos orgânicos e minerais.

O aproveitamento do lodo é utilizado há bastante tempo em diversos países, sendo o reuso agrícola o método mais empregado. No Brasil, as alternativas de reuso ainda são pouco utilizadas e a destinação mais comum é o aterro sanitário.

O artigo 3º da Resolução (CONAMA, 2006), define critérios e procedimentos para o uso agrícola de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, determina que os originados das ETE's, sejam submetidos a procedimentos de redução de patógenos e de atratividade de vetores, para que possam ser empregados na agricultura.

### 2.2.1 Geração de lodo

O gerenciamento do lodo de esgoto proveniente de estações de tratamento é uma atividade de grande complexidade e alto custo, que se for mal executada, pode comprometer os benefícios ambientais e sanitários esperados destes sistemas (Ludwig, Putti, & Brito, 2000).

O termo “lodo” tem sido utilizado para designar os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos.

Embora o lodo biológico normalmente seja o resíduo produzido em maior quantidade em uma ETE, outros tipos de sólidos são retidos em diferentes operações nas estações de tratamento de esgotos, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Origem dos principais subprodutos sólidos gerados no tratamento de esgotos pais subprodutos sólidos gerados no tratamento de esgotos

<b>Subproduto Sólido Gerado</b>	<b>Origem do Resíduo na ETE</b>
<b>Lodo primário</b>	Tanque séptico e decantador primário
<b>Lodo biológico aeróbio (não estabilizado)</b>	Lodos ativados convencional e reatores aeróbios com biofilme (alta carga)
<b>Lodo biológico aeróbio (estabilizado)</b>	Lodos ativados – aeração prolongada e reatores aeróbios com biofilme (baixa carga)
<b>Lodo biológico aeróbio (estabilizado)</b>	Lagoas de estabilização, Reatores UASB e Filtros anaeróbios.
<b>Lodo químico</b>	Decantador primário, com precipitação química e Lodos ativados com precipitação de fósforo

Fonte: Adaptado Andreoli et al, (2001); Metcalf e Eddy, (2002)

### 2.2.2 Tipos de tratamento de lodo

O tratamento de lodo é parte integrante do processo de tratamento de uma ETE, portanto, o fluxograma de estação apenas pode ser completo se incluir as etapas relacionadas, com o tratamento e disposição final dos subprodutos gerados no processo.

Von Sperling (1996) destaca que os sistemas de tratamento do lodo possibilitam diversas combinações de operações e processos unitários, as principais etapas do tratamento são:

- **Adensamento:** é a remoção de umidade, os processos mais comuns de adensamento são adensamento por gravidade usados em lodos primários, adensamento por flotação e por centrifugas adequados para lodos secundários.
- **Estabilização:** remoção da matéria orgânica, no qual objetiva reduzir a quantidade de patógenos, eliminar os maus odores, este processo é dividido em três etapas, estabilização biológica, estabilização química e estabilização térmica.
- **Condicionamento:** preparação para a desidratação, realizado através da utilização de produtos químicos inorgânicos ou de tratamentos térmicos, os fatores que podem afetar o condicionamento do lodo são físicos, químicos e biológicos.
- **Desidratação:** reduz o volume do lodo retirando o seu teor de água, alguns motivos para esta redução, são o custo de transporte do lodo, facilitar a incineração, redução do mal odor, se for destinado a aterro sanitário diminui a produção de chorume.

- Disposição final: destinação final dos subprodutos, a disposição final ou higienização está ligada diretamente à estabilização, pois dependendo de qual será a sua utilização pode mudar os parâmetros de estabilização.

Segundo Von Sperling (2001), o critério de escolha da disposição final do lodo de esgoto nas estações de tratamento de esgoto, se passa por avaliações de ordem técnicas, econômicas e ambientais, visando no potencial de eficiência em operação e manejo, de redução do impacto ambiental, em obediência às normas e regulamentações.

Tabela 2 Principais alternativas de disposições final do lodo

<b>Alternativa</b>	<b>Resumo da Aplicação</b>
Incineração	Processo de Decomposição térmica via oxidação, onde os sólidos voláteis do lodo são queimados na presença de oxigênio.
Aterro Sanitário	Disposição de resíduos em valas ou trincheiras, compactadas e recobertas com solo até seu total preenchimento.
Landfarming	Áreas de disposição de resíduos onde o substrato orgânico do resíduo é degradado biologicamente na camada superior do solo
Reciclagem Agrícola	Disposição do lodo em solos agrícolas em associação ao plantio de culturas

Fonte: adaptado de Von Sperling (2001)

Diante disso, temos as várias possibilidades de disposições finais do lodo de esgoto gerado pela estação de tratamento como mostrado na Tabela 2.

### **2.2.3 Incineração**

É o procedimento de estabilização do lodo que ocasiona a redução do volume para disposição final, e provoca a destruição das substâncias orgânicas e patógenas de sua composição através da combustão (VON SPERLING, 2001).

### **2.2.4 Aterros sanitários**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 1992), define aterro sanitários de resíduos urbanos como, técnica para disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde e à segurança, reduzindo os impactos ambientais, utilizando-se de método de confinamento dos resíduos sólidos em menor área possível e reduzindo ao menor volume possível, cobrindo-os com uma camada de terra na finalização de cada trabalho.

Segundo Von Sperling (2001), essa modalidade não se preocupa em se recuperar nutrientes ou se reutilizar o lodo, onde fica simplesmente confinado no solo passando por processo de biodegradação anaeróbica, que por consequência gera vários subprodutos, como o metano.

### **2.2.5 Landfarming**

Para esse sistema a utilização do lodo de esgoto tratado não tem fins produtivos, tendo como objetivo apenas a biodegradação do lodo por meio de microrganismos que compõe no perfil arável e a retenção dos metais na camada superficial do solo. Devido as taxas de aplicação do lodo nesse sistema serem bem elevados às da praticada na agricultura, não tem como finalidade o uso agrícola (VON SPERLING, 2001).

### **2.2.6 Reciclagem agrícola do lodo de esgoto**

A resolução nº 375 do CONAMA, de agosto de 2006, estabelece limites de concentração dos componentes, através de cálculos de taxa de aplicabilidade para uso do lodo de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto e seus derivados em atividades agrícolas, sempre observando os benefícios à agricultura e prevenindo risco à saúde pública e meio ambiente. Segundo CONAMA (2006), sua aplicação em solos pode trazer benefícios à agricultura, pois se constitui fonte de matéria orgânica e de nutrientes, diante disto, a aplicação do lodo de esgoto na agricultura é a única alternativa imposta pela resolução nº 375.

De acordo com Bettiol & Camargo (2006), a utilização de esgoto em solo agrícola tem como principais benefícios, a incorporação dos macronutrientes e dos micronutrientes, como o lodo é pobre em K (potássio), há necessidade de adicionar esse elemento no solo, em forma de adubos minerais.

Normalmente o lodo de esgoto leva ao solo quantidades suficientes para as plantações, porém nem sempre de maneira equilibrada, neste sentido deve se conhecer a composição química do lodo, a dinâmica dos nutrientes após a aplicação no solo, para obter-se benefícios agrônômicos, evitando impactos ambientais.

