



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

GABRIELA BARROS DE QUEIROZ

DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DO LODO DE UMA ETE EM ESCALA REAL

NATAL
2019

GABRIELA BARROS DE QUEIROZ

DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DO LODO DE UMA ETE EM ESCALA REAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Sylvania Lucas dos Santos.

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Vieira Cunha.

NATAL

2019

GABRIELA BARROS DE QUEIROZ

DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DO LODO DE UMA ETE EM ESCALA REAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Silvania Lucas dos Santos.
Orientadora

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Prof. Dr. Paulo Eduardo Vieira Cunha.

Coorientador

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Engenheira Jessyca Ysabelly Torres

Membro interno

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Engenheiro Raulyson Ferreira de Araújo

Membro externo

COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE – CAERN

RESUMO

A produção de lodo de esgoto (LE) é algo crescente tendo em vista o aumento da população e dos sistemas de esgotamento sanitário. O lodo é considerado um resíduo segundo a legislação federal 12.305/2010 e é, portanto, necessário uma disposição adequada. Atualmente as mais utilizadas são: agricultura, aterro sanitário e compostagem. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) enquadra o lodo como um produto agrícola. A disposição agrícola vem se tornando uma alternativa bastante atrativa, principalmente para o Brasil, devido ao potencial nutritivo do LE. Para sua disposição foi elaborado em 2006 a resolução do CONAMA 375/2006 que confere parâmetros para a aplicação desse bio-sólido no solo, embora, antes disso, já houvesse normativas e manuais elaborados pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), pois eles já faziam o uso do lodo na agricultura. O trabalho tem como objetivo mostrar a viabilidade econômica do uso do lodo biológico em atividade agrícola em substituição ao aterro sanitário. Realizou-se, então, no período de 10 meses (jan – out/2019) a quantificação do lodo gerado pela Estação de Tratamento Sistema Central (ETE Baldo), localizada na cidade de Natal, Rn, e o gasto médio mensal com a disposição no aterro sanitário da região metropolitana de Natal, atual destino. Em seguida através da utilização de índices disponíveis na literatura e estudos foi realizado o cálculo dos custos para a nova proposta (uso agrícola). Com a disposição atual a ETE possui um gasto mensal de R\$ 8.624,29. Logo, embora haja uma economia de 16,9% com a reciclagem agrícola, esse tipo de disposição não é atrativo economicamente para Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) atualmente. No entanto, considerando-se a construção de duas novas unidades de tratamento de esgoto, essa ideia pode ser interessante em um cenário futuro.

Palavras-chave: lodo de esgoto, custo, agricultura, viabilidade econômica.

ABSTRACT

Sewage sludge (LE) production is increasing in view of the increase in population and sewage systems. Sludge is considered a waste under federal law 12.305 / 2010 and therefore an appropriate disposal is required. Currently the most used are: agriculture, landfill and composting. The Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA) frames the sludge as an agricultural product. Agricultural disposition has become a very attractive alternative, especially for Brazil, due to the nutritional potential of LE. For its disposal was prepared in 2006 the resolution of CONAMA 375/2006 that gives parameters for the application of this biosolid in the soil, although, before that, there were already normative and manuals prepared by the Environmental Company of the State of São Paulo (CETESB) and Companhia de Sanitation of Paraná (SANEPAR), because they were already using the sludge in agriculture. This paper aims to show the economic viability of the use of biological sludge in agricultural activity to replace the landfill. Then, during the 10-month period (Jan - Oct / 2019), the sludge generated by the Central System Treatment Station (ETE Baldo), located in the city of Natal, Rn, was quantified and the monthly average expenditure on disposal in the landfill of the metropolitan region of Natal, current destination. Then, through the use of indexes available in the literature and studies, the costs were calculated for the new proposal (agricultural use). With the current provision ETE has a monthly expense of R \$ 8,624.29. Thus, although there is a 16.9% saving on agricultural recycling, this type of disposal is not economically attractive to the Rio Grande do Norte Water and Sewage Company (CAERN) today. However, considering the construction of two new sewage treatment units, this idea may be interesting in a future scenario.

Keywords: sewage sludge, cost, agriculture, economic viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Situação brasileira em 2017 de coleta e tratamento de esgoto por Unidades da Federação de acordo com dados extraídos do SNIS 2018.

Figura 2 – Tipos de disposição do lodo de Estações de Tratamento de Esgoto nos países da União Europeia.

Figura 3 - Tipos de disposição do lodo de Estações de Tratamento nos EUA

Figura 4 - Quantidade de artigos encontrados nas bases de pesquisas de dados pesquisados no recorte temporal entre 2004 a 2014, divididos quanto a aplicação do lodo de esgoto no solo e industrial.

Figura 5 - Localização da Estação de Tratamento do Baldo.

Figura 6 - Tratamento da fase líquida da Estação de Tratamento Baldo

Figura 7- Tratamento da fase líquida da Estação de Tratamento Baldo

Figura 8 – Fluxograma e planta da ETE Baldo

Figura 9 – Centrífuga da ETE do Baldo

Figura 10 – Quantidade de lodo proveniente da ETE Baldo enviada para o aterro sanitário da região metropolitana de Natal nos meses de janeiro a outubro de 2019.

Figura 11 – Comparação do custo com o transporte e o custo com a disposição no aterro.

