



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ISABELLA JUWER NASCIMENTO

**ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA DISPOSIÇÃO DE LODO DAS ETE's
DE PALMAS-TO.**

**Palmas-TO
2018**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ISABELLA JUWER NASCIMENTO

**ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS DE DISPOSIÇÃO DE LODO DAS ETE's DE
PALMAS-TO.**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel no Curso
Superior de Engenharia Civil do Instituto
Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientadora: Prof^ª. Me. Adriana Soraya
Alexandria Monteiro

**Palmas-TO
2018**

Nascimento, Isabella Juwer

Análise das alternativas de disposição de lodo das ETE's de Palmas-TO / Isabella Juwer Nascimento. – Palmas, 2018.

71 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação do Tocantins, *Campus* Palmas, 2018.

Orientador: Prof.^a Adriana Soraya Alexandria Monteiro

1. ETE 2.Lodo 3. Alternativas de disposição

I. Título

ISABELLA JUWER NASCIMENTO

**ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS DE DISPOSIÇÃO DE LODO DAS ETE's DE
PALMAS-TO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel no Curso Superior de Engenharia
Civil do Instituto Federal do Tocantins,
Campus Palmas.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA AVALIADORA

Me. Adriana Soraya Alexandria Monteiro
IFTO – Campus Palmas

Dr. Alice Rocha de Souza
IFTO – Campus Palmas

Me. Claudia da Silva Aguiar Rezende
IFTO – Campus Palmas

DEDICATÓRIA

A Deus

Aos meus pais, Mareli e Valdson

Aos meus irmãos, Alycia e Hebertt

A vocês dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus por ser sempre minha força e minha fortaleza, e por todas bênçãos derramadas sobre mim.

Aos meus pais e irmãos pelo amor, incentivo e força em todos momentos e decisões da minha vida.

À minha família em geral, o carinho e a cooperação, pois foram essenciais para esta conquista. Obrigado a todos!

À minha madrinha, Márcia, obrigada por todos ensinamentos referente a realização desse trabalho.

Ao José Victor, por ser sempre compreensivo e paciente nos meus momentos de ocupação e pelo apoio incondicional.

À minha orientadora, Adriana Soraya A. Monteiro, pela orientação, pelo aprendizado durante toda graduação e por acreditar no nosso trabalho. Não poderia deixar de agradecer também pela amizade e pelos conselhos que levarei por toda minha vida. Obrigada pela oportunidade de trabalhar com você!

À Natália Dafne, que caminhou comigo na elaboração do trabalho e me apoiou do início ao fim. Tenho certeza que juntas somos muito mais fortes.

À Ariadne e Laís pela colaboração para a coleta dos dados na FMA.

Aos meus amigos de turma, obrigado pelos momentos vividos na faculdade, pelo apoio dado um ao outro, sempre encorajando para seguir firme e enfrentar as dificuldades em busca de nossos sonhos.

À Fundação de Meio Ambiente (FMA) de Palmas – TO, pelo fornecimento de dados para a elaboração deste trabalho.

Ao IFTO – Campus Palmas, pelas oportunidades oferecidas e pelas experiências vividas.

A todos que por ventura contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

“Tudo vale a pena quando a alma não é pequena. “

Fernando Pessoa

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar e estimar a produção do lodo das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) de Palmas-TO, de maneira a identificar alternativas de disposição final que sejam técnica e ambientalmente viáveis. Assim, baseado nos dados dos anos de 2016 e 2017, associando à capacidade de vazão do sistema e as informações obtidas no órgão municipal de meio ambiente, através dos relatórios de monitoramento fornecidos pela concessionária prestadora de serviços de saneamento, além dos relatórios da fiscalização de operação do sistema, foi estimado o volume de lodo produzido por ETE. Depois, a partir de várias referências bibliográficas consultadas, associando as condições da região de Palmas-TO, clima e solo, bem como o volume de lodo produzido, a produção de biossólido figurou como a melhor alternativa de disposição, tendo como referência a RESOLUÇÃO nº 375, de 29 de agosto de 2006 que define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados.

Palavras-chave: ETE. Lodo. Alternativas de disposição.

ABSTRACT

The aim of the present work is to analyze and estimate the sludge production of the Sewage Treatment Plants (STPs) of Palmas-TO, in order to identify final disposal alternatives which are technically and environmentally feasible. Thus, based on the data from the years 2016 and 2017, associating the system's flow capacity and the information obtained in the municipal environment agency, through the monitoring reports supplied by the provider concessionaire of sanitation services, in addition to the inspection reports of system, the volume of sludge produced by STPs was estimated. Then, from several bibliographical references consulted, associating the conditions of the Palmas-TO region, climate and soil, as well as the volume of sludge produced, biosolids production was the best disposal alternative, with reference to RESOLUTION n° 375 of August 29, 2006, which defines criteria and procedures for the agricultural use of sewage sludge generated in sewage treatment plants and their derived products.

Keywords: STPs. Sludge. Disposal alternatives.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas de tratamento de lodo	21
Figura 2 - Situação brasileira em 2013 de coleta e tratamento de esgoto por Unidades da Federação.....	30
Figura 3 - Localização do Município de Palmas	36
Figura 4 - Temperatura Médias Observadas.....	37
Figura 5 - Localização das ETEs de Palmas.....	38
Figura 6 - ETE Prata.....	40
Figura 7 - Flotador da ETE Prata	40
Figura 8 – ETE Norte.	41
Figura 9 – Bags no pátio da ETE Norte (2016).....	42
Figura 10 - ETE Santa Fé	43
Figura 11 - ETE Santa Bárbara	44
Figura 12 - ETE Aurenny	45
Figura 13 – Ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Aurenny.	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Origem e descrição dos cinco principais tipos de lodo	17
Quadro 2 - Composição média do lodo de ETE no Brasil	18
Quadro 3 - Porcentagem de redução de patógenos em unidades de tratamento de esgotos.....	20
Quadro 4 - Classes de lodo de esgoto ou produto derivado – agentes patogênicos.	25
Quadro 5 – Padrões de qualidade microbiológica de biossólidos nos EUA, Reino Unido e Brasil.....	28
Quadro 6 – Restrições estabelecidas para uso agrícola de biossólidos nas regulamentações dos EUA, Reino Unido e Brasil ⁽¹⁾	28
Quadro 7 - Características dos esgotos domésticos brutos.....	34
Quadro 8 - Tipo de tratamento, região atendida e destinação do lodo das ETEs de Palmas-TO.	39
Quadro 9 - População atendida com os serviços de esgotamento sanitário	46
Quadro 10 - Dados dos processos de tratamento de esgoto das ETEs	46
Quadro 11 - Faixas de densidade e massas específicas de diversos tipos de lodo	48
Quadro 12 – Valores usuais de densidades do lodo	48
Quadro 13 - Média de DQO e Temperatura da ETE Norte.....	50
Quadro 14 – Dados e lodo produzido da ETE Norte.....	50
Quadro 15 – Média de DQO e Temperatura da ETE Taquari.....	51
Quadro 16 – Dados e lodo produzido da ETE Taquari	51
Quadro 17 - Média de DQO e Temperatura da ETE Santa Fé	52
Quadro 18 – Dados e lodo produzido da ETE Santa Fé.....	52
Quadro 19 - Média de DQO e Temperatura da ETE Aurenny	53
Quadro 20 – Quantidades necessárias de solução em relação a vazão.....	53
Quadro 21 –Volumes médio de lodo gerado	53
Quadro 22 - Origem e descrição dos tipos de lodo das ETEs de Palmas-TO.	54
Quadro 23 – Resultados das análises Gravimétricas e Elementar das amostras de lodos de esgotos	56
Quadro 24 – Determinação Quantitativa de alguns metais de amostra de Lodo LD-1, de Reator UASB, usando Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP – OES)	57

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE AGUAS

CAESB - COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL

CFR - CODE OF FEDERAL REGULATIONS

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

CTer - COLIFORMES TERMOTOLERANTES

DBO - DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGÊNIO

DQO - DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO

EEE - ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO

ETEs - ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

FAD - FLOTAÇÃO COM AR DISSOLVIDO

FMA - FUNDAÇÃO MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE

LA – LODOS ATIVADOS

LE - LODO DE ESGOTO

M.S. - MATÉRIA SECA

NE - NÃO ESPECIFICADO

NMP - NÚMERO MAIS PROVÁVEL

NPK – NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO

PAC - PROGRAMA ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO

pH - POTENCIAL HIDROGENIÔNICO

PNRS - POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

RLA – REATOR DE LODO ATIVADO

SR - SEM RESTRIÇÃO

ST - SÓLIDOS TOTAIS

UASB - UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET

UFF - UNIDADE FORMADORA DE FOCO

UFP - UNIDADE FORMADORA DE PLACA

UHE - USINA HIDRELÉTRICA

USEPA - AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1. Lodo de esgoto.....	16
2.1.1. Definição	16
2.1.2. Caracterização do lodo	16
2.1.3. Contaminantes.....	18
2.1.4. Organismos patogênicos	19
2.1.5. Metais	20
2.1.6. Nutrientes	21
2.1.7. Tratamento	21
2.2. Legislação	24
2.3. Classes do lodo	25
2.3.1. Regulamentações quanto a normatização de lodo de ETEs	26
2.4. Alternativas para usos viáveis do lodo	31
2.4.1. Landfarming	31
2.4.2. Áreas de reflorestamento.....	32
2.4.3. Aterro Sanitário	32
2.4.4. Incineração	33
2.4.5. Aplicações na construção civil.....	33
2.4.6. Recuperação de áreas degradadas	34
2.4.7. Produção de bio-óleo e bio-gás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico	35
3. MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1. Área de estudo	35
3.1.1. Município de Palmas.....	35
3.1.2. Características do Município.....	36
3.1.3. Estações de Tratamento de Esgoto.....	38
3.1.5. População atendida com os serviços de esgotamento sanitário	46
3.2. Origem dos dados utilizados.....	46
3.3. Fórmulas para cálculo da estimativa da população atendida por ETE.	47

3.4. Fórmulas para cálculo da estimativa da produção do lodo.....	47
4. RESULTADOS.....	49
4.1. Cálculo da produção de lodo	49
4.1.1. ETE Norte	49
4.1.2 ETE Taquari	51
4.1.3. ETE Santa Fé.....	52
4.1.4.ETE Aurenny.....	53
5. DISCUSSÃO	54
6. CONCLUSÃO	58
7. RECOMENDAÇÕES	59
REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	60
ANEXO A.....	71

1. INTRODUÇÃO

Os novos padrões de consumo da sociedade, que vêm desde a Revolução Industrial, têm como consequência a crescente produção de resíduos superando a capacidade absorviva da natureza. De tal modo, pressões crescentes sobre o meio ambiente e os recursos naturais, como extração de matérias-primas e geração de resíduos têm causado passivos ambientais que não só colocam em risco os recursos naturais, como também podem influenciar a qualidade de vida das atuais e futuras gerações.

O crescimento populacional desordenado, aliado ao avanço do padrão de vida, tem como consequência diversos problemas ambientais. No meio desses, destaca-se a geração de lodo proveniente das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) que, devido ao seu alto grau de contaminantes, colabora para a proliferação de inúmeras doenças parasitárias e infecciosas, além de poluir os recursos hídricos.

Segundo Gewehr (2009), as condições ambientais sanitárias ideais no Brasil estão num patamar muito abaixo do concebido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, RESOLUÇÃO nº 375, de 29 de agosto de 2006. O esgoto gerado tem sua pequena parte coletada, sendo muitas vezes despejado diretamente nos corpos receptores.

Contudo, os investimentos em saneamento, principalmente devido ao Programa Aceleração do Crescimento (PAC), vêm aumentando ao longo dos últimos anos, considerando que os problemas relacionados ao lodo são uma grande realidade e não cessarão, só aumentarão. A medida que o sistema é mais eficiente em termos de remoção de carga orgânica, é natural que se tenha maior produção de lodo.

Segundo Pires (2007), lodo de esgoto é um resíduo rico em matéria orgânica gerado durante o tratamento das águas residuárias, conhecido como biossólido, nome dado ao lodo de esgoto, tratado ou processado, com particularidades que permitam sua reciclagem de maneira racional e ambientalmente segura.

Sua destinação final concebe um grande problema de âmbito mundial, devido possuir características indesejáveis ao meio ambiente. No tratamento de esgotos, por exemplo, a disposição do lodo produzido é o fator de maior custo que também requer grandes quantidades de energia.

Segundo Melo (2006), antes da presença dos movimentos ecológicos, o lodo era usado na agricultura em países da Europa, mas os metais pesados utilizados nos tratamentos ou do próprio esgoto contaminaram diversas propriedades na Bélgica e França.

Ao contrário do Brasil, países como Noruega, Canadá e Austrália já apresentam complexos sistemas de destinação e reaproveitamento do lodo (LeBLANC; MATTHEWS; RICHARD, 2008).

Assim, este trabalho consiste em analisar, como está sendo feita a destinação de lodos de esgotos, de maneira a se propor alternativa para destinação do lodo de ETEs em Palmas-TO, usando como referência a RESOLUÇÃO CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Lodo de esgoto

2.1.1. Definição

De acordo com Costa et al. (2008) o lodo de esgoto é o resíduo abundante em matéria orgânica e nutrientes, gerado pelo processo que consiste na saída do esgoto das casas; coleta pelas redes de saneamento, em sequência é remetido à ETE para acontecer o seu tratamento, diminuindo os riscos de poluição do meio ambiente.

No decorrer do tratamento, fungos e bactérias rompem as moléculas orgânicas que desempenham papel de fonte de energia para o seu desenvolvimento, dispondo os nutrientes para crescerem e reproduzirem. Ao morrer, esses micro-organismos constituem a massa orgânica do lodo.

O termo biossólido vem sendo utilizado no lugar de lodo de esgoto para diferenciar como um produto previamente tratado após transformações microbianas e que após sua mineralização, apresenta potencial para posterior aplicação em culturas agrícolas e florestais utilizado como fertilizante (POGGIANI, 1998).

2.1.2. Caracterização do lodo

A composição do lodo de esgoto varia em função de sua origem, ou seja, se é

proveniente de uma área predominante industrial ou residencial e também saber os processos de tratamentos empregados. Inicialmente, todos os tipos de tratamento de esgotos geram lodo.

Conforme Von Sperling (2005), o esgoto doméstico tem cerca de 99,9% de água na sua composição e o lodo na maior parte do tratamento é composto por até 95% de água.

No Quadro 1 são exibidos os principais tipos de lodo gerados no tratamento de esgotos, com suas respectivas origens e descrição.