Existem inúmeros processos para o tratamento de esgoto, individuais ou combinados, a decisão pelo processo a ser empregado, deve-se levar em consideração, principalmente, as condições do curso d'água receptor (estudo de autodepuração e os limites definidos pela legislação ambiental) e da característica de esgoto bruto gerado. É necessário certificar-se da eficiência de cada processo unitário e de seu custo, além da disponibilidade de área (Mello, 2007). Com relação à etapa de tratamento do lodo estão compostos na seguinte série, conforme Figura 2 abaixo:

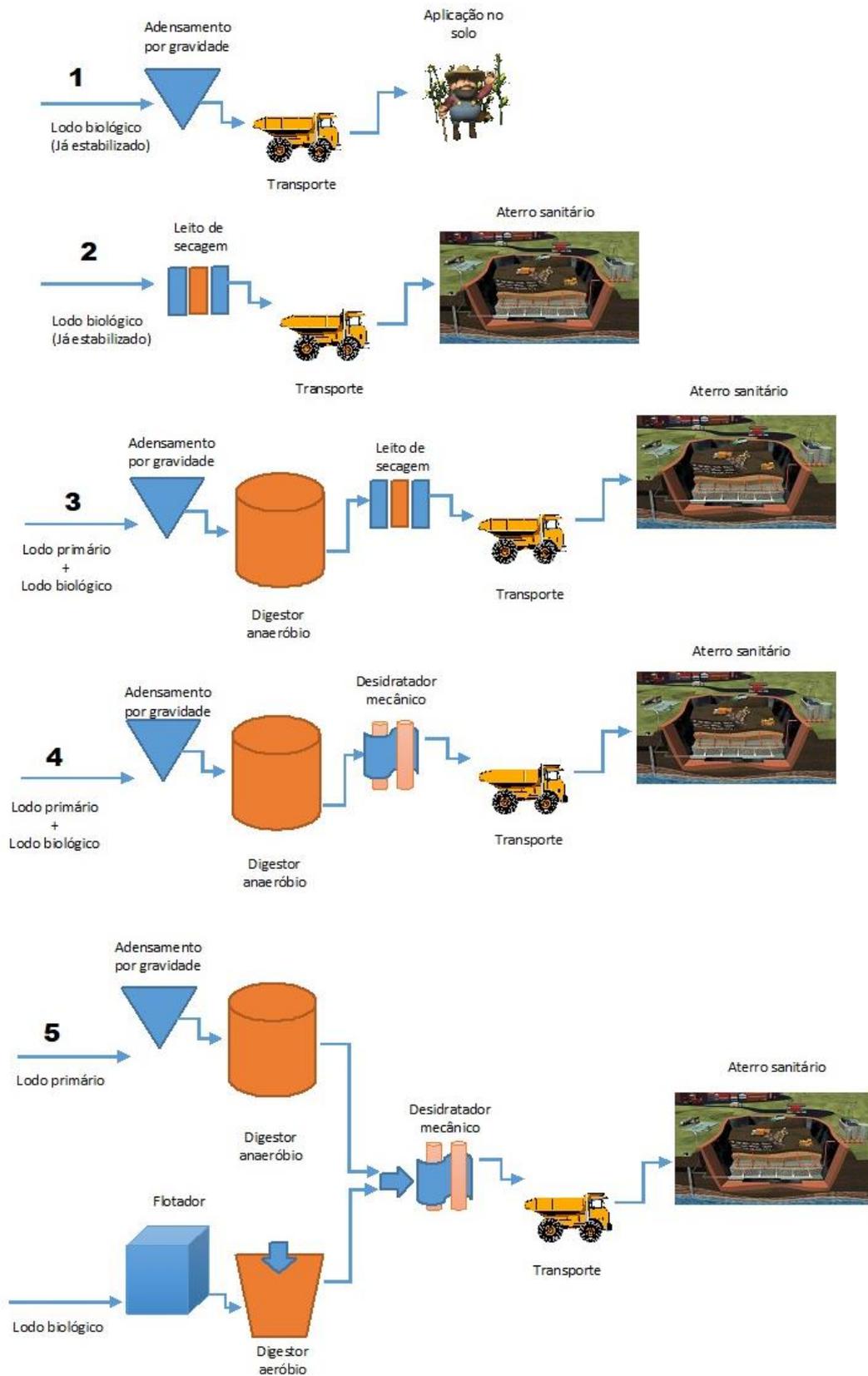


Figura 2. Algumas alternativas para tratamento e disposição do lodo gerado no processo de lodos ativos

Fonte: o autor

### 2.2.7 Propriedades físico-químico e microbiológicas

Segundo Bettiol e Camargo (2006), o lodo de esgoto de uma ETE pode apresentar uma composição variável em relação a outras ETE's. São vários os fatores físicos que fazem esta variação em sua composição, tendo como principais variantes a característica sazonal, a região de coleta, época do ano, entre outros. Fernandes (1999, p. 27) menciona os fatores já descritos anteriormente, como os seguintes:

- A densidade populacional;
- O tipo de urbanização;
- Os hábitos sanitários;
- As condições ambientais;
- O perfil de saúde da comunidade que gera o lodo;

Ainda, Bettiol e Camargo (2006) dizem que o lodo em si apresenta em torno de 40% de matéria orgânica, 4% de nitrogênio, 2% de fósforo e o restante são micro e macro nutrientes como, B, Cu, Fe, Zn, Mo, Cl, Co, Si, Mn, Na, Mg, S e Ca.

No lodo podem ser encontradas diversas substâncias orgânicas, como os macronutrientes, já nas substâncias inorgânicas, encontram-se principalmente areia, sais e metais. Na tabela 3 apresenta a composição química e algumas propriedades típicas do lodo de esgoto:

Tabela 3 Composição química e algumas propriedades típicas do lodo de esgoto

Item	Unidade	Lodo Secundário		Lodo Primário	
		Faixa	Típico	Faixa	Típico
Sólidos Totais	%	2,0-8,0	5,0	6,0-12,0	10,0
Sólidos Voláteis	% de ST	60-80	6,5	30-60	40
Nitrogênio	% de ST	1,5-4,0	2,5	1,6-6,0	3,0
Fósforo	% de ST	0,8-2,8	1,6	1,5-4,0	2,5
Potássio	% de ST	0-1,0	0,4	0-3,0	1,0
pH	-	5,0-8,0	6,0	6,5-7,5	7,0
Alcalinidade	MgCaCO <sub>3</sub> /l	500-1500	600	2500-3500	3000

Fonte: Campos (1999, p. 272) apud Metcalf e Eddy (1991)

### 2.2.8 Metais pesados

Os principais elementos são: Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se e Zn. Estes metais tornam-se tóxicos e perigosos para a saúde humana quando ultrapassam grandes limites de concentrações.

Segundo Andreolli (1999), os metais pesados presentes no lodo podem ter três origens:

- Rejeitos domésticos: canalizações, fezes e água residuárias de lavagem que contém alguns metais.
- Águas pluviais: as águas de escoamento de superfícies metálicas ou das ruas carregam resíduos de metais dispersos na fumaça de veículos.
- Efluentes industriais: são principal fonte de metais no esgoto, contribuindo com certos tipos específicos de cátions de acordo com a atividade de indústria.

A Tabela 4 descreve os efeitos de alguns desses elementos sobre a saúde humana:

Tabela 4 Síntese dos efeitos dos principais metais pesados sobre a saúde humana

<b>Metais Pesados</b>	<b>Efeitos sobre a saúde humana</b>
Cádmio (Cd)	Provoca desordem gastrointestinal grave, bronquite, efizema, anemia e cálculo renal.
Chumbo (Pb)	Provoca cansaço, ligeiros transtornos abdominais, irritabilidade e anemia.
Cromo (Cr)	Em doses baixas causa irritação nas mucosas gastrointestinais, úlcera e inflamação da pele. Em doses altas causa doenças no fígado e nos rins, podendo levar à morte.
Mercúrio (Hg)	Causa transtornos neurológicos e renais, tem efeitos tóxicos nas glândulas sexuais, altera o metabolismo do colesterol e provoca mutações.