Quadro 1 - Origem e descrição dos cinco principais tipos de lodo

Tipo do lodo	Origem	Descrição
Lodo Primário	Tratamento primário (Decantação Primária)	Composto por sólidos sedimentáveis (SS) removidos por sedimentação nos decantadores primários.
Lodo Químico	Tratamentos com etapa físico-química	Resultado da precipitação química com cal ou com sais metálicos.
Lodo Biológico Anaeróbio (Estabilizado)	- Reatores anaeróbios (filtros anaeróbios, UASB) - Lagoas de estabilização (facultativas, anaeróbias-facultativas, aeradas facultativas, aeradas de mistura completa, de decantação)	Longo período de retenção da biomassa anaeróbia a fim de favorecer a digestão (anaeróbia) do próprio material celular, fato que torna desnecessária a existência de uma etapa de digestão posterior.
Lodo Biológico Aeróbio (Estabilizado)	- Reatores aeróbios com biofilmes – baixa carga (filtro biológico de caixa, biodisco, biofiltro aerado) - Lodos ativados por aeração prolongada	Predomínio de microrganismos aeróbios, ou seja, que oxidam a matéria orgânica na presença de oxigênio. A biomassa tende a usar as próprias reservas celulares de matéria orgânica nos sistemas onde a disponibilidade de alimento é menor (sistemas de baixa carga).
Lodo Biológico Aeróbio (Não Estabilizado)	- Reatores aeróbios com biofilmes – alta carga (filtro biológico de alta carga, biofiltros aerados submersos e biodiscos) - Lodos ativados convencional	É a biomassa de microrganismos aeróbios oriundos do processo de digestão aeróbia da matéria orgânica (alimento) presente no esgoto afluente.

Fonte: Adaptado de Tchobanoglous, Burton e Stensel (2003) e Gonçalves, Ludovice e Von Sperling (2001).

De acordo com Von Sperling (2005) existe o lodo misto, o resultado da mistura do lodo primário com o lodo secundário (biológico), para posterior tratamento em conjunto. O lodo de esgoto apresenta em sua composição grande percentual de água, e segundo Damasceno e Campos (1998), da parte sólida contida nele, cerca de 70 a 80% são matéria orgânica incluindo óleos e graxas. Conforme as características do esgoto bruto do qual o lodo foi derivado, pode-se encontrar também contaminantes.

As propriedades mecânicas do lodo e o volume do lodo estão diretamente ligados ao seu teor de umidade, pois essas propriedades influenciam no tipo de manejo e de disposição final do lodo.

O estudo realizado por Fernandes (2010) menciona a composição média por meio de diversos trabalhos realizados no Brasil, como é visto na Quadro 2, justificando assim que a composição de um lodo proveniente de uma ETE é variável.

Quadro 2 - Composição média do lodo de ETE no Brasil

Parâmetros	Unidades	Valores Médios no Brasil
pH	-	11,6
M.S.	%	57,86
Nitrogênio Total (N)	%	1,07
Carbono Total (C)	%	12,56
Relação C/N	%	13,32
Fósforo Total (P₂O₅)	%	0,26
Potássio (K₂O)	%	0,16
Cálcio Total (CaO)	%	19,85
Magnésio Total (MgO)	%	3,17
Cádmio	Mg.kg ⁻¹ M.S.*	0,57
Zinco	Mg.kg ⁻¹ M.S.	28,99
Cobre	Mg.kg ⁻¹ M.S.	73,73
Cromo	Mg.kg ⁻¹ M.S.	28,11
Mercúrio	Mg.kg ⁻¹ M.S.	0,52
Níquel	Mg.kg ⁻¹ M.S.	18,06

Fonte: Fernandes (2010).

2.1.3. Contaminantes

O lodo possui em proporções variadas, alguns componentes das águas residuárias. Embora certos componentes orgânicos e minerais confirmem características fertilizantes ao lodo, outros elementos são indesejáveis, pois podem ocasionar riscos sanitários e ambientais, são eles: os metais pesados (poluentes inorgânicos), diversos poluentes orgânicos e microrganismos patogênicos (SILVA et al., 2001).

* M.S. = Matéria Seca

A existência desses elementos é dependente das propriedades do esgoto bruto, sua origem e o processo de tratamento utilizado para o esgoto e para o biossólido. Esses elementos podem ser retirados a níveis aceitáveis e os poluentes orgânicos e metais pesados por meio de mecanismos de tratamento tradicionais.

2.1.4. Organismos patogênicos

Muitos microrganismos encontrados no lodo são causadores de doenças, logo, esses atributos devem ser olhados com muito cuidado, sendo necessário dispor de métodos específicos para controle de patogênicos.

A origem dos agentes patogênicos no esgoto é predominantemente humana e reflete diretamente o nível de saúde da população e as condições de saneamento básico de cada região, sendo sua quantidade bastante variável (VON SPERLING, 2005).

Devido o lodo apresentar em sua composição elementos tóxicos e agentes patogênicos ao homem, há necessidade de se conhecerem os efeitos poluentes no solo quando utilizados na agricultura. Desta forma, a incorporação de lodos a solos agrícolas deve ser adequadamente planejada e monitorada.

Alguns fatores podem influir na quantidade de patógenos como a presença de indústrias, sendo indispensável assim um avanço na qualidade tanto no serviço de coleta como no tratamento deste resíduo, garantindo uma segurança maior para a aplicação dele no campo da agricultura.

Existem várias alternativas de higienização do lodo e do efluente líquido que promovem a diminuição dos microrganismos, podendo elas ser por meios térmicos, químicos e ou biológicos (ANDREOLI, 2001).

Certa quantidade de patógenos é reduzida no tratamento convencional da fase líquida como pode ser visto no Quadro 3.

Quadro 3 - Porcentagem de redução de patógenos em unidades de tratamento de esgotos

Unidades	Vírus entéricos (%)	Bactérias (%)	Cistos de protozoários (%)	Ovos de helmintos (%)
Decantação primária	0 – 30	50 – 90	10 – 50	30 – 90
Filtro biológico	90 – 95	90 – 95	50 – 90	50 – 95
Lodo ativado	90 – 99	90 – 99	50 – 80	50 – 99
Lagoas de estabilização*	99,99 – 100	99,99 – 100	100	100

Fonte: USEPA (1983) apud Andreoli (2001).

2.1.5. Metais

De acordo com a SANEPAR (1997), os metais pesados são encontrados na natureza em rochas e nos solos e alguns deles são bases aos processos metabólicos, considerados micronutrientes fundamentais às plantas.

O lodo de esgoto, estritamente urbano, isto é, resultante do tratamento de efluentes domésticos, possui uma concentração normalmente baixa de metais pesados. Porém, quando há contribuição de despejos industriais ou águas pluviais no sistema, a concentração de metais pesados pode aumentar significativamente (BERTON, 2000; METCALF & EDDY, 2003).

Quanto ao lodo das estações de tratamento, os metais podem ser vistos em diversas concentrações conforme o tipo de contribuição de esgotos que as estações recebem.

A implantação de procedimentos de minimização de resíduos, ainda no processo de pré-tratamento, antecedendo o lançamento no sistema de esgoto, contribui para diminuição de metais presentes no lodo (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Ao se considerar o uso agrônômico do lodo e possibilidade de contaminação do solo com metais pesados, torna-se necessário identificar, com prioridade, a origem desse resíduo, uma vez as concentrações de metais pesados tendem a ser menores em lodos originados de esgotos residenciais, em relação àquelas em que os efluentes industriais predominam (BETTIOL et al., 1983).

A escolha dos critérios estabelecidos nas legislações de outros países não torna seguro o emprego agrícola do lodo de esgoto no Brasil, o controle periódico de metais em áreas tratadas com lodo é fundamental para as condições de solo e lavouras brasileiras.

* Três células, com tempo de detenção > 25 dias

2.1.6. Nutrientes

O lodo de esgoto é um material que contém muita matéria orgânica, com elevado teor de umidade e com grande quantidade de nitrogênio e outros minerais. Conforme a SANEPAR (1997), o nitrogênio é o constituinte mais valioso do lodo, sendo também um elemento de grande importância para as culturas, assim pode ser usado como fator limitante para se definir uma dosagem máxima de lodo a ser aplicado no solo.

Os valores típicos de nitrogênio, fósforo e potássio no lodo dos esgotos domésticos são sempre menores que o desejado nos fertilizantes para uso agrícola. No entanto, o lodo pode vir a ter um papel importante como condicionador do solo, e vir a ter a distribuição de seus componentes melhorada pela produção de composto agrícola (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

De acordo com Costa (2011), do total de sólidos presentes no esgoto cerca de 70% correspondem aos compostos orgânicos (proteínas, carboidratos, gorduras etc.) e 30% inorgânicos (areia, sais, metais, etc.).

2.1.7. Tratamento

O tratamento dos lodos de esgoto é fundamental para minimizar os riscos de contaminação pela presença de organismos patogênicos, reduzir possíveis odores e promover a remoção da umidade (FERNANDES, 1999).

As propriedades do lodo e a destinação final esperada pelo gerador definem as formas de tratamento pelos quais os lodos produzidos nas ETEs devem passar. A Figura 2 abaixo apresenta as etapas mais comuns de tratamento de lodo.

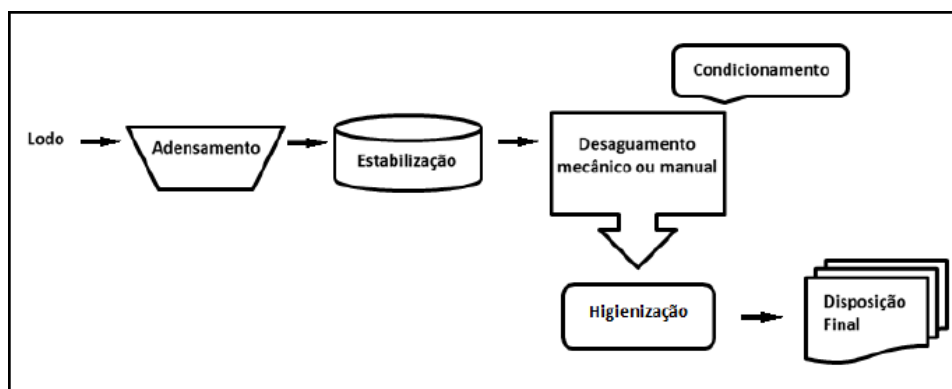


Figura 1 - Etapas de tratamento de lodo
Fonte: Lima (2010).

A retirada da umidade para a redução da massa e do volume do lodo que será tratado ou retirado pelas estações é a parte inicial do tratamento de lodos. Em uma ETE pode existir duas etapas de remoção da umidade do lodo: adensamento ou espessamento e desaguamento ou desidratação, condicionamento, higienização e disposição final conforme Figura 1.

2.1.7.1. Adensamento

Von Sperling (2005) diz que o adensamento ou espessamento é um processo físico de concentração de sólidos no lodo que tem como objetivo reduzir a umidade e seu volume, viabilizando as etapas subsequentes e a disposição final.

A função deste processo é a redução da quantidade de água contida no lodo sedimentado nos decantadores. Este processo pode ser iniciado nas estações que apresentam unidade separada para o adensamento, porém o enfoque é maior na parte de redução do custo de implantação e operação das unidades.

2.1.7.2. Estabilização

Segundo David (2002) a estabilização é eficaz nos aspectos de: redução do risco de putrefação, liberação de odores, e concentração de microrganismos patogênicos, devido à redução de componentes voláteis, oxidação química do material volátil e adição de produtos químicos ao lodo para fazê-lo inapropriado para sobrevivência de microrganismos e aplicação de calor para desinfecção faz com que o processo de estabilização seja eficaz.

Já Fernandes (2000) diz que a estabilização de lodos, conforme o processo empregado, pode ser dividida em:

- Estabilização biológica: utilizando bactérias específicas para a estabilização da fração biodegradável da matéria orgânica, por processos de digestão anaeróbia e aeróbia;
- Estabilização química: oxidação química da matéria orgânica por meio da adição de produtos químicos. O tratamento químico mais utilizado é via alcalina, em que uma base, normalmente a cal, é misturada ao lodo, elevando o pH e destruindo a maior parte dos microrganismos;

- Estabilização térmica: obtida a partir da ação do calor sobre a fração volátil em recipientes hermeticamente fechados.

2.1.7.3. Condicionamento

De acordo com HAUG et al. (1992) apud MIKI (1998), o processo de condicionamento do lodo é utilizado a fim de melhorar as características de separação das fases sólido-líquida do lodo. O condicionamento faz com que as forças químicas e físicas que atuam nas partículas coloidais e no material em suspensão sejam desestabilizadas, neutralizadas.

Imhoff (1996) indica algumas técnicas de pré-tratamento ou condicionamento do lodo estão: (i) aplicação de calor ou frio; (ii) adição de produtos químicos ou de flocculantes orgânicos; (iii) adição de cinzas; (iv) e lavagem do lodo com água (elutriação). A utilização de produtos químicos nesta etapa provoca alteração na composição química e conseqüentemente na quantidade resultante de biossólido.

2.1.7.4. Desidratação

Conforme Andreoli (2001) a desidratação de lodo é uma operação que reduz o volume do lodo em excesso através da redução de seu teor de umidade. A capacidade de desidratação difere conforme o tipo de lodo.

Segundo com Andreoli et al. (2001), apud Duarte (2008), podem-se citar algumas principais razões para realizar a desidratação dos lodos:

- Redução do custo de transporte para o local de disposição final;
- Redução do volume para os tratamentos subsequentes;
- Facilidade manejo do lodo;
- Aumento do poder calorífico do lodo por meio da redução da energia para secagem ou incineração;
- Redução da produção de chorume para disposição em aterro sanitário ou reuso na agricultura.

2.1.7.5. Higienização

Conforme Von Sperling (2005), a finalidade do processo de higienização no tratamento do lodo é garantir um baixo nível de patogenicidade, de forma que não apresente risco à saúde, à sociedade e aos trabalhadores que vão manejá-los, bem como evitar impactos negativos ao meio ambiente.

Os mecanismos fundamentais de higienização são: (i) a compostagem; (ii) a digestão aeróbia autotérmica; (iii) a caleação ou estabilização alcalina; (iv) a pasteurização e (v) a secagem térmica.

No Brasil, um dos processos mais comuns de higienização é a caleação, no qual é adicionada uma quantidade suficiente de cal para elevar o pH do lodo para 12, ocasionando a estabilização alcalina, conforme a Resolução CONAMA nº 380, de 31 de novembro de 2006.

A utilização de produtos químicos alcalinos na estabilização do lodo já vem sendo aplicado desde o final do século passado e a cal é tida como um dos produtos alcalinos mais baratos usados no saneamento. Através do efeito da elevação do pH do lodo a níveis iguais ou superiores a 12 ocasiona a eliminação dos patógenos (ANDREOLI; LARA; FERNANDES, 2001).

2.2. Legislação

Devido a indispensabilidade da vigilância e do monitoramento do uso de resíduo sólido no solo, os Estados Unidos da América (EUA) e a maioria dos países europeus dispõem de normas que regulamentam o uso, assegurando uma destinação segura. Visto que era necessário unir os critérios ambientais e os procedimentos para a gestão de resíduos, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) reestruturou o conjunto de normas brasileiras, tendo como base a Norma Norte Americana 40 Code of Federal Regulations (CFR).

A Resolução CONAMA nº 375 de 29 de agosto de 2006, define os critérios e procedimentos para a utilização do lodo de esgoto no meio agrícola/florestal e tem como finalidade assegurar a segurança ambiental e sanitária na destinação dos biossólidos através de um plano de monitoramento de suas características.

Conforme a referida resolução, a caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado a ser aplicado deve abranger os aspectos listados abaixo:

- Potencial agronômico;
- Substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas;
- Indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos;

- Estabilidade.

Ressalta-se que a constante revisão das normas e continuação dos estudos envolvendo o tema são muito importantes para garantir que uma atividade considerada ambientalmente desejável não se torne prejudicial ao próprio meio ambiente e consequentemente ao homem (PIRES, 2006).

2.3. Classes do lodo

A Resolução CONAMA nº 375 de 29 de agosto de 2006, estabelece critérios e procedimentos para o uso agrícola do lodo de esgoto. O produto dele derivado é classificado em classe A ou classe B, quanto à presença de agentes patogênicos para seu uso na agricultura, visto no Quadro 4.

A classificação dos lodos em classes A e B considera algumas exigências sobre a concentração de metais e inorgânicos, mineralização do nitrogênio, nitrogênio disponível, sanidade quanto à presença de *Salmonella sp* e coliformes fecais, dentre outras.

Além disso, estabeleceu no ano 2006, a permissão para a disposição na agricultura de lodo de esgoto classe A.

Quadro 4 - Classes de lodo de esgoto ou produto derivado – agentes patogênicos.

Tipo de lodo de esgoto ou produto derivado	Concentração de patógenos
A	Coliformes Termotolerantes < 10 ³ NMP/g de Sólidos Totais
	Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo/g de Sólidos Totais
	Salmonella ausência em 10 g de Sólidos Totais
	Vírus < 0,25 UFP* ou UFF**/g de Sólidos Totais
B	Coliformes Termotolerantes < 10 ⁶ NMP***g de Sólidos Totais
	Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos/g de Sólidos Totais

Fonte: Adaptado de BRASIL (2006).

* UFF: Unidade Formadora de Foco

** UFF: Unidade Formadora de Placa

*** NMP: Número Mais Provável

2.3.1. Regulamentações quanto a normatização de lodo de ETEs

Estados Unidos da América

Em 1993 a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) promulgou os Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge, Code of Federal Regulations, Part 503 of the Clean Water Act. (USEPA, 1994).

Para a produção de biossólidos Classe B, o lodo deve ser tratado por Processos de Redução Significativa de Patógenos (PRSP), mas a qualidade microbiológica é estabelecida, essencialmente, em termos de coliformes termotolerantes. A garantia da qualidade dos biossólidos Classe B pode ser avaliada tanto pela verificação do padrão bacteriológico do produto final quanto pela avaliação do processo de tratamento. Isto é, se as condições operacionais especificadas são observadas não é necessário o monitoramento microbiológico.

Já para produção de biossólidos Classe A, o lodo deve ser submetido a Processos de Redução Adicional de Patógenos (PRAP), caso os biossólidos Classe A atinjam também requisitos especificados para redução de metais e de vetores, podem ser utilizados sem quaisquer restrições, incluindo a possibilidade de comercialização ou distribuição e a aplicação em gramados e jardins residenciais.

Reino Unido

No Reino Unido, o controle da aplicação de lodo de esgotos em solos é estabelecido pela A Sludge (Use in Agriculture) Regulations de 1989 (HMSO, 1989) que delibera sobre a aplicação do lodo de esgoto nos solos. Esta regulamentação é complementada pelo Código de Boas Práticas (Code of Practice) emitido pelo Department of the Environment (DoE, 1996).

No Código de Boas Práticas são contidas as exigências mais cuidadosas para o monitoramento da qualidade do lodo e do solo e restrições para a aplicação dos biossólidos. Porém, essa norma dá mais ênfase nas substâncias químicas e tóxicas.

Encontra-se também ferramentas de autocontrole consensuados com as empresas de saneamento, com o setor atacadista de comércio de alimentos e órgãos governamentais, consubstanciados na Safe Sludge Matrix (ADAS, 2001).

A Safe Sludge Matrix é um apanhado de orientações sobre níveis de tratamento e condições de aplicação dos bio sólidos em diversas culturas. Compete ao produtor de lodo apontar os parâmetros de controle de processos e monitoramento, objetivando proporcionar a redução (unidades logarítmicas) e os requisitos de qualidade do produto sejam atingidos.

Brasil

No Brasil a Resolução CONAMA nº 375 de 29 de agosto de 2006 (BRASIL, 2006) determina dois níveis de qualidade de bio sólidos. A qualidade microbiológica de bio sólidos na resolução brasileira tem padrões próximos aos dos Estados Unidos e Reino Unido.

Na questão de produção dos bio sólidos Classe A e Classe B, a Resolução CONAMA nº 375 de 29 de agosto de 2006 determina que o lodo tem que ser submetido aos procedimentos de tratamento mencionados na Norma 503.

Os Bio sólidos Classe A podem ser empregados em qualquer cultura, desde que seja obedecida as suas restrições. Bio sólidos Classe B podem ser aplicados apenas em culturas fibrosas ou oleaginosas ou na silvicultura, contanto que sejam incorporados ao solo mecanicamente e que obedeçam às restrições de colheita e de acesso conforme a Resolução CONAMA nº 380 de 31 de novembro de 2006.

A aplicação de bio sólidos Classe B tinha previsão de ser banida cinco anos após a publicação da Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006, a não ser que:

“Sejam propostos novos critérios ou limites baseados em estudos de avaliação de risco e dados epidemiológicos nacionais, que demonstrem a segurança do uso do lodo de esgoto Classe B” (BRASIL, 2006).

Conforme CONAMA nº 380 de 31 de novembro de 2006, suas exigências e restrições para o uso no solo se baseiam na qualidade do bio sólido, conforme ilustram os Quadro 5 e Quadro 6.

Quadro 5 – Padrões de qualidade microbiológica de biossólidos nos EUA, Reino Unido e Brasil.

País	E. coli ou Cter	Salmonella	Vírus entéricos	Ovos de helmintos
Biossólidos Classe A				
EUA	< 103 CTer / g ST	< 3 NMP / 4 g ST	< 1 UFP / 4 g ST	< 1 / 4g ST
Reino Unido	< 103 E. coli / g ST	ND em 2 g ST(1)	NE	NE
Brasil	< 103 CTer / g TS	ND em 10 g ST	< 0,25 UFP ou UFF/g ST	< 0,25 / g ST
Biossólidos Classe B				
EUA	< 2 x106 CTer/g ST	NE	NE	NE
Reino Unido	< 105 E. coli / g ST	NE	NE	NE
Brasil	< 106 CTer/ g ST	NE	NE	< 10 / g ST

Fonte: Environment Agency (2004).

Quadro 6 – Restrições estabelecidas para uso agrícola de biossólidos nas regulamentações dos EUA, Reino Unido e Brasil ⁽¹⁾

País	Intervalo para Cultivo (C) / Colheita (Co) ⁽²⁾				Pastejo (P), cultivo (C) ou colheita (Co) de forrageiras e pastagens	Acesso público
	Culturas alimentícias			Culturas não alimentícias		
	Rente ao nível alimentícias do solo	Raízes	Outras			
Biossólidos Classe A						
EUA	SR	SR	SR	SR	SR	SR
Reino Unido	10 meses (Co)	10 meses (Co)	10 meses (Co)	3 semanas (Co)	3 semanas (P) (Co)	
Brasil	48 meses (Co)	48 meses (Co)	SR	SR	24 meses (C)	30 dias
Biossólidos Classe B						
EUA	14 meses ⁽³⁾	20-38 meses (Co) ^{(3) (4)}	30 dias (Co)	30 dias (Co)	30 dias (P)	30 dias-12 meses ⁽⁵⁾
Reino Unido	12-30 meses (Co) ⁽⁶⁾	12-30 meses (Co) ⁽⁶⁾	12-30 meses (Co) ⁽⁶⁾	3 semanas (Co)	3 semanas (P) (Co) ⁽⁷⁾	
Brasil	NP	NP	NP	6 meses (C) ⁽⁸⁾	NP	12 meses

Fonte: Adaptado de Environment Agency (2004).

¹ Informações resumidas do conteúdo mais detalhado das normas² Intervalo mínimo após a aplicação de biossólidos;³ incluindo hortaliças;

2.4. Situação brasileira quanto a coleta e tratamento de esgoto

Conforme CETESB (1999), se faz necessário o conhecimento da composição do solo, auxiliando no cálculo das quantidades adequadas a serem incorporadas, sem correr o risco de intoxicar as plantas e em certas situações os animais e as pessoas, bem como não poluir o ambiente.

No Brasil a gestão dos resíduos gerados passa por dificuldades como: disposição inadequada, coleta informal e insuficiência do sistema de coleta pública (LINHARES, MENDES, LASSANCE, 2012).

A situação do esgoto pode ser visualizada tendo como base os dados de coleta e tratamento de esgoto autodeclarados do ano de 2013 (Figura 2), por companhias estaduais, empresas e autarquias municipais, empresas privadas e prefeituras, por meio de secretarias ou departamentos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (BRASIL, 2014).

⁴ intervalo de 20 meses é aplicado quando os bio sólidos permanecem na superfície do solo por quatro meses ou mais antes de serem incorporados no solo; o intervalo de 38 meses é aplicado quando o bio sólido permanece na superfície menos de quatro meses até a incorporação;

⁵ os intervalos de 30 dias e 12 meses se aplicam a situações com, respectivamente, baixo e elevado potencial de exposição pública, no segundo caso incluindo a aplicação em parques e jardins;

⁶ os intervalos de 12 e 30 meses aplicam-se, respectivamente, a hortaliças ingeridas cruas e a outras verduras e legumes;

⁷ aplicações superficiais não é permitida em pastos;

⁸ somente cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com a aplicação mecanizada, em sulcos ou covas, seguida de incorporação; o intervalo de 6 meses se aplica no caso de colheita manual.¹

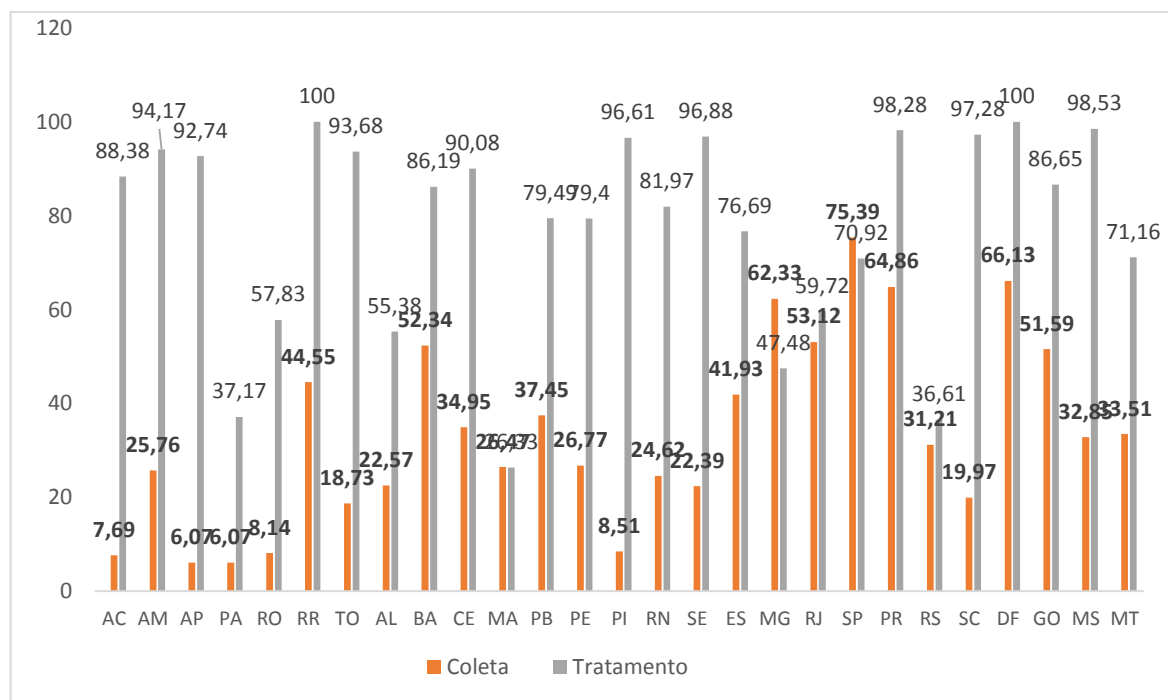


Figura 2 - Situação brasileira em 2013 de coleta e tratamento de esgoto por Unidades da Federação*
Fonte: Brasil (2014).

Percebe-se que o tratamento e coleta de esgoto ainda é uma atividade incipiente no Brasil. Em alguns estados esta atividade é escassa, como se pode observar nos Estados do Acre, Amapá, Pará, Rondônia e Piauí, pois apresentam um baixo índice de coleta de esgoto, índice este inferior a 10%.

O Estado de São Paulo apresenta uma alta quantidade de coleta e tratamento, sendo 75,39% do esgoto gerado e trata 70,92% (Figura 2). Isso ocorre devido ao tamanho da população e sua necessidade de coletar e tratar.

No caso de Brasília, a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) coleta 66,13%, no entanto apresenta 100% de tratamento dos esgotos coletados (BRASIL, 2014). Conforme a CAESB (2013), as estações de tratamento de esgoto (ETE's) do Distrito Federal no ano de 2012 geraram 18.360 toneladas de lodo de esgoto (LE).

Já o Estado do Tocantins se destaca entre os demais da região Norte, pois apesar de coletar 18,73% do esgoto, possui o tratamento de 93,68% do mesmo, em comparação aos Estados do Acre, Amapá, Pará, Roraima e Rondônia que apresentam índices inferiores.

* Figura 2 em Anexo A.