Fonte: Barros et al (1995)

Conforme Von Sperling (2001) apesar dos nutrientes existentes no lodo apresentarem diversas vantagens que favorecem o seu uso nas plantas, entretanto também são encontrados em sua composição metais pesados, que se utilizados acima de certos limites, poderá ser tóxico aos organismos do solo, plantas e ao ser humano. Os seus limites de toxicidades são bastante estreitos, o que se implica no acompanhamento constante das quantidades destes elementos aplicados no solo, junto ao biossólido. Os elementos mais encontrados são: As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Mo, Pb, Se, Zn e Co.

Dessa forma é necessário conhecer os efeitos desses poluentes no solo, quando utilizado na agricultura, por isso nos países em que o lodo de esgoto é aplicado na agricultura existem

normas estabelecendo, as concentrações máximas permitidas de metais pesados no lodo e o teor máximo acumulado no solo.

### 2.3 LEGISLAÇÃO

Em 1999 a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambientas (CETESB) trouxe a norma de aplicação de lodos de sistemas de tratamentos biológicos em áreas de atividades agrícolas criando a partir deste, uma série de manuais técnicos, onde neles estabelecem critérios para utilização de sistemas de aplicação de lodos. Correia (2009) diz que, a associação brasileira de normas técnicas (ABNT) reformulou o conjunto de normas brasileiras, padronizando em nível nacional, os procedimentos e diretrizes a serem adotados no gerenciamento dos resíduos sólidos, incluindo neste grupo as diretrizes de classificação e caracterização de resíduos de estações de tratamento de água e esgoto.

Atualmente, temos a disposição a resolução do Conselho do Meio Ambiente, CONAMA, 375/2006 (BRASIL, 2006), impondo critérios e procedimentos para o uso do lodo de esgoto na agricultura.

A norma CETESB (1999) estabelece os limites para taxa máxima de aplicação anual de metais em solo agrícolas tratados, como a carga máxima acumulada de metais pela aplicação do lodo. A Tabela 5 a seguir apresenta os limites de metais pesados no lodo de esgoto aceitáveis:

Tabela 5. Concentração de limites de metais pesados no lodo de esgoto aceitáveis para uso agrícola

<b>Metal pesado</b>	<b>Concentração máxima permitida no (mg kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Taxa de aplicação anual máxima (kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>Carga máxima acumulada de metais pela aplicação do (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
<b>Arsênio</b>	75	2,0	41
<b>Cádmio</b>	85	1,9	39
<b>Cobre</b>	4.300	75	1.500
<b>Chumbo</b>	840	15	300
<b>Mercúrio</b>	57	0,85	17
<b>Molibdênio</b>	75	-	-
<b>Níquel</b>	420	21	420
<b>Selênio</b>	100	5,0	100
<b>Zinco</b>	7.500	140	2.800

Fonte: CETESB(1999)

## 2.4 PROCESSO DE TRATAMENTO NEREDA – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO RIO CLARO, SÃO PAULO

O sistema de tratamento será composto por unidades adequadas para tratar as fases líquidas e sólidas do esgoto bruto. Em apoio a estas unidades principais, haverá na estação unidades auxiliares que fornecerão os principais insumos para o processo (produtos químicos, água, ar e energia). As unidades responsáveis em realizar o tratamento da fase líquida estão descritas no decorrer deste capítulo.

### 2.4.1 Detalhamento das etapas do processo

Na Figura 3 abaixo temos uma simplificação de todo o processo da Estação Lontra

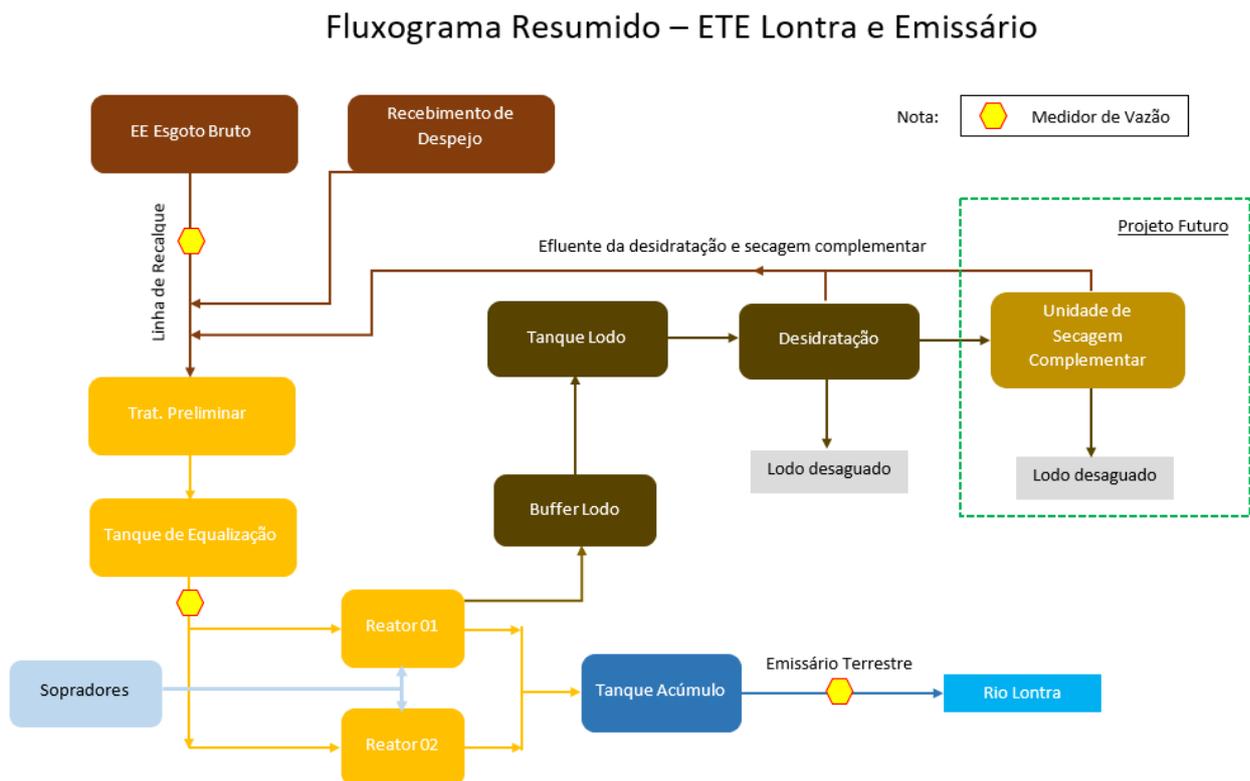


Figura 3 Fluxograma de Tratamento Fase Líquida e Fase Sólida

Fonte: BRK Ambiental (2018)

O esgoto chegará na ETE Lontra através de uma linha recalque de aproximadamente 7,0 km, proveniente da Estação Elevatória de Esgoto – EEEB

#### **2.4.2 Tratamento preliminar compacto**

O tratamento preliminar destina-se principalmente a remoção de sólidos grosseiros, areia, óleos e graxa, onde os mecanismos básicos de remoção são de ordem física. As unidades responsáveis pelo tratamento preliminar são apresentadas a seguir.

- Peneiramento
- Caixa de remoção de areia e gordura

#### **2.4.3 Posto de recebimento de despejos**

A unidade será composta por um canal com gradeamento grosseiro e calha Parshall (para medição de vazão) e dois tanques em paralelo, para regularização de vazão e equalização dos despejos.

#### **2.4.4 Tanque de equalização**

O tanque de equalização se destina a regularizar o fluxo e garantir a homogeneidade do efluente que irá alimentar os reatores biológicos.