2.4. Alternativas para usos viáveis do lodo

O lodo se constitui de características capazes de atribuir valor agregado, proporcionando seu uso como insumo e matéria prima de processos industriais, agrícolas e energético. A concentração de Nitrogênio, Fósforo e Potássio (NPK) pode exceder a 4% do material, equivalente a aproximadamente 100 R\$/t base seca, tornando-se um atrativo se comparado com os fertilizantes químicos (PEGORINI et al., 2006).

Com o desenvolvimento das pesquisas sobre o uso agrícola do lodo foi possível ter conhecimentos significativos para esta atividade em vários estados, além da elaboração da Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006.

As legislações sobre as formas de disposição de resíduos têm o intuito de reduzir os impactos ambientais ruins, mostrando que o resíduo não é apenas uma fonte poluidora, como também um produto com alto potencial a ser explorado.

Fernandes & Silva (1999) relatam que a questão do destino final do lodo de esgoto ficou esquecida até pouco tempo. Quando se instalaram estações de tratamento de esgoto eficientes não apresentaram proposta para destinação final do lodo gerado. As alternativas mais comuns de disposição final são comentadas a seguir.

2.4.1. Landfarming

De acordo com Batista (2015), no método de landfarming o substrato orgânico é destruído pelos micro-organismos existentes na camada arável do solo. Nesta etapa da degradação do substrato, os íons metálicos liberados são incorporados nesta camada, sem que haja contaminação do lençol freático.

A presença de metais pesados e compostos químicos tóxicos orgânicos e inorgânicos impossibilita áreas de landfarming para qualquer uso futuro. A aplicação em grande escala dentro de critérios ambientais rígidos torna-se complexa e requer pessoal especializado (CETESB, 1999).

"Neste sistema uma área recebe doses elevadas de lodo por vários anos. O objetivo desta prática é utilizar o solo como um sistema de tratamento. O solo passa a ser o suporte da atividade biológica, retenção de metais, local de exposição ao sol e bioxidação, o que provocará a degradação da matéria orgânica. Neste caso não há interesse a utilização dos nutrientes do lodo". (ANDREOLI, FERREIRA, 1999).

Projetos de landfarming devem verificar proteção às águas, subterrâneas e superficiais, quanto à migração de poluentes, em planos específicos de operação, monitoramento, emergência e fechamento.

2.4.2. Áreas de reflorestamento

Tsutya (2001) destaca que a aplicação do lodo em plantações florestais deve ser considerada à parte do uso agrícola. Hart et al. (1988), enfatiza as vantagens do uso de lodo de esgotos em sistemas florestais em comparação com os sistemas agrícolas.

Dentre estas vantagens estão: menores riscos de contato humano depois da aplicação de lodo, ciclos longos das culturas florestais que possibilitam intervalos também mais longos, propiciando a dinâmica entre as aplicações, bem como a acumulação da biomassa facilitando a remoção de prováveis elementos perigosos do solo.

Lira et al. (2008) avaliou como o lodo de esgoto modifica o estado nutricional, a quantidade de carbono e nitrogênio em plantação de eucalipto. Constatou que o biossólido oferece nitrogênio aos eucaliptos assim como a adubação mineral, comprovando que o resíduo realmente pode ser aplicado para complementação desse nutriente em plantações florestais.

2.4.3. Aterro Sanitário

Para instalação de um aterro sanitário são necessários estudos ambientais e um prudente controle ambiental, pois o líquido produzido nos aterros, o chorume, apresenta concentrações de contaminantes, como os metais pesados e poluentes orgânicos. A instalação de um aterro sanitário propicia a reutilização da área alocada, porém com algumas condicionantes.

A proibição da disposição de lodo nos oceanos fez com que os países buscassem alternativas para disposição final. Para isso seria vantajoso a redução dos volumes dos lodos gerados, dentre elas a disposição final em aterro sanitário.

A operação de um aterro sanitário baseia-se na disposição de resíduos em trincheiras, que são compactados e recobertos com solo ou materiais inertes. Para os órgãos receptores (municipal, estadual ou particular) os valores de sólidos de pelo menos 35 ou até 40% (MIKI et al., 2006).

2.4.4. Incineração

A incineração é um processo de combustão dos resíduos que ocasiona na destruição das substâncias orgânicas patogênicas presentes no lodo. A incineração aplicada aos lodos de esgotos requer que os mesmos sejam primeiramente adensados e desaguados a um teor de sólidos mínimo de 25%. O volume de cinza residual é normalmente inferior a 4% do volume de lodo desaguado alimentado ao incinerador (LUDUVICE & FERNANDES, 2001).

Na convenção de Estocolmo, o Brasil e mais 151 países se comprometeram a reduzir as fontes de geração de dioxinas e de furanos. No caso do Brasil esta convenção foi ratificada no Decreto nº 5.472 de 20 de junho de 2005.

O controle odorífero, a composição e poder calorífico do lodo são atividades de suma importância, pois, além disso, é necessário considerar a qualidade de qualquer cinza que possa ser gerada, a composição dos gases de combustão, líquidos e particulados conforme os padrões estabelecidos pela legislação ambiental (VALENTIN, 1994 apud ANDREOLI, 1999).

Alguns impactos ambientais negativos potencialmente causados pela incineração são: impacto visual decorrente da construção do incinerador e da fumaça produzida; contaminação de rios e aquíferos por vazamento de efluentes; poluição sonora decorrente do funcionamento do incinerador e poluição do ar por lançamento de diversos poluentes como CO, SO₂, compostos orgânicos complexos e particulados (Andreoli, 1999).

2.4.5. Aplicações na construção civil

A incorporação do lodo de esgotos na construção civil tem mostrado uma alternativa viável de destinação adequada. O aproveitamento de resíduos vem ocorrendo nas indústrias de cerâmica vermelha, na fabricação de produtos cerâmicos: tubos, tijolos, lajotas e telhas.

As indústrias de cerâmica vermelha e cimenteira possuem melhor potencial de utilizar resíduos na sua composição, do que a cerâmica branca, devido suas composições apresentarem valores de propriedades tecnológicas em faixas menos estritas (JUNIOR et al., 2010).

Durante a etapa da fabricação da massa cerâmica o lodo é acrescentado, de forma manual com pás carregadeiras ou em olarias, contribuindo na correção da umidade. Na construção civil, o lodo não se limita apenas no uso em cerâmicas, mas estudos também constataam que pode ser usado em concreto.

Fontes (2008) adicionou cinza de lodo de esgoto, e também a de resíduo sólido urbano como aditivo mineral para produção de concreto de alto desempenho. Ao analisar os testes, percebeu-se que as incorporações de cinza de lodo como a cinza de resíduo sólido urbano revelaram-se como uma alternativa técnica e ambientalmente viável.

Outro estudo, na cidade de Londrina realizado por Morales e Agopyan (1992), apud Fontes, (2003) utilizaram o lodo de esgoto na produção de agregado leve. Os autores do estudo afirmaram que o produto final se mostrou com características compatíveis com os requisitos e critérios estabelecidos pelas especificações brasileiras, referente a elaboração de elementos de concreto para alvenaria, produção de concreto estrutural ou para isolamento térmico.

2.4.6. Recuperação de áreas degradadas

O lodo de esgoto apresenta características que proporcionam, em locais onde os solos apresentam pouca matéria orgânica e nutrientes, os processos de recuperação e de revegetação de áreas contaminadas com resíduos altamente tóxicos.

De acordo com Gonçalves et al., (2001), são algumas vantagens do seu uso: paralização de grandes quantidades de nutrientes e de metais pesados devido à ampla produção e distribuição de carbono orgânico, diminuição dos custos com fertilizantes em áreas geralmente extensas, especialmente em relação a reposição de nitrogênio e fósforo. No Quadro 7 é ilustrado as concentrações típicas de nitrogênio e fósforo em efluentes domésticos bruto.

Quadro 7 - Características dos esgotos domésticos brutos

Parâmetro	Concentração (mg.L-1)	
	Faixa	Típico
Nitrogênio Total	35 – 70	50
Fósforo	5 – 25	14

Fonte: Von Sperling (2005)

2.4.7. Produção de bio-óleo e bio-gás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico

A pirólise é um processo endotérmico que compreende em aquecer a biomassa, normalmente entre 300°C e 600°C, na “quase-ausência” de ar, com a produção de vapores, que quando resfriados produzem um líquido que é normalmente indicado como bio-óleo, finos de carvão e gases pirolíticos não condensáveis, que podem ser utilizados para geração de calor e energia para o processo em si, ou para o mercado local (PEDROZA, 2011).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho é dividida em duas etapas.

A primeira realizada através do método de caráter exploratório a partir de levantamentos bibliográficos, abrangendo livros, documentos, dissertações, teses, artigos e publicações para caracterizar a área de estudo.

A segunda consiste em um levantamento e coleta de dados das estações de tratamento de esgoto de Palmas de maneira a se obter dados de vazão e as características do efluente bruto, baseado nos relatórios da Concessionária e no acompanhamento dos relatórios de fiscalização da FMA (Fundação de Meio Ambiente) do município de Palmas.

Além de fazer uma quantificação do lodo gerado em função dos processos de tratamento adotado em cada unidade em operação. Elaborando um apanhado de alternativas, relacionando o quantitativo de lodo estimado e as características ambientais da região, para disposição final de lodo das ETEs com embasamento em métodos já praticados

E os dados serão apresentados em forma de quadros, gráficos e mapas de identificação arranjados por meio de recursos computacionais.

3.1. Área de estudo

3.1.1. Município de Palmas

O município de Palmas está localizado na região central do Estado do Tocantins, entre a Serra do Lajeado e o Lago da Usina Hidrelétrica de Lajeado, entre as coordenadas são:

latitude 10° 11' 04" Sul e longitude 48° 20' 01" Oeste. O município possui área de 2.218,94 km² representa 0,79 % do território estadual (Figura 2) (PALMAS, 2017).

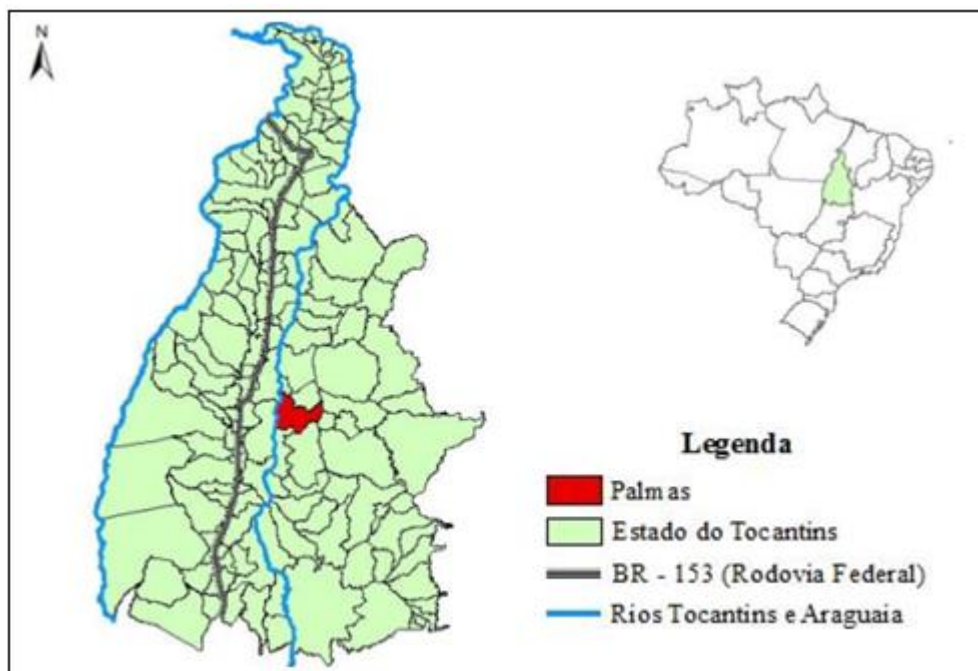


Figura 3 - Localização do Município de Palmas
Fonte: Palmas (2017)

3.1.2. Características do Município

Solo

Os solos predominantes no município são classificados como areias quartzosas, latossolos vermelho-amarelo e escuro, solos litólicos, concrecionários e hidromórficos gleisados. Para os ambientes geológicos grande parte da área é classificada como bacia sedimentar do Parnaíba, ainda com coberturas cenozoicas e complexos metamórficos sedimentares do arqueano e proterozóico (PALMAS, 2017).

Conforme Pena, o domínio morfoclimático do cerrado é composto por diferentes tipos de solos e formas de relevo, que estão relacionados tanto com a composição climática quanto com a caracterização da vegetação e de seu passado geológico. Em geral, os solos do Cerrado caracterizam-se pela predominância dos Latossolos e pela sua acentuada acidez.

A ausência de fertilidade dos solos do Cerrado foi resolvida na agricultura por intermédio da aplicação de técnicas específicas, como calagem (correção da acidez por meio do calcário), adubação fosfatada, adubação potássica e outras.

Temperatura

Conforme o site especializado Climate-data.org. (2017), em Palmas-TO é predomina o clima tropical com estação seca (Aw, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger). A temperatura quente predomina todo o ano sendo que a média das máximas em setembro é de 36°C e a média das mínimas é de 22° C, em julho. Assim, a temperatura média anual é de 26° C.

Conforme na Figura 3 pode-se observar que o Estado do Tocantins tem sua temperatura média observada no ano de 2017 na escala entre 26° C a 28° C.

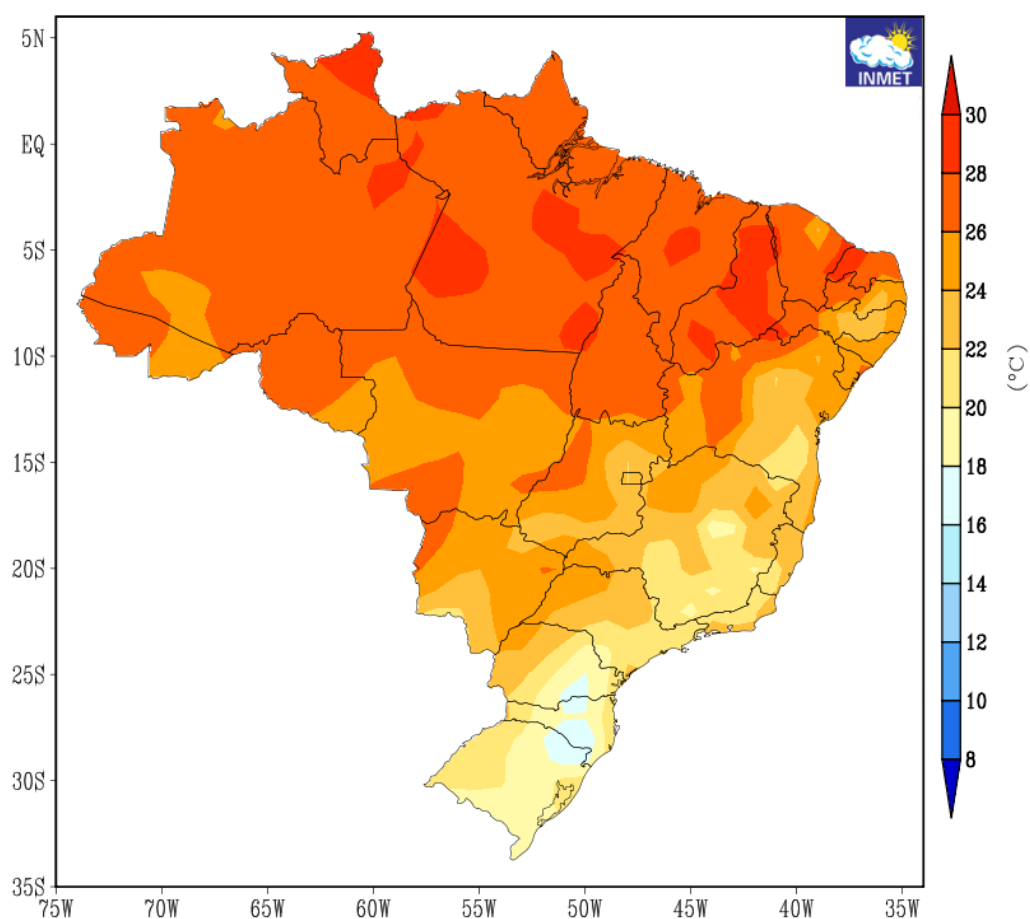


Figura 4 - Temperatura Médias Observadas
Fonte: INMET (2017).

3.1.3. Estações de Tratamento de Esgoto

Atualmente a cidade Palmas possui seis estações de tratamento de esgotos, porém apenas quatro estão em operação, pois a estação situada no setor Santa Bárbara está funcionando apenas como Estação Elevatória de Esgoto e a ETE Prata foi desativada, seu efluente sendo encaminhado para a ETE Norte.

As ETE's compactas: Taquari, Santa Fé e Santa Bárbara apresentam o mesmo tipo de tratamento, diferindo das ETE's Norte, Prata e Aurenny, conforme ilustrado no Quadro 8, que também apresenta as áreas de influência de cada estação.

Na figura 4 é possível visualizar a disposição das ETEs na cidade de Palmas-TO.

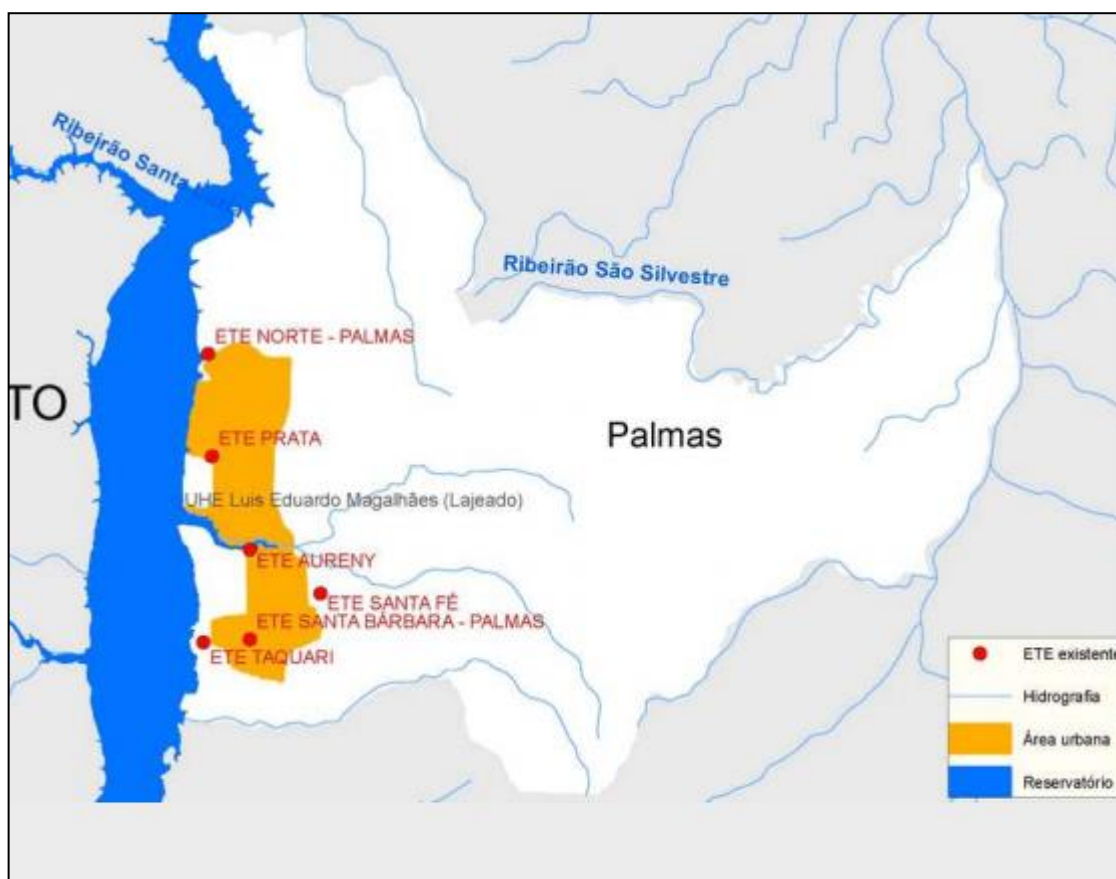


Figura 5 - Localização das ETEs de Palmas
Fonte: ANA (2017).

Quadro 8 - Tipo de tratamento, região atendida e destinação do lodo das ETEs de Palmas-TO.

ETE	Tipo de Tratamento	Região Atendida	Destinação do lodo produzido
PRATA	Reator UASB + Flotador Por Ar Dissolvido	Quadras da bacia do Prata	Pátio da ETE Norte
NORTE	Reator UASB + Lodo Ativado	Bacias do Brejo Cumprido, Sussuapara e Água fria	Armazenamento em Bags
TAQUARI	Reator UASB + Lodo Ativado + Desinfecção	Quadras T20, T21, T23, T30, T31,T32 E T33	Pátio da ETE Norte
SANTA FÉ	Reator UASB + Lodo Ativado + Desinfecção	Maria Rosa, Belo Vale, Morada do Sol I, II e III, Vale do Sol, Santa Fé, e Setor Canaã	Pátio da ETE Norte
SANTA BARBARA	Reator UASB + Lodo Ativado + Desinfecção	Parte de Taquaralto, setores Sol Nascente, Setor Sul e Bela Vista	ETE Taquari e seguido para pátio da ETE Norte
AURENY	Lagoa de Estabilização + Flotador Por Ar Dissolvido	Aureny I, II e III	Lagoa Anaeróbia da própria estação

Fonte: Palmas (2017).

3.1.4.1. ETE Prata

A ETE Prata entrou em operação em 2001, com o passar do tempo foram realizadas algumas modificações. Inicialmente seu tratamento primário era feito por reator UASB tendo como pós-tratamento filtro anaeróbio com uma capacidade instalada prevista para atender 50.000 habitantes até o ano de 2020. Mas até dezembro de 2017, a referida ETE atuava com Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB) e tratamento terciário através de flotação (PALMAS, 2017c).

O lodo gerado no processo é desidratado em leito de secagem natural, logo, o volume de lodo era reduzido, de forma que facilitava a sua disposição no pátio de lodo da ETE Norte (PALMAS, 2017c).

A Estação de Tratamento de esgotos do Prata, Figura 5, estava localizada entre as quadras 607 Sul e 709 Sul, próxima da Avenida LO-15 e foi desativada em dezembro de 2017.



Figura 6 - ETE Prata
Fonte: Palmas (2017).

As unidades que compunham a ETE Prata eram:

- Tratamento Preliminar com gradeamento manual, peneira e desarenador mecanizados
- Estação Elevatória de Esgoto Bruto e tratamento primário através de Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)
- Tratamento Terciário (denominação da concessionária): Flotação com ar dissolvido, Figura 6.



Figura 7 - Flotador da ETE Prata
Fonte: Palmas (2017).

- Tratamento do lodo gerado: Bags (ETE Norte), Figura 8.
- Queimador de Gás
- Unidades auxiliares, como casa do operador/casa de produtos químicos e centrífugas

Quanto a qualidade do efluente tratado da ETE Prata tem média de eficiência de remoção de DBO para esta estação na ordem de 86,4% (PALMAS, 2017).

3.1.4.2. ETE Norte

É a principal ETE de Palmas, com estrutura e equipamentos capazes de tratar os maiores volumes e está situada na região norte de cidade, próxima ao condomínio Polinésia – Residence Resort.

A ETE Norte trata os esgotos das quadras que compõem a Bacia do Brejo Comprido e do Sussuapara (PALMAS, 2017).

As tecnologias de tratamento da ETE consistem em um reator anaeróbico de fluxo ascendente, e lodos ativados com remoção biológica de nutrientes, tendo capacidade para operar com uma vazão de lançamento de até 220 L/s, sendo o ponto de lançamento de esgoto tratado o reservatório da UHE de Lajeado (PALMAS, 2017b).

Nesta ETE foi instalado um pátio de lodo composto por Bags para desidratação do resíduo, Figura 8.

O material gradeado e oriundo da caixa de areia recebe calagem, para prevenir a proliferação de vetores e é encaminhado para o aterro sanitário.

A ETE possui as seguintes unidades em operação:

- Vista aérea da ETE Norte. Figura 7.



Figura 8 – ETE Norte.
Fonte: Google Maps (2018).

- Gradeamento mecanizado
- Estação Elevatória de Esgoto Bruto
- Tratamento Preliminar: Desarenadores mecanizados tipo *air-lift*, grade escalar
- Tratamento Primário: realizado por reatores UASB
- Queimador de Gás
- Tratamento Secundário: Lodos ativados convencionais
- Além do Decantador secundário
- Armazenamento do lodo produzido em tanques de lodo
- Desidratação do lodo: realizada através de Bags, Figura 8.



Figura 9 – Bags no pátio da ETE Norte (2016)

- Unidades auxiliares
 - Casa do operador
 - Casa de centrífugas
 - Casa dos sopradores
- Tanques de contenção de produtos químicos.

Quanto a qualidade do efluente tratado tem a média de eficiência de remoção de DBO para esta estação na ordem de 86,4% (Palmas, 2017).

3.1.4.3. ETE Taquari

A ETE compacta Taquari foi inaugurada no fim de 2015 e atende às quadras T20, T21, T23, T30, T31, T32 e T33 deste setor.

A estação está em operação realizando o tratamento primário por meio de reator UASB, tratamento secundário por lodos ativados convencional, e tratamento terciário com tanque de contato de cloro, sendo responsável pela desinfecção, removendo compostos orgânicos, nitrogênio e amônia na forma solúvel (PALMAS, 2013d).

A ETE Taquari, possui capacidade de tratamento é de 10,0 L/s para esgoto doméstico, conforme ilustrado no Quadro 10 onde retrata a vazão de operação (PALMAS, 2017).

Quanto a qualidade do efluente tratado tem a média de eficiência de remoção de DBO para esta estação na ordem de 93,86% (Palmas, 2017).

3.1.4.4. ETE Santa Fé

A ETE Santa Fé (Figura 9) possui capacidade de tratamento de 20,0 L/s, para esgoto doméstico, e atende os Bairros Maria Rosa, Belo Vale, Morada do Sol I, II e II, Vale do Sol, Santa Fé e Setor Canaã. (PALMAS, 2017).

Foi implantada em 2016, a duplicação das unidades de tratamento do sistema Santa Fé (Reator UASB, lodo ativado convencional e decantador) e foram instaladas dez valas de infiltração, separadas por barreiras de contenção, para lançamento do efluente tratado no solo (PALMAS, 2017i).



Figura 10 - ETE Santa Fé

Fonte: Palmas (2017).

Quanto a qualidade do efluente tratado a média de eficiência de remoção de DBO para esta estação na de ordem 94% (PALMAS, 2017).

3.1.4.5. ETE Santa Bárbara

A ETE Santa Bárbara (Figura 10) atende parte de Taquaralto e os setores Sol Nascente, Bela Vista e Sul. Possui capacidade de tratamento de 20 L/s, porém a estrutura está desativada, sendo que atualmente funciona apenas a Estação Elevatória de Esgoto (EEE), com objetivo de transpor a vazão afluente para a ETE Taquari. A EEE foi instalada devido ao corpo receptor da ETE Santa Bárbara não possuir vazão suficiente para garantir a autodepuração (PALMAS, 2013f).



Figura 11 - ETE Santa Bárbara
Fonte: Palmas (2017).

3.1.4.6. ETE Aurenny

A ETE Aurenny (Figura 11), está localizada próxima à ponte sobre o Ribeirão Taquarussu e recebe os esgotos de parte da região sul tendo como processo de tratamento biológico o sistema de lagoas de estabilização em série e tratamento terciário através de um flotador físico-químico, com capacidade instalada de 60 L/s. (PALMAS, 2017).



Figura 12 - ETE Aureny
Fonte: Palmas (2017).

O processo de tratamento da ETE Aureny é constituído de:

- Tratamento Preliminar (Grades de limpeza manual, Desarenador manual tipo canal, Medidor de vazão tipo Parshall).
- Tratamento Biológico – Lagoas de Estabilização (anaeróbia, facultativa e de maturação).
- Tratamento Terciário – Sistema de flotação para remoção de algas e de fósforo.
- Saída do efluente tratado, através de Calha Parshall.

A Figura 12 mostra o ponto de lançamento do efluente final da ETE Aureny.



Figura 13 – Ponto de lançamento do efluente tratado da ETE Aureny.
Fonte: Palmas (2017).

Quanto a qualidade do efluente tratado a média de eficiência de remoção de DBO para esta estação na ordem de 95,3% (PALMAS, 2017).

3.1.5. População atendida com os serviços de esgotamento sanitário

As vazões de esgotos foram calculadas pela aplicação sobre as populações estimadas, dos critérios e parâmetros como; consumo per capita; perdas totais médias no sistema de distribuição; coeficiente de variação de consumo; coeficiente de retorno e de infiltração. As contribuições de esgotos apresentaram os seguintes resultados, como apresentado no Quadro 9 a seguir (PALMAS, 2017).

Quadro 9 - População atendida com os serviços de esgotamento sanitário

Ano	ATENDIMENTO COM ESGOTO			
	ÁREAS APTAS			
	Índice de atendimento	População	Economias	Ligações
		(Hab)	(Unid)	(Unid)
2017	90%	200.376	76.373	72.736
2018	91%	204.225	77.904	74.194
2022	95%	245.995	94.145	89.662

Fonte: Palmas (2017).