#### **2.4.5 Tratamento biológico Nereda**

Tem por objetivo realizar as reações biológicas (anaeróbias e aeróbias) para o tratamento do esgoto bruto. Na tecnologia Nereda os tratamentos primários, secundários e terciários, ocorrem em um único reator, sendo este um dos diferenciais tecnológicos. Mas para isso, além das unidades principais (reatores) é necessário a instalação de unidades complementares (aeração, tanque de lodo e produtos químicos). As unidades principais e complementares, responsáveis pelo tratamento biológico são apresentadas a seguir.

- **Reatores 1 e 2:**

Construídos em concreto armado, serão responsáveis pelo tratamento do esgoto. Deverão conter tubulações internas de distribuição de ar, em aço inox 304, tubulação de distribuição do afluente em aço inox 304 e PEAD, tubulações de coleta do lodo sedimentado em PRFV, calhas coletoras de efluente em aço inox 304, assim como malha de difusores para aeração do meio líquido em membranas de EPDM. Para controle do processo, estas unidades serão contempladas com sondas de monitoramento de parâmetros específicos como Nitrato, Fósforo, pH, Sólidos Suspensos, Temperatura, condutividade, entre outras, intertravadas com a lógica de funcionamento do pré tratamento, do tanque de equalização de esgoto bruto e do

Tanque de Acumulo e Regularização de Vazão. Nestes reatores ocorrerão as “transformações” do esgoto bruto em efluente tratado, com possibilidade reuso o descarte.

- **Tanque de Equalização do Lodo:**

Construído em concreto armado terá a função de recebimento do lodo em “excesso” do processo, além de regularizar a vazão de lodo para adensamento e desidratação posteriormente. A concentração do lodo neste tanque está em 0,8%.

- **Elevatório de Lodo 1:**

Será provido de 02 bombas centrífugas (2O + 0Reserva), com capacidade de 300m<sup>3</sup>/h cada. Esta unidade irá recalcar o lodo para o sistema de desidratação da estação e algumas etapas, retornará com o sobrenadante para o tanque de equalização, na entrada da estação.

#### **2.4.6 Tanque de acumulo e regularização de vazão**

Será construído em concreto armado, terá a função de regularizar o fluxo do efluente a ser descartado, via emissário terrestre. É deste tanque que as elevatórias da ETE de Reuso farão a sucção do efluente a ser filtrado e reutilizado conforme citado anteriormente.

#### **2.4.7 Emissário terrestre**

O emissário terá extensão de aproximadamente 1,8 Km e lançará o efluente tratado no rio Lontra, sob as coordenadas geográficas 799.499,00 mE e 9.202.075.00 mS (Zona 22M). Será construído com tubulação em PEAD de 800 mm de diâmetro. O controle da vazão será feito através de uma válvula limitadora automática, instalada na tubulação (emissário), similar ao modelo 770-U Série 700 da Bermad. Nesta tubulação também será instalado um medidor de vazão do tipo eletromagnético, que permitirá o controle de toda operação de regularização.

#### **2.4.8 Desaguamento de Lodo**

A ETE possui uma única fonte de geração de lodo (lodo dos reatores biológicos). O “excesso” de lodo produzido no tratamento biológico Nereda é armazenado no *buffer* de lodo do sistema e posteriormente bombeado para o tanque do sistema de desidratação.

O tratamento biológico deverá produzir cerca de 1.105m<sup>3</sup> de lodo por dia, equivalente a 8.820kg SST.

A concentração de sólidos totais neste lodo situa-se na faixa de 0,8% devendo atingir valores da ordem de 20% após a desidratação mecanizada.

- **Tanque de Lodo:**

Com volume total de 1.312m<sup>3</sup>, sendo 207m<sup>3</sup> de volume morto (para permitir equalização mínima). O Tanque será dividido em duas câmaras, cada uma com 11,75m de largura (formato quadrado), com altura total de 5,50m, sendo 4,0m de altura útil.

- **Elevatório de Lodo 2:**

Será composto por 02 bombas de deslocamento positivo (1O + 1Reserva) com vazão de 60 m<sup>3</sup>/h cada para alimentação do sistema de desidratação.

- **Equipamento de Desidratação:**

O sistema será composto por equipamentos de desidratação mecanizada de baixa rotação (1O + 1Reserva) do tipo prensa parafuso. Cada equipamento terá capacidade de desaguamento de cerca de 55m<sup>3</sup>/h, com taxa de captura de 95%, mediante uso de polímero como auxiliar, na proporção de 8g/kg de lodo seco. Ficarão instalados no segundo pavimento do prédio, de modo a descartar o lodo desidratado nas caçambas logo abaixo. As caçambas de 17 m<sup>3</sup>, ao estarem cheias, serão transportadas por caminhão apropriado até a Unidade de Secagem Complementar. O lodo saíra da unidade de desidratação com teor de umidade de 80%. O efluente oriundo da desidratação retornará para o início do tratamento biológico, onde se unirá ao esgoto bruto de chegada. A vazão inicial estimada é 24,9 m<sup>3</sup>/h (ano 2020), para a operação do sistema durante 20 horas por dia, chegando a 56 m<sup>3</sup>/h no final de plano (ano 2047).

- **Unidade de Secagem Complementar (*Projeto Futuro*):**

Unidade complementar que será implantada, após a partida da estação. A área será coberta por lona translúcida, tipo estufa agrícola, para secagem adicional do lodo desidratado no processo mecanizado supracitado. A unidade terá área de 20 m x 60 m (L x C). Após a secagem solar, o lodo é coletado e encaminhado para aterro sanitário através de caminhão. O efluente gerado nesta secagem será direcionado para o sistema de DFU e posteriormente enviado para a entrada da estação, se unindo às demais correntes de entrada.

#### **2.4.9 Descarga de fundo de unidades**

A unidade será composta por um tanque enterrado, construído em concreto armado com com estimado de 30 m<sup>3</sup>. Estarão instaladas 02 bombas submersíveis, no conceito (1O + 1Reserva) para envio do efluente ao tratamento preliminar ou ao tanque de lodo do sistema de desidratação. As bombas serão de capacidade de 45 m<sup>3</sup>/h.

#### **2.4.10 Atividades agrícola da região de Araguaína**

Araguaína possui duas modalidades de produção agrícolas, que são separadas por lavouras temporárias e lavouras permanentes, como demonstrados nas tabelas 6 e 7 a seguir.

Tabela 6 Produção agrícola - Lavoura temporária – Ano 2017

<b>Cultura</b>	<b>Quantidade produzida (t)</b>	<b>Área plantada (ha)</b>	<b>Área colhida (ha)</b>	<b>Rendimento médio (kg/ha)</b>
Arroz	522	79	79	6.608
Cana de açúcar	600	20	20	30.000
Feijão	35	60	60	583
Mandioca	1.980	110	110	18.000
Melancia	200	10	10	20.000
Milho	5.088	1.000	1.000	5.088
Soja	12.100	5.500	5.500	2.200
<b>Total</b>	<b>20525</b>	<b>6.779</b>	<b>6.779</b>	<b>-</b>

Fonte: IBGE (2018)

Tabela 7 Produção agrícola - Lavoura permanente – Ano 2017

<b>Cultura</b>	<b>Quantidade produzida (t)</b>	<b>Área plantada (ha)</b>	<b>Área colhida (ha)</b>	<b>Rendimento médio (kg/ha)</b>
Banana	105	15	15	7.000
Coco-da-baía	1.287	90	90	14.300
Limão	54	3	3	18.000
<b>Total</b>	<b>1446</b>	<b>108</b>	<b>108</b>	<b>-</b>

Fonte: IBGE (2018)



viabilidade econômica, g) estimativa de volume produzido de lodo, e) área de atendimento do lodo como fertilizante, conforme a Figura 5 abaixo:

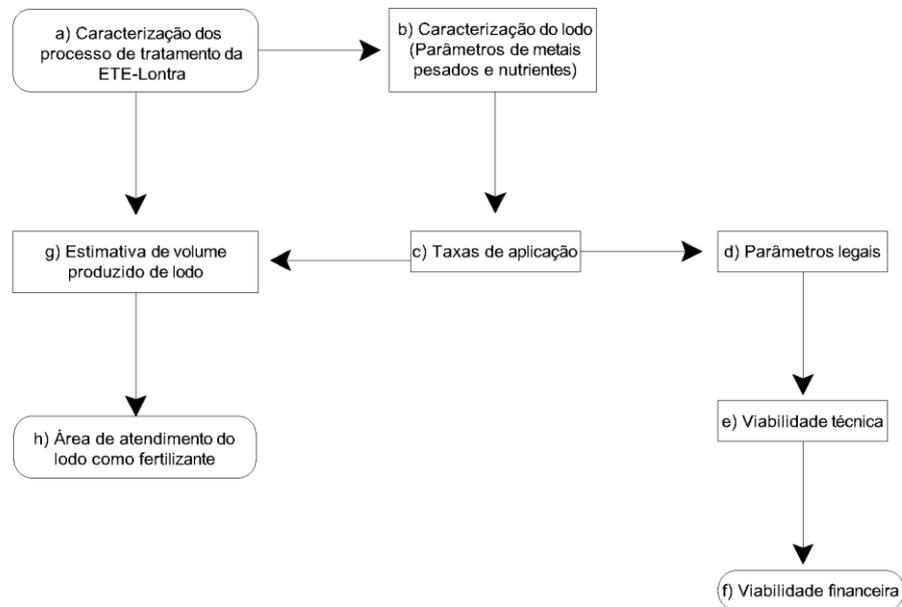


Figura 5 Fluxograma

Fonte: Autor

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LODO

#### 3.1.1 Parâmetros do metais pesados (mg/kg de lodo seco)

Mesmo que pequena a concentração de metais pesados no lodo de esgoto de estação de tratamento de esgoto doméstico, é essencial sua verificação. Essa identificação foi realizada por meio de análises do lodo feita pela própria unidade tratadora, a fim de obter parâmetros quantitativos de cada componente do lodo em estudo.

#### 3.1.2 Concentração dos nutrientes do lodo (%) e parâmetros microbiológicos

Para tornar um estudo padrão os dados de nutrientes e microbiológicos serão analisados da mesma amostra ao estudado no metais pesados, se nelas houver.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

Nesta etapa teve como objetivo pesquisar através de sites de órgãos como Embrapa a predominância tipológica do solo na região a ser estudada, assim como uso de ferramentas de auxílio como o QGIS.

### 3.2.1 Propriedades físicas e químicas do solos

Após obtidos os dados do item anterior e através de pesquisas bibliográficas, foi se identificadas as propriedades físicas e químicas do solo obtendo assim parâmetros quantitativos apenas para que seja de conhecimento os principais constituintes do solo, não levando em consideração sua quantidade de nutrientes, pois, como se trata de um estudo generalizado e o solo possui características diferentes em cada porção terrestre.

## 3.3 TAXAS DE APLICAÇÃO

### 3.3.1 Taxa de aplicação dos nutrientes

CONAMA (2006) cita que a aplicação de lodo em t/ha não deve exceder o quociente entre a quantidade de nutriente recomendado para a cultura a que se a destinar (kg/ha) e o teor de nutriente disponível no lodo NDisp (kg/t).

$$\text{Taxa de aplicação (t/ha)} = \frac{\text{N recomendado (kg/ha)}}{\text{Ndisp (kg/t)}} \quad (1)$$

Onde o “N recomendado (kg/ha)” é a quantidade necessária de nutriente para o solo, e “Ndisp (kg/t)” é a quantidade de nutriente disponível na amostra do lodo.

Esse cálculo foi feito para todos os nutrientes encontrados no lodo a ser estudado, respeitando a quantidade necessária de cada um dos nutrientes. Em Raij et al (1996), tem-se como uma estimativa de necessidade de nutriente por solos característicos do cerrado os seguintes parâmetros apresentados na Tabela 8 abaixo.

Tabela 8. Quantidade necessária de cada nutriente N,P e K

	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
<b>QUANTIDADE (kg/ha)</b>	150	48,80	58,80

Fonte: Raij et al. 1996

### 3.3.2 Metais pesados

Após calculadas as taxas de aplicação dos nutrientes, foram confrontados os parâmetros encontrados com os limites pré-estabelecidos na Tabela 9. CETESB (1999) apresenta limites de concentração permitida da composição do lodo de cada elemento de sua para incorporação:

Tabela 9 Concentrações limites de metais no lodo

<b>Metal</b>	<b>Concentração máxima permitida no lodo (base seca) mg/kg</b>
Arsênio	75
Cádmio	85
Cobre	4300
Chumbo	840
Mercúrio	57
Molibdênio	75
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	7500

Fonte: Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo (CETESB 1999)

### 3.4 ESTIMATIVA DE VOLUME PRODUZIDO DE LODO

Por meio dos informes da caracterização e tecnologia de tratamento, foi identificado a estimativa de produção de lodo diária que em seguida deverá ser transformada em anual para que se possa utilizar-se como parâmetro para as demais partes desse estudo.

#### 3.4.1 Área de atendimento do lodo como fertilizante

Este item teve como objetivo quantificar uma área utilizando-se do parâmetro de taxa de aplicação dos macronutrientes e da estimativa de produção do lodo, por meio de pesquisas feitas no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) identificando as atividades agrícolas e suas produções quantificando as áreas utilizadas para plantação.

### 3.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA

Nesta análise verificou-se se o lodo encontra-se dentro dos limites legais para sua incorporação no solo, e se somente o lodo é suficiente para essa fertilização ou se serão necessários complementação com fertilizantes químicos.

### 3.6 ANÁLISE DA VIABILIDADE FINANCEIRA DO LODO

A partir dos resultados, considerando-se a sua viabilidade técnica, obter-se junto à BRK Ambiental o preço para dispor o lodo para atividades agrícolas. E feita uma cotação de mercado com fertilizantes químicos, visando nos macronutrientes presentes no lodo em estudo, para essa cotação será considerada um tipo de fertilizante para cada nutriente, um para cada tipo de nutriente. Para se chegar em um preço será considerada as quantidades calculadas, multiplicando a quantidade em quilogramas (kg) pelo preço por quilo. Finalizando-se com uma

tabela comparativa do lodo com o preço da somatória dos fertilizantes químicos para que seja comparado como um só produto, e de sua complementação caso seja necessária.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LODO

Melo & Marques, 2000 afirma que a composição do esgoto varia em relação ao local em que se origina, se o mesmo é proveniente de área típica residencial ou industrial, e da época do ano entre diversos fatores. Estudo desenvolvido por Pereira, A.C.A. & Garcia, M.L (2017), demonstra as características químicas de amostras de lodo de estação de tratamento de esgoto, em que, seu possui nível de tratamento secundário, como mostra a Tabela 10 a seguir.

Tabela 10 Análise do lodo da estação de tratamento Rio Claro-SP, por processo de tratamento Nereda.