3.2. Origem dos dados utilizados

Os levantamentos dos dados utilizados nas estimativas de produção do lodo foram obtidos através dos relatórios de monitoramento da Concessionária fornecidos pela Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA) com a complementação dos dados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 - Dados dos processos de tratamento de esgoto das ETEs

Item	Unidade	ETE NORTE ⁽¹⁾	ETE AURENY ⁽³⁾	ETE TAQUARI ⁽²⁾	ETE SANTA FÉ
População Atendida	Hab.	130399	26000	8487	13328
Vazão de Projeto	L/s	220	49,44	10	20
Vazão Média do Efluente	L/s	190 ⁽⁵⁾	34,27	11,08	10
DQO afluente ⁽⁴⁾	Mg/l	862,18	1149,43	525,88	1052,12

Fonte: Dados pesquisados na FMA.

¹ A ETE Norte foi dividida em cinco módulos. Atualmente estão operando dois módulos com capacidade para 110 L/s cada. Para a vazão média do efluente da ETE Norte foi levada em consideração além de sua vazão de 150 L/s, também o acréscimo da vazão da ETE Prata de 39,99 L/s, contabilizando 190 L/s ao total;

3.3. Fórmulas para cálculo da estimativa da população atendida por ETE.

$$Q = (P \times q \times 0,8) / 86.400$$

Onde:

P = população, número de indivíduos

q = consumo per capita por dia (Palmas, usual adotado é de 200L/hab.dia)

0,8 = coeficiente de retorno usual de 80% do consumido por pessoa por dia

Q = vazão média em L/s.

3.4. Fórmulas para cálculo da estimativa da produção do lodo

Para a estimativa da produção de lodo foram utilizadas as fórmulas desenvolvidas por Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001), que tratam da carga de DQO aplicada, a produção de lodo em si e a vazão de lodo.

$$\text{Carga de DQO} = Q_{\text{méd afl}} \times \text{Conc DQO afl} \quad (1)$$

Onde:

$Q_{\text{méd afl}}$ = Vazão média afluyente

Conc DQO afl = Concentração de DQO no afluyente

$$\text{Produção de lodo} = Y \times \text{Carga de DQO} \quad (2)$$

Onde

Y = coeficiente de produção de sólidos.

$$\text{Vazão de lodo} = \text{Carga de SS} / \text{Sól. Secos} \times \rho \quad (3)$$

² as unidades de tratamento da ETE Santa Bárbara estão desativadas, somente em funcionamento a Estação Elevatória, sendo que o esgoto é direcionado para ETE Taquari. A Vazão Média de Operação da ETE Taquari atual é de 11,08 L/s, pois após a desativação da ETE Santa Bárbara, o esgoto que era recebido pela estação (6,71 L/s) está sendo recalcado para a ETE Taquari.

³ A estação atende à vazão estabelecida, operando atualmente com 34,27 L/s, porém, com o posterior recebimento dos efluentes da ETE Santa Bárbara (6,71 L/s).

⁴ os valores de DQO do afluyente foram obtidos por média dos meses disponíveis para consulta.

⁵ ANA (2017), a vazão de operação da ETE Norte é de 150 L/s referente ao ano de 2013 e incluindo a vazão de 40 L/s recalcada da ETE Prata, estimada, sem considerar a infiltração entre a ETE Prata e a ETE Norte, feita com soma direta.

Onde:

Carga de SS = Carga de sólidos ou produção de lodo

Sól. Secos = Teor de sólidos secos

ρ = densidade

Para os cálculos da produção de adotou-se os valores presentes nos Quadros 11 e 12.

Quadro 11 - Faixas de densidade e massas específicas de diversos tipos de lodo

Tipo de lodo	% sólidos secos	Densidade dos sólidos	Densidade do Lodo	Massa específica (kg/m³)
Lodo primário	2 - 6	1,14 - 1,18	1,003 - 1,01	1003 - 1010
Lodo secundário anaeróbio	3 - 6	1,32 - 1,37	1,01 - 1,02	1010 - 1020
Lodo secundário aeróbio (LA conv.)	0,6 - 1,0	1,14 - 1,18	1,001	1001
Lodo secundário aeróbio (era. Prol.)	0,8 - 1,2	1,22 - 1,27	1,002	1002
Lodo de lagoa de estabilização	5 - 20	1,37 - 1,64	1,02 - 1,07	1020 - 1070
Lodo primário adensado	4 - 8	1,14 - 1,18	1,006 - 1,01	1006 - 1010
Lodo secundário adensado (LA conv.)	2 - 7	1,14 - 1,18	1,003 - 1,01	1003 - 1010
Lodo secundário adensado (Aeração Prol.)	2 - 6	1,22 - 1,27	1,004 - 1,01	1004 - 1010
Lodo misto adensado	3 - 8	1,14 - 1,18	1,004 - 1,01	1004 - 1010
Lodo misto digerido	3 - 6	1,27 - 1,32	1,007 - 1,02	1007 - 1020
Lodo desidratado	20 - 40	1,27 - 1,32	1,05 - 1,1	1050 - 1100

Fonte: Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001).

Quadro 12 – Valores usuais de densidades do lodo

Tipo de lodo	Densidade	Massa Específica (kg/m³)
Lodo primário	1,02 - 1,03	1020 - 1030
Lodo secundário anaeróbio	1,02 - 1,03	1020 - 1030
Lodo secundário aeróbio	1,005 - 1,025	1005 - 1025
Lodo adensado	1,02 - 1,03	1020 - 1030
Lodo digerido	1,03	1030
Lodo desidratado	1,05 - 1,08	1050 - 1080

Fonte: Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001).

4. RESULTADOS

Inicialmente foi feita a estimativa da produção de lodo por ETE em função dos processos de tratamento implantados.

Foram adotados somente os dados da FMA e da ANA, de onde são os dados mais recentes e oficiais.

4.1. Cálculo da produção de lodo

Segundo Metcalf e Eddy (2016) períodos de máxima carga hidráulica, geralmente, não estão relacionadas com concentrações máximas de carga orgânica, o que justifica o uso do valor médio, a principal razão para isto é que a capacidade de armazenagem nas unidades de tratamento de efluentes e processamento de sólidos tendem a amortizar a carga de sólidos de pico, assim todos os valores usados para cálculo de produção de lodo foram feitos adotando-se os valores médios dos intervalos sugeridos pela literatura.

De acordo com Von Sperling (2001), a adoção do valor do coeficiente de produção de sólidos (Y) para UASB + Lodos Ativados Convencionais foi de 0,26 kgSS/kgDQO; a massa específica do lodo efluente (ρ) foi de 1.014 kg/m³, pois trata-se de Lodo misto digerido; já o valor de teor de sólidos do lodo desidratado foi de 35 % por se tratar de lodo misto com secagem por gravidade, visto que o lodo atualmente é seco em Bags na ETE Norte; sendo a captura de sólidos adotada na desidratação foi de 95 %.

4.1.1. ETE Norte

O Quadro 13 demonstra a média realizada dos parâmetros de DQO e da temperatura dos meses de janeiro de 2016 a outubro de 2017 para a ETE Norte.

Quadro 13 - Média de DQO e Temperatura da ETE Norte

ETE Norte													
RESULTADOS NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO – MATRIZ EFLUENTES													
Parâmetro	Unidade	2016											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temperatura	°C	30,6	30,6	30	32,8	31,6	31,7	30,2	29,9	32,2	31,1	32,3	32
DQO	Mg/L	844	662	825	822	808	849	1055	956	873	1525	697	718
Parâmetro	Unidade	2017											
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	Média total	
Temperatura	°C	30,8	30,3	28,7	29	31,8	31,8	29,9	29	27,9	32	30,615	
DQO	Mg/L	1424	831	372	476	625	963	1046	637	848	1112	862,18	

Fonte: Palmas (2017g).

O Quadro 14 demonstra a quantidade final produzida pela ETE Norte, assim como os dados gerais do sistema Reator UASB + LA.

Quadro 14 – Dados e lodo produzido da ETE Norte

ETE NORTE					
DADOS REAIS		DADOS ADOTADOS		LODO	
Tipo de lodo	Lodo secundário	Coeficiente de produção de sólidos (Y)	0,26 kgSS/kgDQO	Produzido	90,72 m3/dia
Desidratação do lodo	Bags	Massa específica do lodo efluente (ρ)	1.014 kg/m3		
População (hab)	130.999	Teor de sólidos do lodo efluente (c)	4 %		
Vazão média afluente (Q)	190 L/s	Captura de sólidos na desidratação	95 %	Produzido Desidratado	9,85 m3/dia
DQO afluente	862,18 gDQO/m3				
Teor de sólidos do lodo desidratado	35 %				

4.1.2 ETE Taquari

O Quadro 15 demonstra a média realizada dos parâmetros de DQO e da temperatura dos meses disponíveis para consulta, entre os anos de 2016 e 2017 para a ETE Taquari.

Quadro 15 – Média de DQO e Temperatura da ETE Taquari

ETE Taquari										
RESULTADOS NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO – MATRIZ EFLUENTES										
Parâmetro	Unidade	2016							2017	
		mai	jun	jul	ago	set	out	nov	jan	fev
Temperatura	°C	31,2	31,6	30,1	30,4	32,6	30,8	32	30,9	27,6
DQO	Mg/L	283	577	665	405	1830	290	723	798	70
Parâmetro	Unidade	2017								
		mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	Média total
Temperatura	°C	28,9	28,7	28,2	29,1	29,1	28,1	28	31,7	29,97
DQO	Mg/L	106	212	289	782	362	877	226	445	525,88

Fonte: Palmas (2017h).

O Quadro 16 demonstra a quantidade final produzida pela ETE Taquari, assim como os dados gerais do sistema Reator UASB + LA.

Quadro 16 – Dados e lodo produzido da ETE Taquari

ETE TAQUARI					
DADOS REAIS		DADOS ADOTADOS		LODO	
Tipo de lodo	Lodo secundário	Coefficiente de produção de sólidos (Y)	0,26 kgSS/kgDQO	Produzido	3,23 m3/dia
Desidratação do lodo	Bags	Massa específica do lodo efluente (ρ)	1.014 kg/m3		
População (hab)	8.487	Teor de sólidos do lodo efluente (c)	4 %		
Vazão média afluente (Q)	11.08 L/s	Captura de sólidos na desidratação	95 %	Produzido Desidratado	0,35 m3/dia
DQO afluente	525,88 gDQO/m3				
Teor de sólidos do lodo desidratado	35 %				

4.1.3. ETE Santa Fé

O Quadro 17 demonstra a média realizada dos parâmetros de DQO e da temperatura dos meses disponíveis para consulta, entre os anos de 2016 e 2017 para a ETE Santa Fé.

Quadro 17 - Média de DQO e Temperatura da ETE Santa Fé

ETE Santa Fé										
RESULTADOS NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO – MATRIZ EFLUENTES										
Parâmetro	Unidade	2016								
		set	out	nov	dez	jan	fev	mar	abr	
Temperatura	°C	31,8	31,6	31,7	32,8	28,6	29,3	31,7	30	
DQO	Mg/L	2124	1189	1274	1039	948	1338	991	518	
Parâmetro	Unidade	2017								
		mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média total
Temperatura	°C	28,9	30	30,7	29,5	29,3	33,2	31,8	30	30,9
DQO	Mg/L	373	1054	893	719	806	990	1358	1220	1052,1

Fonte: Palmas (2017i).

O Quadro 18 demonstra a quantidade final produzida pela ETE Santa Fé, assim como os dados gerais do sistema Reator UASB + LA.

Quadro 18 – Dados e lodo produzido da ETE Santa Fé

ETE SANTA FÉ					
DADOS REAIS		DADOS ADOTADOS		LODO	
Tipo de lodo	Lodo secundário	Coefficiente de produção de sólidos (Y)	0,26 kgSS/kgDQO	Produzido	5,83 m3/dia
Desidratação do lodo	Bags	Massa específica do lodo efluente (ρ)	1.014 kg/m3		
População (hab)	13.328	Teor de sólidos do lodo efluente (c)	4 %		
Vazão média afluente (Q)	10,0 L/s				
DQO afluente	1052,1 gDQO/m3	Captura de sólidos na desidratação	95 %	Produzido Desidratado	0,63 m3/dia
Teor de sólidos do lodo desidratado	35 %				

4.1.4. ETE Aurenny

O Quadro 19 demonstra a média realizada dos parâmetros de DQO e da temperatura dos meses disponíveis para consulta, entre os anos de 2016 e 2017 para a ETE Aurenny.

Quadro 19 - Média de DQO e Temperatura da ETE Aurenny

ETE Aurenny												
RESULTADOS NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO – MATRIZ EFLUENTES												
Parâmetro	Unidade	2016										
		jan	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Temperatura	°C	32	31,9	32,9	31,9	32,4	28,1	30	30	32,2	31,3	32,9
DQO	Mg/L	1244	1016	1019	983	1220	1351	1321	1344	873	1686	1306
Parâmetro	Unidade	2017										
		jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	Média total
Temperatura	°C	30,6	29,8	30,2	29,7	29	29,8	28,9	28	28,3	31,8	30,55714
DQO	Mg/L	1464	1033	879	974	1023	1112	1267	1001	972	1050	1149,429

Fonte: Palmas (2017j).

No FAD adotou-se o uso do cloreto férrico comercial em solução que possui 38 % e densidade de $\rho = 1,42$, de onde se conseguiu as quantidades necessárias de solução de cloreto férrico em função da vazão a ser tratada, conforme Quadro 20 abaixo:

Quadro 20 – Quantidades necessárias de solução em relação a vazão

Vazão	Nec.FeCl ₃ .H ₂ O (Kg/dia)	Nec. De FeCl ₃ 38% (Kg/dia)	Nec. De FeCl ₃ (L/dia)
30 L/s	259,2	682,1	480,35
66L/s	574,4	1511,6	1064,5

Fonte: Palmas (2012g).

Como na ETE Aurenny foi feita a opção pelo coagulante cloreto férrico, tem-se uma estimativa das quantidades e volumes médios de lodo gerado no flotador conforme apresentado na Quadro 21.

Quadro 21 –Volumes médio de lodo gerado

Vazão de operação	Quantidade de Lodo (Kg SS/dia)	Vazão do lodo removido (m ³ /dia)
30 L/s	376	9
66 L/s	827	20

Fonte: Palmas (2012g).

Logo, para 40 L/s a vazão do lodo removido da ETE Aurenny seria aproximadamente de 12 m³/dia. Ressalta-se que o lodo do tratamento físico-químico está sendo encaminhado para estabilização na lagoa anaeróbia da própria ETE.

5. DISCUSSÃO

Os processos de tratamento empregados nas ETEs de Palmas-TO realizam as combinações de diferentes tecnologias, de maneira a alcançar os níveis de remoção de matéria orgânica e nutrientes exigidos para cada corpo receptor.

Foram descritos os tipos de lodos encontrados nas ETEs de Palmas em função do processo de tratamento empregado, conforme ilustrado no Quadro 22.

Quadro 22 - Origem e descrição dos tipos de lodo das ETEs de Palmas-TO.

Tipo do lodo	Origem	Descrição
Lodo Químico	Tratamentos com etapa físico-química	Resultado da precipitação química com cal ou com sais metálicos. Taxa de decomposição menor que a do lodo primário.
Lodo Biológico Anaeróbio (Estabilizado)	- Reatores anaeróbios (filtros anaeróbios, UASB)	Longo período de retenção da biomassa anaeróbia a fim de favorecer a digestão (anaeróbia) do próprio material celular, fato que torna desnecessária a existência de uma etapa de digestão posterior. Neste caso o lodo já sai estabilizado do reator.
Lodo Biológico Aeróbio (Não Estabilizado)	- Lodos ativados convencional	É a biomassa de microrganismos aeróbios oriundos do processo de digestão aeróbia da matéria orgânica (alimento) presente no esgoto afluente. Para manter o equilíbrio do sistema a biomassa excedente precisa ser retirada. Neste caso, o lodo não sai digerido (estabilizado), pois as condições para a realização da respiração endógena pela biomassa não são favorecidas.

Fonte: Adaptado de Tchobanoglous, Burton e Stensel (2003) e Gonçalves, Ludovice e Von Sperling (2001).

O lodo de esgoto em seu estado natural é rico em organismos patogênicos, facilmente putrescível e que desenvolvem odores ofensivos, assim, os processos de estabilização foram desenvolvidos com objetivo de estabilizar a fração biodegradável da matéria orgânica presente no lodo, reduzindo o risco de putrefação e diminuindo a concentração de patogênicos (VON SPERLING, 2005).

Assim, os processos de estabilização podem ser divididos em:

Estabilização biológica, química e térmica; nas ETEs de Palmas-TO ocorrem os processos de estabilização biológica apenas, conforme mencionado anteriormente os lodos gerados das ETEs Norte. Aurenny, Taquari e Santa Fé são direcionados para os Bags, onde ocorre a desidratação por gravidade, apenas.

O maior volume de lodos produzidos em Palmas-TO não está estabilizado (ETE Norte), já o da ETE Aurenny, oriundo do FAD que é retornado para a lagoa, pode ter características mais favoráveis para a estabilização em decorrência de possuir um tempo de detenção hidráulica elevado, pois a idade para descarte do lodo da lagoa previsto em projeto é de cinco anos.

Segundo Von Sperling (2005), os tratamentos de lodos mais comuns no Brasil são: tratamento alcalino e secagem térmica, além de processos de compostagem que também são comuns em usinas de resíduos sólidos urbanos.

O Estado de São Paulo utiliza os lodos da ETE-Franca em plantações de café com resultados favoráveis tanto para o solo como para a planta, sendo as aplicações feitas mecanicamente mediante incorporação ao solo com um sulcador acoplado ao trator e carreta especial com rosca sem fim, a uma profundidade de 0-15 cm.

Os estudos foram realizados em propriedade comercial localizada no norte do Estado de São Paulo, município de Patrocínio Paulista. O clima se enquadra no tipo subtropical, com verão ameno e inverno seco, com a temperatura média do mês mais frio abaixo de 18 °C e do mês mais quente abaixo de 22 °C e menos de 30 mm de chuvas no mês mais seco (MARTINS, et al., 2015).

Em Brasília, de um total de 16 estações de tratamento de esgotos, 15 tratam, se não a totalidade, a maior parcela do lodo produzido, pela via anaeróbia, seja nos reatores UASB ou nos digestores anaeróbios e foi concluído que para as características atuais, as alternativas possíveis para uso e disposição dos lodos das ETEs do Distrito Federal são: recuperação de áreas degradadas, produção de substrato vegetal e codisposição em aterro sanitário. Concluiu-se ainda que um tratamento complementar para higienização do lodo permitiria sua adequação para o uso agrícola (BATISTA, 2015).

Em Goiás foi feito um estudo com o lodo resíduo de uma indústria de alimentos para a recuperação de uma área degradada através do plantio de eucaliptos. A Empresa de Saneamento do Goiás (SANEAGO) anuncia na mídia a possibilidade de utilização de

tecnologia israelense para estabilização do lodo das ETEs, a qual faz uso de energia solar para estabilização e desidratação do lodo objetivando potencializar os nutrientes NPK do resíduo (FARIA, SANTOS, 2017).

O Paraná é considerado como o Estado mais avançado no processo de reuso agrícola do lodo de esgoto, com fluxograma estabelecido para a criação e monitoramento das Unidades de Gerenciamento de Lodos (UGL). (BITTENCOURT, AISSE, SERRAT, 2017)

Atualmente o Paraná obteve a licença de operação de uma usina para geração de energia elétrica a partir de uma combinação de lodo de esgoto com a matéria orgânica do resíduo sólido urbano, sendo o fator mais importante a quantidade de bactérias que tem no lodo de esgoto. Nos dados de projeto estima-se a produção de 2,8 megawatts de energia elétrica que será gerenciada pela concessionária de energia do Estado, o processo está em andamento, tendo a capacidade de abastecer 2 mil residências populares (AESBE, 2018).

No Tocantins foram publicados alguns trabalhos com informações sobre lodo das ETEs de Palmas-TO. Na ocasião os lodos analisados são sempre os lodos dos Reatores Anaeróbios e Lodo Misto, rico em cloreto férrico (SANTOS, et al. 2015). Nos ensaios de caracterização realizados nesses trabalhos demonstraram que o lodo produzido atendia o CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006, com relação a metais pesados, fazendo também a quantificação de outros componentes conforme Quadros 23 e 24.

Quadro 23 – Resultados das análises Gravimétricas e Elementar das amostras de lodos de esgotos

Método Analítico	Lodos (amostras)		
	LD - 1	LD - 6	LD - 10
Umidade (%)	12	11,5	6,7
Cinzas (%)	32,2	46,2	31,8
Material Volátil (%)	53,9	40,6	57,8
Carbono Fixo (%)	1,9	1,8	3,7
Carbono (%)	27	15	27
Hidrogenio (%)	4,4	3,6	3,7
Nitrogenio (%)	3,6	2,7	2,7
Enxofre (%)	2,7	5,3	3,1

Fonte: SANTOS (2015).

Quadro 24 – Determinação Quantitativa de alguns metais de amostra de Lodo LD-1, de Reator UASB, usando Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP – OES)

Parâmetro analisado	Resultado (Mg/kg)	Resolução CONAMA 375/2006 (Mg/kg)
Ferro Total	28911	-
Zinco	892	2800
Manganês	82	-
Chumbo	47	300
Cobre	219	1500
Níquel	24	420
Cromo Total	39	1000

Fonte: SANTOS (2015).

De acordo com Vieira (2004), o tratamento térmico por pirólise é uma alternativa ambientalmente correta a ser empregada no reaproveitamento de biossólidos. As frações líquida e gasosa obtidas durante o processo apresentam elevados poderes caloríficos que podem ser reaproveitados no próprio processo pirolítico. O resíduo sólido gerado durante o processo também pode ser reaproveitado na construção civil. O uso da pirólise para produção de bio-óleos a partir do lodo de esgoto também está sendo objeto de estudo (PEDROZA, 2011).

Assim, como a produção de lodo estimada de Palmas-TO está em torno de 99 m³/dia, adotando-se o fator de desidratação referenciado na literatura para os lodos gerados nas diversas estações, foram obtidos os quantitativos conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Estimativa do volume de lodo desidratado

Item	Unidade	ETE Norte	ETE Aurenny	ETE Taquari	ETE Santa Fé
Volume de Lodo Produzido	M ³ /dia	9,89	12	0,35	0,63
Total Aproximado		99,75			
Total Aproximado Desidratado		22,87			

6. CONCLUSÃO

Os lodos levantados das ETEs de Palmas precisam ser caracterizados e receber estabilização para que em seguida possam ser dispostos no meio ambiente.

A construção de digestores anaeróbios de lodos propiciaria a maior produção de gás metano que poderia ser convertido em energia elétrica reduzindo a fração biodegradável da matéria orgânica, favorecendo a estabilização do lodo que deveria ocorrer antes do desague na própria ETE.

De qualquer maneira não se tem dados da caracterização do lodo produzido com a frequência necessária, assim todos os levantamentos de quantitativos foram feitos baseados em dados de outros sistemas.

- Quanto ao uso da pirólise não fica evidente o custo desse processo e a viabilidade de aplicação em escala real.
- Quanto a aplicação em aterro sanitário, a sua vantagem é que não necessita de estabilização, entretanto precisa ser desidratado e transportado, sendo tratado como um resíduo e só se justifica se o mesmo for caracterizado como lodo rico em metais pesados, caso contrário a destinação em termos de produção agrícola ou recuperação de áreas degradadas seria mais favorável a questão ambiental, pois se retornaria ao meio ambiente toda fração orgânica e os nutrientes, reduzindo o consumo de fertilizantes.
- O Landfarming é uma alternativa que precisa ser mais estudada, pois o seu custo de implantação é elevado e requer monitoramento especializado e não há aproveitamento de nutrientes do lodo, sendo ele tratado como um resíduo.
- A incineração é tratada como último recurso visando a redução de volume, mas o custo é elevado, gerando gases que precisam ser lavados para retornar a atmosfera, além de necessitar de destinação das cinzas, possivelmente em aterro controlado.

Para o Tocantins o uso agrícola para recuperação de áreas degradadas e produção de substrato vegetal parecem figurar como as melhores alternativas para disposição do lodo das ETEs de Palmas-TO, pois promove o aproveitamento de nutrientes, reduzindo a aplicação de fertilizantes químicos.

A temperatura da região é elevada e o solo é pobre de matéria orgânica, entretanto todo uso de lodo precisa de monitoramento constate observando o comportamento do solo e o efeito residual na planta, além das questões de salinização; a água subterrânea do entorno também precisa ser monitorada, então se necessita de uma equipe técnica multidisciplinar.

Um fato importante é que o município de Palmas não dispõe de áreas para produção agrícola em larga escala onde se faria o uso desse material, sendo necessário um consorcio entre os municípios vizinhos e incentivo financeiro por parte dos municípios e do Estado.

7. RECOMENDAÇÕES

- Gerar dados de monitoramento dos vários tipos de lodos produzidos por ETEs, quantitativo diário real do que é produzido e acompanhamento do teor de umidade dos Bags.
- Estudos sobre a disposição do lodo dos Bags, documentando informações sobre o custo de transporte, dificuldades de desmonte e licenciamento ambiental dos mesmos.
- Iniciar o processo de parceria entre empresas e Estado/Prefeitura para facilitar o acesso as áreas do cerrado já degradadas de maneira a começar a geração de dados para essa região.
- Iniciar o monitoramento das áreas de disposição do lodo dos reatores que foram feitos na própria área das estações.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ADAS. AGRICULTURAL DEVELOPMENT AND ADVISORY SERVICE. **The sewage sludge matrix. Guidelines for the application of sewage sludge to agricultural land.** Wolverhampton, 2001. Disponível em: <http://www.adas.co.uk/LinkClick.aspx?fileticket=f_CX7x_v4nY%3D&tabid=211&mid=664>. Acesso em: 03 out 2017.

AESBE – Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento. **Relatório Executivo de Saneamento.** 28 de fevereiro de 2018. Disponível em: < http://www.aesbe.org.br/wp-content/uploads/2018/02/RE_Saneamento_21_a_27_v2-1.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2018.

ALVES, T. D. C. V. **Análise de desempenho de estações de tratamento de esgoto visando condições de outorga e enquadramento de corpos hídricos: o caso das ETEs Aurenny e Prata, Palmas – TO.** 2016. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) - Curso de Pós-Graduação, Universidade Federal do Tocantins, Palmas – TO.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Relatório de esgotamento sanitário municipal: Atlas esgotos - Despuição de bacias hidrográficas.** Disponível em: <http://portal1.snirh.gov.br/arquivos/Atlas_Esgoto/Tocantins/Relatorio_Geral/Palmas.pdf>. Acesso em: 12 set. 2017.

ANDREOLI, C. V. (Coord.). PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO (BRASIL). **Resíduos do Saneamento:** Processamento, Reciclagem e Disposição Final. Curitiba: ABES, 2001. 257 p.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos:** tratamento e disposição final. Belo Horizonte: DESA; Universidade Federal de Minas Gerais, 2001. 483 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.6)

ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. (orgs.). **Reciclagem de bio sólidos:** transformando problemas em soluções. 2. ed. Curitiba: SANEPAR, FINEP, 2001. 288 p.

ANDREOLI, C. V; FERREIRA, A. C. (b) **Destino final do lodo**. In. ANDREOLI, C. V. (Ed. Tec.). **Programa de Pesquisa em Saneamento Básico PROSAB: Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba. Sanepar, 1999. p. 18-20.

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

ANDREOLI, C.V.; TAMANINI, C.R.; HOLSBACH, B.; PEGORINI, E.S.; NEVES, P.S. (2006). **“Uso de lodo de Esgoto na Produção de Substrato Vegetal”**. In:

ANDREOLI, C. V (ed). **Alternativas de Uso de resíduos do Saneamento – Projeto PROSAB**, Rio de Janeiro, ABES.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2005

BATISTA, L.F. (2015). **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-168/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B.M.; AISSE, M.M.; GOMES, D. (2014) **Sewage sludge usage in agriculture: a case study of its destination in the Curitiba Metropolitan Region, Paraná, Brazil**. *Water Air Soil Pollution*, v. 225, n. 9, p. 2074-2082. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v22n6/1809-4457-esa-22-06-1129.pdf>>. Acesso em: 09 mar. 2018.

BERTON, R. S. Riscos de contaminação do agroecossistema com metais pesados. In: BETTIOL, Wagner; CAMARGO, Otávio. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA, Meio Ambiente, 2000. p. 259-268.

BETTIOL W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de Esgoto, impactos ambientais na agricultura**. 1ªed. Jaguariúna SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. 346p.

BRASIL (2006). Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n. 375. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados**. Brasília. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2017.

BRASIL (2014). Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos–2013**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 181 p. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diag2013/Diagnostico_AE2013.zip>. Acesso em: 17 set. 2017.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 375 de 29 de Agosto de 2006**. Brasília, DF, 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 380 de 31 de novembro de 2006**. Brasília, DF, 2006.