<b>Parâmetro</b>	<b>Unid</b>	<b>LQ</b>	<b>LQA</b>	<b>Resultado</b>
<b>pH</b>	NA	Faixa: 1 - 13	Faixa: 1- 13	<b>6,8 medido em água à 20,5°C</b>
<b>Alumínio</b>	mg/kg	2,5	16,689	<b>4873</b>
<b>Arsênio</b>	mg/kg	0,25	1,669	<b>1,7</b>
<b>Bário</b>	mg/kg	0,25	1,669	<b>60,5</b>
<b>Cádmio</b>	mg/kg	0,15	1,001	<b>&lt; 1,001</b>
<b>Chumbo</b>	mg/kg	0,25	1,669	<b>18,11</b>
<b>Cobre</b>	mg/kg	0,25	1,669	<b>99</b>
<b>Cromo</b>	mg/kg	0,25	1,669	<b>27,51</b>
<b>Enxofre Diluição: 200</b>	mg/kg	0,5	667,557	<b>7163</b>
<b>Ferro</b>	mg/kg	2,5	16,689	<b>6103</b>
<b>Magnésio</b>	mg/kg	50	333,778	<b>2046</b>
<b>Manganês</b>	mg/kg	0,25	1,669	<b>61,65</b>
<b>Merúrio</b>	mg/kg	0,01	0,067	<b>&lt; 0,067</b>
<b>Molibdênio</b>	mg/kg	0,25	1,669	<b>2,31</b>
<b>Niquel</b>	mg/kg	0,25	1,669	<b>9,92</b>
<b>Potássio</b>	mg/kg	50	333,778	<b>9626</b>
<b>Selênio</b>	mg/kg	0,25	1,669	<b>&lt; 1,669</b>
<b>Sódio</b>	mg/kg	50	333,778	<b>1188</b>
<b>Sólidos totais</b>	%	0,13	0,13	<b>15,81</b>
<b>Zinco</b>	mg/kg	0,25	1,669	<b>474</b>
<b>Umidade</b>	%	1	1	<b>83,33</b>
<b>Sólidos voláteis</b>	%	0,12	0,12	<b>77,61</b>
<b>Nitrogênio Kjeldahl</b>	mgNH <sub>3</sub> -N/kg	17,5	116,8	<b>34286</b>
<b>Fósforo Diluição: 200</b>	mg/kg	0,25	333,78	<b>14188</b>

Unid: unidade; LQ: limite de quantificação; LQA: limite de quantificação da amostra;

Fonte: Adaptado BRK (2018)

Como a estação de tratamento não está consolidada no local de estudo, foi utilizado dados do lodo da Tabela 8 acima, sendo somente utilizado os macronutrientes N (nitrogênio), P (fósforo) e K (potássio).

#### 4.2 SOLO DA REGIÃO

A região de estudo possui pedologias variadas, mas com grande predominância do solo Argissolo, na Figura 6 a seguir mostra as características pedológicas da região.

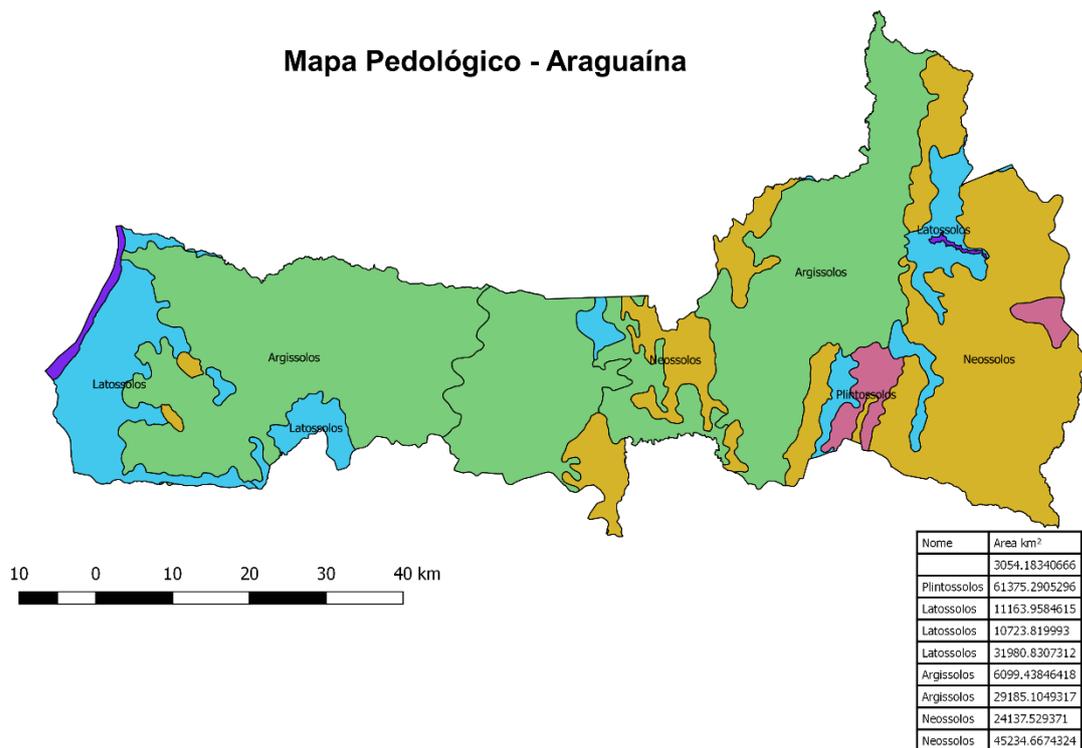


Figura 6 Mapa pedológico de Araguaína-TO  
Fonte: QGIS (2018)

##### 4.2.1 Características químicas do solo dominante

Segundo Samuel B. V. Gomes et al (2007) o solo Argissolo apresentou as seguintes características físicas e químicas, como demonstrado na Tabela 11.

Tabela 11 Características físicas e químicas do solo

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
<b>pH (água 1:2,5)<sup>1</sup></b>	6,0
<b>P (mg.dm<sup>-3</sup>)<sup>2</sup></b>	26,52
<b>K (cmolc dm<sup>-3</sup>)<sup>1</sup></b>	0,59
<b>Na (cmolc dm<sup>-3</sup>)<sup>1</sup></b>	0,09
<b>Ca (cmolc dm<sup>-3</sup>)<sup>1</sup></b>	1,72
<b>Mg (cmolc dm<sup>-3</sup>)<sup>1</sup></b>	3,00
<b>Al (cmolc dm<sup>-3</sup>)<sup>1</sup></b>	0,0
<b>C.O. (g kg<sup>-1</sup>)<sup>1</sup></b>	11,82
<b>Fe (mg.dm<sup>-3</sup>)<sup>3</sup></b>	76,9
<b>Cu (mg.dm<sup>-3</sup>)<sup>3</sup></b>	nd
<b>Zn (mg.dm<sup>-3</sup>)<sup>3</sup></b>	1,0
<b>Mn (mg.dm<sup>-3</sup>)<sup>3</sup></b>	4,4
<b>Pb (mg.dm<sup>-3</sup>)<sup>3</sup></b>	nd
<b>Cd (mg.dm<sup>-3</sup>)<sup>3</sup></b>	nd
<b>Areia (dag.kg<sup>-1</sup>)<sup>1</sup></b>	76,12
<b>Silte (dag.kg<sup>-1</sup>)<sup>1</sup></b>	17,12
<b>Argila (dag.kg<sup>-1</sup>)<sup>1</sup></b>	6,82

<sup>1</sup>EMBRAPA (1999); <sup>2</sup> De Felippo & Ribeiro (1997); <sup>3</sup> Extraído por DTPA (Lindsay & Norvell, 1978); nd – não detectado

Fonte: Samuel B. V. Gomes et al (2007)

Sendo utilizado por ele um estudo bibliográfico de vários autores para formar assim uma tabela mais completa em características dos elementos encontrados.

O conteúdo apresentado na Tabela 11 demonstra a composição química e física de um solo denominado Argissolo, utilizado como base para identificação de seus elementos existentes, foi possível identificar que nela está presente potássio, e fosforo, apresentando um déficit de nitrogênio. E em relação aos metais somente há zinco.