CAESB. (2013). **Sinopse do Sistema de Esgotamento Sanitário do Distrito Federal**. (SIESG). Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. 26 Ed. Brasília (DF).

CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: DESA; Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. 483 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5)

Climate-data.org. **Clima: Palmas**. Disponível em: < <https://pt.climate-data.org/location/4072/>> Acesso em: 10 jan. 2018

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Manual técnico para a utilização agrícola do lodo de esgoto do Paraná**. Curitiba: SANEPAR, 1997. 96 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação.** São Paulo, 1999. 33p. (Manual Técnico-P4230).

COSTA, A. N. et al. **Lodo de Esgoto: Utilização Sustentável.** 2. ed. Vitória: DCM; Incaper, 2008.

DAMASCENO, S.; CAMPOS, J. R. **Caracterização de lodo de estação de tratamento de esgotos sanitários para uso agrícola.** 1998. On-line. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/bratar035.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2013

DAVID, A. C. **Secagem térmica de lodos de esgoto. Determinação da umidade de equilíbrio.** 2002. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

DoE. DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT. **Code of practice for agricultural use of sewage sludge.** Ruislip, 1996. 20 p.

DUARTE, A.C.L. **Incorporação de lodo de esgoto na massa cerâmica para a fabricação de tijolos maciços:** uma alternativa para a disposição final do resíduo. 2008. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

ECCO, M. H. **Perspectivas de reuso agrícola de lodo de ETE submetido à digestão anaeróbica.** 2012. 77 f. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

ENVIRONMENT AGENCY. **The Microbiology of Sewage Sludge (2004) - Part 4 - Methods for the detection, isolation and enumeration of Salmonellae. Methods for the examination of Waters and associated materials.** Bristol, UK: Environment Agency, 2004.

ENVIRONMENTAL PROTECTION SERVICE OF CANADA - EPS. Environment Canada. **Manual for and application of treated municipal wastewater and sludge.** Ontario : EPS, 1984. 216 p. (6-EP-84-1)

FARIA, P.H.S., SANTOS, H. I. (2017). **“Uso do lodo primária de esgoto urbano de ETEs na recuperação de áreas degradadas.”** Artigo (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2017. Disponível em: < <http://pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/USO%20DO%20LODO%20PRIM%C3%81RIO%20DE%20ESGOTO%20URBANO%20DE%20ETE%C2%B4s%20NA%20RECUPERA%E2%80%A6.pdf> >. Acesso em: 09 mar. 2018.

FERNANDES, F. (2000) **“Estabilização e Higienização de Biossólidos”**. In: Betiol, W.; Camargo, O.A (eds.). Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto. Jaguariúna: Embrapa, 45-68.

FERNANDES, F. (Coord.). **Uso e Manejo do Lodo de Esgoto na Agricultura.** Rio de Janeiro: PROSAB, Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. 1999. 98p.

FERNANDES, J. O. **Estudos de melhorias do processo de aproveitamento de resíduos do tratamento de esgotos sanitários para geração de biocombustíveis.** 2010. 50p. Monografia (Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

FERNANDES, S.A.P.; SILVA, S.M.C.P. da. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos.** Londrina: Prosab, Finep, 1999. 84p.

FLORÊNCIO, L., BASTOS, R.K.X., AISSE M. M (coord.) **Tratamento e utilização de esgotos sanitários,** Rio de Janeiro: ABES-PROSAB, 2006, 427 p.

FONTES, C. M. A. **“Utilização das cinzas de lodo de esgoto e resíduo sólido em concretos de alto desempenho”**. Phd. In: Thesis. Federal University of Rio de Janeiro, Brazil. (2008).

FRANCISQUETO, L. O. S. **Comportamento de reatores UASB frente a variações horárias de vazão de esgoto sanitário**. 2007. 178f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

GEWEHR, A. G. **Ecoeficiência de Estações de Tratamento de Esgoto: Índice de Lodo**. 2009. 74 f. Trabalho de Diplomação de Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; VON SPERLING, M. **Remoção da umidade de lodos de esgotos**. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná. v. 6, 2001. Cap. 5, p. 159-260.

HMSO. HER MAJESTY STATIONARY OFFICE. **Statutory Instrument No. 1263. The Sludge (Use in Agriculture) Regulation**. London, 1989. Disponível em: <http://www.opsi.gov.uk/si/si1989/Uksi_19891263_en_1.htm>. Acesso em: 07 set. 2017.

IMHOFF, K. **Manual de tratamento de águas residuárias**. 26ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1996. 301 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – INMET. **Normais Climatológicas - Gráfico Temperatura Médias Observadas 2017**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/page&page=anomaliaTempMediaAnual>>. Acesso em: 10 jan. 2018.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro, 2005. 932 p.

JUNIOR, M.C.; BOSCHI, A.O.; MOTTA, J.F.M.; TANNO, L.C.; SINTONI, A.; COELHO, J.M.; CARIDADE, M. **“Panorama e Perspectivas na Indústria de Revestimentos Cerâmicos no Brasil”**. In: Cerâmica Industrial, p. 7-18. (2010).

LEBLANC, R. J.; MATTHEWS, P.; RICHARD, R. P. **Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management**: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource. Kenya: United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT), 2008. Disponível em: http://esa.un.org/iys/docs/san_lib_docs/habitat2008.pdf>. Acesso em: 08 set. 2017.

LIMA, M. R. P. **Uso de estufa agrícola para secagem e higienização de lodo de esgoto**. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. 284 p.

LINHARES, P. DE T. F., MENDES, C. C. & LASSANCE, A. (2012). **Federalismo à brasileira: questões para discussão**. Brasília: IPEA, vol. 8, 249 p.

LIRA, A.C.S., GUEDES, M.C., SCHALCH, V. (2008). **“Reciclagem de lodo de esgoto em plantação de eucalipto: carbono e nitrogênio”**, In: Revista Engenharia Sanitária Ambiental, 13(2), 207-216.

LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgoto: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. v. 6, cap. 4, p. 123-157.

LUDUVICE, M.; FERNANDES, F. **“Principais tipos de transformação e descarte do lodo.”** In: Von Sperling, M.; Andreoli, C.V.; Fernandes, F. (eds) **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA-UFMG. p.339-423. 2001.

MARTINS, D. R. et al. **“Estado nutricional de cafeeiros comerciais após aplicações de lodo de esgoto como condicionador do solo”**. Revista de Ciências Agrárias. Amazon Journal. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/2019/656>>. Acesso em: 09 mar. 2018.

MELO, A. S. **Contribuição para o dimensionamento de leitos de secagem de lodo** 2006. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) Universidade Federal de Campina Grande — PB, 2006. METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2003. 1819 p.

MIKI, M. K., ALÉM SOBRINHO, P., VAN HAANDEL, A.C. (2006) **“Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos – condicionamento, desaguamento mecanizado e secagem térmica do lodo”**. In: Andreoli, C. V (ed). Alternativas de Uso de resíduos do Saneamento - Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, ABES.

MIKI, M.K.- **Utilização de polímeros para condicionamento de lodo de ETE para desidratação em filtro presa de placas**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

MORALES, G.; AGOPYAN, V. **“Caracterização de agregado leve obtido a partir do lodo de esgoto da cidade de Londrina.”** In: Boletim Técnico da Escola Politécnica da USPBT/PCC/64, pp. 1-20. Apud Fontes, C. M. A. (2003). “Potencialidades da Cinza de lodo de Estações de Tratamento de Esgotos como material suplementar para a produção de concreto com cimento Portland”. In: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – UFRJ, COPPE, XXp. (1992).

NUNES, J. A. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais**. 3ª ed. Aracaju: Gráfica e Editora Triunfo Ltda., 2001.

PALMAS. **Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Palmas – TO**. Volume I: Considerações Iniciais. 2017. Disponível em: <
http://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/plano_municipal_de_Saneamento__B%C3%A1sico.pdf>. Acesso em: 04 jan. 2018.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Norte. Módulo II. Palmas, 2017b.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Prata. Módulo VII. Palmas, 2017c.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Taquari. Volume I. Palmas, 2013d.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Santa Fé. Volume I. Palmas, 2013e.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Santa Bárbara. Volume I. Palmas, 2013f.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Aurenny. Volume IV. Palmas, 2012g.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Taquari. Volume III. Palmas, 2017h.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Santa Fé. Volume III. Palmas, 2017i.

_____. Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMA). ETE Aurenny. Volume VII. Palmas, 2017j.

PEDROZA, M. M.. **Bio-óleo e biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo** / Marcelo Mendes Pedroza. - Natal, 2011. 210 f.: il.

PENA, R. F. A. **"Solos do Cerrado"**; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilescola.uol.com.br/brasil/solos-cerrado.htm>>. Acesso em: 02 jan. 2018.

PIRES, A. M. M. **Lodo de Esgoto**. 2007. On-line. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/artigos/lodo_de_esgoto.html>. Acesso em: 07 set. 2017.

PIRES, A. M. **Uso Agrícola do lodo de esgoto: aspectos legais**. Jaguariúna: agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2006. 5 p.

POGGIANI, F. **Aplicação de biossólido em plantações florestais**. (ESALQ/USP) 1998, Projetos de Pesquisa.

SANTOS M. T. L, et al. “**Caracterização de lodo residual produzido em Palmas, Tocantins**.” VI JICE – IFTO, 2015, Projetos de Pesquisa.

SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F.; THOMAZ-SOCCOL, V.; MORITA, D. M. **Principais contaminantes do lodo**. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. Lodo de esgoto: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. v. 6, cap. 3, p. 69-121.

SOUSA, N. D. S. M. **Avaliação dos processos de tratamento implantados nas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) de Palmas - TO, relacionando a eficiência dos mesmos com a vazão dos corpos receptores onde são feitos os lançamentos**. 2017. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação do Tocantins, 2017.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. **Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse**. 4º ed. Metcalf & Eddy, Inc. New York: McGraw Hill, 2003.1819 p.

TSUTIYA, M.T (2001b). “**Alternativas de disposição final de biossólido**”. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.;

MELFI, A.J.; MELO, W.J. & MARQUES, M.O., eds. Biossólidos na agricultura. São Paulo, SABESP, Escola Politécnica – USP, ESALQ, UNESP, p.133-180.

USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **A plain English guide to the EPA 503 part biosolids rule**. Washington, 1994. Disponível em: <<http://www.epa.gov/OW-OWM.html/mtb/biosolids/503pe/index.htm>>. Acesso em: 10 set. 2017.

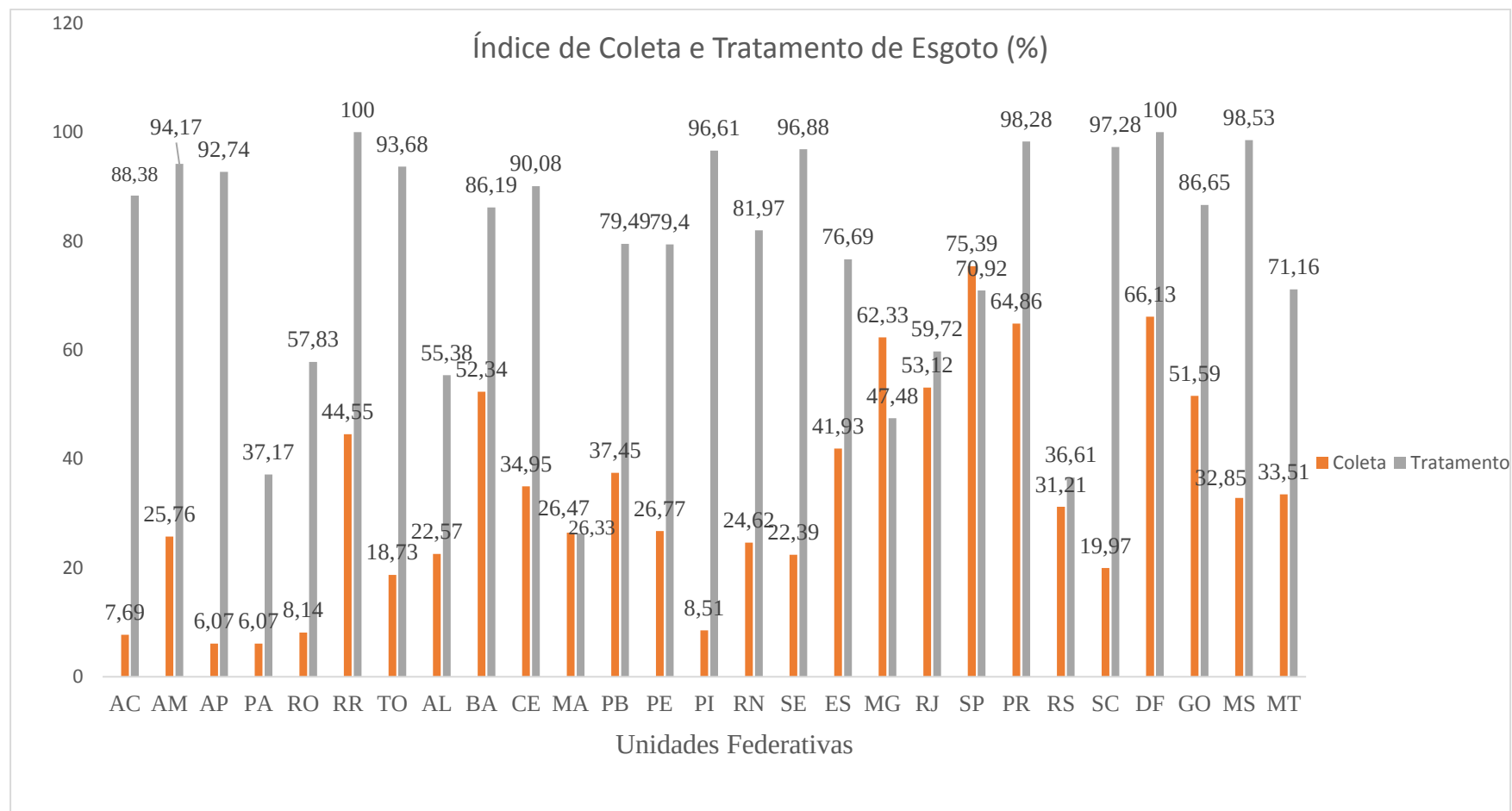
VIEIRA, G. E. G. (2004). **Fontes alternativas de energia – Processo aperfeiçoado de conversão térmica**. Tese de Doutorado. Universidade Federal Fluminense. 181p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005 v.1, cap. 5, p. 357-452.

VON SPERLING, M. **Lagoas de Estabilização**: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG. v.1. p. 283, 2005.

ANEXO A

Figura 2 - Situação brasileira em 2013 de coleta e tratamento de esgoto por Unidades da Federação



Fonte: Brasil (2014).