Já Romulo S. C. Menezes & Ignácio H. Salcedo (2007) em seu estudo traz que um Neossolo possui as seguintes características: Nitrogênio (N); Fosforo (P); Cálcio (Ca); Magnésio (Mg); Potássio (k); Sódio (Na). O solo Argissolo e Neossolo apresentado possui

composições diferentes, onde em um há nitrogênio, e o outro não. A caracterização do solo difere em determinadas regiões, mesmo sendo da mesma classificação pedológica.

#### 4.3 TAXAS DE APLICAÇÃO MACRONUTRIENTES (N,P,K)

Para cálculo de taxa de aplicação foi utilizado parâmetros de quantidade necessária de cada nutriente segundo Raij et al (1996).

##### 4.3.1 Nitrogênio

Para cálculo teve-se o resultados das amostra, para o nitrogênio obteve-se 34.286 mg/kg, que ficou 34,29 kg/t depois de convertido. Substituindo os valores na equação (1) obtivemos o valor de 4,37 t/ha.

##### 4.3.2 Fósforo

Para cálculo teve-se o resultados das amostra, para o fósforo obteve-se 14.188 mg/kg, que ficou 14,19 kg/t depois de convertido. Substituindo os valores na equação (1) obtivemos o valor de 3,44 t/ha.

##### 4.3.3 Potássio

Para cálculo teve-se a média das amostra, para o Potássio obteve-se 9.626 mg/kg, que ficou 9,63 kg/t depois de convertido. Substituindo os valores na equação (1) obtivemos o valor de 6,11 t/ha.

Após realizado os cálculos, apesar de não diferirem muito entre si, tomou-se como base para os demais, denominado Q.ÚTIL (quantidade útil) o menor valor encontrado acima, que foi igual a 3,44 t/ha. Nesse valor adotado é que foi utilizado como referência para os demais processos deste trabalho. E na Tabela 12 a seguir, temos resumo dos quantitativos.

Tabela 12 Resumo de quantidades de lodo

Nutrientes	Necessidade <sup>1</sup> (kg/ha)	Necessidade calculada <sup>2</sup> (t/ha)	Quantidade a ser aplicada (t/ha)	Déficit <sup>3</sup> (t/ha)
<b>Nitrogênio</b>	150	4,38	3,44	0,94
<b>Fósforo</b>	48,8	3,44	3,44	-
<b>Potássio</b>	58,8	6,11	3,44	2,67

<sup>1</sup> Dados da Tabela 6 “Quantidade necessária de cada nutriente N,P e K”;

<sup>2</sup> Necessidade calculada a partir dos dados da amostra estudada;

<sup>3</sup> Déficit de nutrientes;

Fonte: Autor (2018)

A taxa de aplicação calculada apresentou valores distintos dentre os nutriente, mas como o lodo é um material homogêneo, foi utilizado 3,44 t/ha, valor de concentração de fósforo para

que não exceda quaisquer limites dos nutrientes calculados na tabela. Com isso gera um déficit em relação a nitrogênio e potássio, sendo necessária complementação com fertilizantes químicos.

#### 4.4 METAIS PESADOS

Mesmo que muito baixo para um lodo proveniente de esgoto doméstico a verificação de metais pesados é indispensável visto que o solo apresenta índices de alguns deles em suas características químicas.

Foi observado que a concentração da amostra apresentada não ultrapassou a concentração de base seca determinado pelo Conama 375/2006.

Tabela 13 Comparativo com os limites máximos

Parâmetros	Unidade	Resultados	Limite máximo Resolução CONAMA nº 375/06
<b>Arsênio</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	1,7	41
<b>Bário</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	60,5	1300
<b>Cádmio</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	<1,001	39
<b>Chumbo</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	18,11	300
<b>Cobre</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	99	1500
<b>Mercúrio</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	<0,067	17
<b>Molibdênio</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	2,31	50
<b>Níque</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	9,92	420
<b>Selênio</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	<1,669	100
<b>Zinco</b>	mg.kg <sup>-1</sup>	474	2800

Fonte: Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo (CETESB 1999); Pereira, A.C.A. & Garcia, M.L (2017)

Observou-se que os valores das amostras estão muito inferiores aos limites impostos pela legislação comparada na Tabela 13 acima. Podendo ser dito que nesse ponto o lodo é tecnicamente viável por ser muito pobre em metais pesados.

#### 4.5 ESTIMATIVA DE VOLUME PRODUZIDO DE LODO

No processo da ETE-Lontra o lodo é proveniente dos reatores biológicos pelo tratamento biológico Nereda. O tratamento biológico deverá produzir cerca de 1.105 m<sup>3</sup> de lodo/dia, equivalente a 8.820 kg SST. A concentração de sólidos totais neste lodo situa-se na faixa de 0,8% devendo atingir valores da ordem de 20% após a desidratação mecanizada.

Após a centrifugação, o lodo passará por uma estufa de secagem que o deixará com 60% de sólidos, nesse processo haverá redução de líquidos deixando o lodo com apenas 40% aquoso,

em que ficará com aspecto pastoso, em consequência desta desidratação o volume de lodo em relação a descarga inicial reduz para 14,7m<sup>3</sup>. Considerando que 1m<sup>3</sup> equivale a uma t(tonelada) temos uma produção de 14,7 t lodo/dia.

#### **4.5.1 Produção anual**

Para critério de verificação de demanda foi avaliado a quantidade de lodo produzida no ano. Considerando o ano com 365 dias, temos, a estação passará a produzir 5365,5 t de lodo por ano.

#### **4.5.2 Atividades agrícola da região de Araguaína**

De acordo com pesquisas feita no site do IBGE com dados do ano de 2017 Araguaína possui duas modalidades de produção agrícolas, que são separadas por lavouras temporárias e lavouras permanentes, em que foram plantadas e colhidas área equivalentes iguais, totalizando em uma produção de 6.887 ha.

### **4.6 VIABILIDADE TÉCNICA**

#### **4.6.1 Análise de limites de metais pesados**

Na análise de metais pesados na Tabela 13, temos que, a concentração está a baixo do limite estipulado, nesse parâmetro podemos concluir que o lodo não trará nenhuma implicação ao meio ambiente em que for futuramente incorporado. Mas para que seja em um contexto geral tecnicamente viável foi analisado as; área de atendimento do lodo como fertilizante.

#### **4.6.2 Atendimento à demanda de fertilizantes**

Área fertilizada tido como referência o ano de 2017 foi 6.887 ha. No item 4.3 foi estimado que a quantidade necessária de lodo para que atenda o requisitos de adubação de macronutrientes foi de 3,44 t/ha. Com isso foi possível obter as seguintes informações

- Para atender a demanda temos que:  
A necessidade de 3,44 t/ha x 6.887 ha, onde temos que, para atender a região seria preciso 23.691,28 t de lodo/ano.

Logo podemos concluir que o lodo produzido pela ETE-Lontra não será suficiente para suprir a demanda de área a ser fertilizada, mas, toda sua produção é utilizada.

### **4.7 VIABILIDADE FINANCEIRA DO LODO**

Na viabilidade econômica foi avaliado o valor do lodo com o valor da somatória dos fertilizantes químicos

#### 4.7.1 Custo dos fertilizantes químicos

Nesse cálculo foi utilizado dados da tabela 6 “quantidade necessária de cada nutriente” com a concentração imposta para cada nutriente.

➤ Nitrogênio

Como fonte de nitrogênio utilizou-se a ureia, que possui concentração de 45,00% de N e custo de R\$ 3,25 o kg, e necessária 150 kg/ha. Seu valor calculado foi de R\$ 1083,64 reais/ha.

➤ Fósforo

Como fonte de fósforo utilizou-se o superfosfato simples, que possui concentração de 17,00% de P e custa R\$ 2,00 o kg, e necessária 48,80 kg/ha. Seu valor calculado foi de R\$ 574,12 reais/ha.

➤ Potássio

Como fonte de potássio, utilizou-se o cloreto de potássio, que possui concentração de 57,80% de K e custa R\$ 3,00 reais o kg, e necessária 58,80 kg/ha. Seu valor calculado foi de R\$ 305,19 reais/ha.

Para meio de comparação entre o lodo e os fertilizantes químicos foi-se somados os elementos nitrogênio, fósforo e potássio, para que fosse denominado um único produto, onde obtemos o seguinte valor.

$$\sum 1.083,64 + 574,12 + 305,19 = 1.962,64 \text{ Reais}$$

#### 4.7.2 Custo do lodo

No item 4.4 temos a quantidade 6,2 ton/ha de lodo necessária para atender na concentração dos nutrientes imposto na tabela 6, com isso podemos calcular o preço do lodo com os seguintes dados:

- Segundo dados fornecidos pela BRK, o Custo do lodo disposto em aterro = R\$ 133,52/t lodo disposto (admitindo 1ton = m<sup>3</sup>)

Com isso obtemos o seguinte valor:

$$3,44 \text{ t/ha} \times 133,52 \text{ R\$/t} = 459,30 \text{ reais/ha}$$

### 4.7.3 Custo do lodo + Complementação com fertilizantes químicos

Como já calculados acima temos o custo do lodo de R\$ 459,30/ha. Para complementação temos os seguintes déficit; 32,23 kg/ha de Nitrogênio, e 25,71 kg/ha de Potássio.

Para suprir esse déficit é necessário um custo de: R\$232,77/ha de nitrogênio; e R\$ 133,44/ha de potássio.

Assim obtemos:

$$\sum 459,30 + 232,77 + 133,44 = 825,51 \text{ Reais}$$

Na Tabela 14 abaixo temos o resumo financeiro dos tipos de dosagens:

Tabela 14 Resumo de custos

<b>Tipos de custos</b>	<b>Custos (R\$)</b>
<b>Custo dos fertilizantes químicos</b>	1962,64
<b>Custo do lodo disposto em aterro</b>	459,30
<b>Custo do lodo + complemento com fertilizantes químicos</b>	825,51

Fonte: Autor (2018)

Na Tabela 14 a cima temos o comparativo do tipo de fertilização, observe-se que o custo dos fertilizantes químicos é o mais alto, o custo do lodo é o mais baixo, mais em relação a utilizar o lodo com o complemento químicos para contornar o déficit de nutrientes não alcançados só com o lodo, o custo ficou em R\$ 825,51.

## 5 CONCLUSÃO

Com este trabalho obteve-se resultados que indicam que a utilização do lodo de esgoto como fertilizante é possível devido a suas características propícias às atividades agrícolas, se mostrando como mais um meio de disposição final, em que se aproveita todo o lodo que vier a ser gerado.

Foram obtidos análises junto a BRK Ambiental da ETE de Rio Claro que possui mesmo tratamento da que será implantada na ETE-Lontra, quantificando os nutrientes e metais pesados e calculando a taxa de aplicação nos solos da região com características de cerrado. E também mensurados; a quantidade produzida de lodo considerando 60% de sólidos; as atividades agrícolas da região. Assim, calculou-se que a quantidade de lodo produzido não é suficiente para atender todas as áreas de plantações, mas que todo o lodo produzido é 100% utilizado.

Após analisar o lodo foi possível notar que a concentração dos metais pesados apresentou concentrações muito inferiores ao estabelecidos por norma da CETESB. Isso se dá devido não existir contribuição de esgotos industriais, e devido ao seu processo de tratamento, se tornando assim tecnicamente viável.

Logo, conforme apresentados nos resultados, a quantidade máxima de lodo que pode ser incorporado no solo é de 3,44 t/ha. Desta forma, ao utilizar como parâmetro a quantidade máxima de 3,44 t/ha que resulta do limite máximo de fósforo por hectare, fez com que houvesse complementação de Nitrogênio e Potássio com fertilizantes químicos.

O uso do lodo como fertilizante agrícola em relação aos fertilizantes químicos, gera uma economia de R\$ 1.503,34 em custo, sem considerar o transporte. O custo do lodo mais complementação para atender a necessidade do solo foi de R\$ 825,51, que em comparação com em uma fertilização só com fertilizantes químicos geram uma economia de R\$ 1.137,13 podemos concluir que há viabilidade técnica e econômica do uso e incorporação do lodo em atividades agrícolas, mesmo quando necessário complementação fertilizantes químicos convencionais.

## 6 REFERÊNCIAS

ANDREOLI, C. V., VON SPERLING, M., FERNANDES, F. **Lodo de esgoto: Tratamento e disposição final**. Rio de Janeiro: Editora ABES, 2001. 483 p.

ARAÚJO, Franciulli S. D. **Influência do lodo de ETE na massa para fábrica de cerâmica vermelha**. 2008. 91 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, NATAL, RN.

BARROS, R.T.V et al.. **Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios**. vl. 2. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221 p.

BETTIOL, Wagner; CAMARGO, Otávio A. **de Esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura**. São Paulo: EMBRAPA. 2006. 350 p. BRASIL. *Resolução n. 375/2006*. Critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. 2006.

CAMPOS, J. R. (coordenador). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p.

CETESB. (1999). **Aplicação de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - critérios para projeto e operação**. *Norma P 4.230*, (São Paulo), 32–35.

CONAMA, C. N. D. M. A. (2006). **Resolução CONAMA 375/2006**. *Diário Oficial Da União*, 1–32. CORREIA, J. E. **Caracterização Físico-química e microbiológica do lodo gerado na estação de tratamento de esgoto contorno. Feira de Santana, BA**. 2009. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola 2017**. IBGE, 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/araguaina/panorama>.

Ludwig, R., Putti, F. F., & Brito, R. R. De. (2000). **Categoria Trabalho Acadêmico / Artigo Completo AGRICULTURA**, 167–176.

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

Mello, E. J. R. de. (2007). **Tratamento de esgoto sanitário - Avaliação da estação de tratamento de esgoto do Bairro Novo Horizonte na cidade de Araguari/MG**, 99. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522006000100010>

Menezes, D. de O., Silvino, G., & Neto, A. C. (2006). **Orientações básicas para Operação de Tratamento de Esgoto - ETEs**. *Fundação Estadual Do Meio Ambiente - FEAM*, 27.

NBR 8419: **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: procedimento**. Rio de Janeiro, 1992.

NBR 9648: **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. Edgard Bluncher: São Paulo, 2003.

RAIJ, B. V; *et al.* **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (Boletim técnico, 100).

RÔMULO S. C. MENEZES & IGNÁCIO H. SALCEDO. **Mineralização de N após incorporação de adubos orgânicos em um Neossolo Regolítico cultivado com milho**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.4, p.361–367, 2007 Campina Grande, PB,

Samuel B. V. Gomes , Clístenes W. A. Nascimento & Caroline M. Biondi. **Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, n.5, p.459–465, 2007.

Simões, K. S., Peixoto, M. D. F. S. P., & Almeida, A. T. (2013). **Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira** *Treated wastewater from domestic sewage on soil microbial activity and growth of castor bean*, (75), 518–523. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000500008>.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto - 2016**. Ministério das Cidades. Brasília.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte, UFMG. v.2. 1996.

VON SPERLING, M.; ANDREOLI, C. V; FERNANDES, F; **Lodo de Esgotos: tratamento e disposição final**. v. 6; Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG; 2001. 484 p.