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Produção de lodo de esgoto em sistemas aeróbios e anaeróbios

Tabela 2 – Comparação dos custos da disposição final do lodo de esgoto

Tabela 3 – Índices de custo - Aterro Sanitário

Tabela 4 – Índices de custos mensal* - Aterro Sanitário

Tabela 5 – Custos com disposição com base na literatura

Quadro 1 - Classificação de lodo das ETEs

Quadro 2 - Etapas do tratamento do LE, métodos e objetivos.

SUMÁRIO

1. Introdução.....	10
2. Objetivos.....	12
2.1. Objetivos Específicos.....	12
3. Revisão Bibliográfica	12
3.1. O Lodo de Esgoto	12
3.2. Produção de Lodo	15
3.3. Tratamento do Lodo.....	16
3.4. Aspectos Higiênicos.....	18
3.5. Disposição de Lodo.....	19
3.6. Estudos de Caso Sobre Aproveitamento do Lodo.....	24
4. Metodologia.....	27
4.1. Estação de Tratamento Sistema Central (ETE Baldo).....	27
4.2. Tratamento do Lodo Utilizado Pela ETE Baldo	33
5. Resultados e Discussões	33
5.1. Produção de Lodo	33
5.2. Gastos com Disposição do Lodo.....	34
5.3. Custos com Disposição Agrícola.....	36
6. Conclusões.....	37
Referências	39

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população, a urbanização, a industrialização e as atividades econômicas têm como consequência a geração de resíduos. O descarte impróprio desses resíduos pode trazer graves problemas ambientais, sanitários e de saúde pública. Diante disso, há também uma crescente preocupação com o meio ambiente por parte da sociedade.

No Brasil, a Lei Federal nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, diz que para todas as atividades geradoras de resíduos se faz necessário um plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRS). Este documento técnico identifica a tipologia e a quantidade de geração de cada tipo de resíduo e indica as formas ambientalmente corretas do manejo, nas etapas de geração, acondicionamento, transporte, transbordo, tratamento, reciclagem, destinação e disposição final (BRASIL, 2010).

O processo de tratamento de esgoto é uma atividade geradora de resíduo, dentre eles o lodo de esgoto (LE). Portanto, de acordo com a Lei 12.305/2010 o LE é considerado um resíduo, pois ele é um subproduto das estações de tratamento de esgoto (ETE), fazendo-se necessário o tratamento e a disposição final adequada (BRASIL, 2010).

Segundo a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 375/2006, retificada pela resolução CONAMA 380/2006, o LE é uma fonte potencial de riscos à saúde pública e ao meio ambiente, além de potencializar a proliferação de vetores. Tendo em vista tais problemas, nessa mesma resolução, cita-se a necessidade da disposição desse lodo de maneira adequada (BRASIL, 2006).

O País ainda possui grandes dificuldades no que diz respeito a gestão de resíduo. A disposição inadequada, coleta informal e a insuficiência do sistema de coleta pública são exemplos disso (LINHARES; MENDES; LASSANCE, 2012). Esse fato é corroborado pelos dados autodeclarados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, aonde 16 unidades federativas têm seus índices de coleta de esgoto abaixo de 50% (BRASIL, 2017). O que mostra o quão ainda é ineficiente a gestão de resíduo, inclusive a gestão do lodo de esgoto.

Há várias formas de tratamento e disposição do lodo. O tratamento pode ser feito de duas maneiras: natural ou mecânica. Além disso, ele é constituído por várias etapas: adensamento, estabilização, condicionamento, desaguamento ou desidratação, higienização e secagem térmica (METCALF; EDDY, 2015). Após essas etapas, procede-se a disposição

final podendo ser: uso na compostagem, incineração, aterro sanitário, uso na agricultura, entre outros (CASTRO; SILVA; SCALIZE, 2015)

O LE pode ser considerado o subproduto mais importante da ETE, pois possui o maior volume produzido, além de ter um potencial nutritivo o que pode trazer uma série de benefícios ao meio ambiente, através da ciclagem de nutrientes do solo, dependendo de como ele é tratado e disposto (METCALF; EDDY, 2015; ANDREOLI, 1999).

Outro fator que torna esse resíduo importante são os gastos utilizados para o tratamento e disposição. Eles chegam a atingir entre 30% e 50% do custo operacional da ETE, mesmo que o seu volume corresponda a apenas 1-2% do volume de efluente tratado (ANDREOLI, 1999).

O lodo de esgoto, principalmente o proveniente do tratamento do esgoto doméstico é rico em nutrientes para o solo, haja vista sua composição apresentar um material ainda muito rico em matéria orgânica (40 a 60%), em nitrogênio, fósforo, e em alguns micronutrientes como ferro, cobre, zinco e manganês (BARBOSA; FILHO, 2006). Portanto, ele se torna uma excelente alternativa para o reúso na agricultura.

Países cujo sistema de saneamento básico é eficaz, como Canadá, Estados Unidos e alguns países da União Europeia, fazem o uso do lodo proveniente de ETEs como fertilizantes agrícolas (PIRES, 2016; SAITO, 2017). Para tanto, foram criadas normas preventivas contra possíveis problemas com os contaminantes presentes, destacando a influência dos metais tóxicos e dos patógenos (SAITO, 2017).

No Brasil, entretanto, a alternativa mais utilizada é a disposição em aterros sanitários. Dados coletado sobre a disposição final do lodo por estações de tratamento pelo IBGE em 2008 mostram que 28% dos estados não informam qual a destinação do lodo. Dos outros 72%, 37% destinam o lodo para os aterros sanitários, 14% é reaproveitado, 13% utilizam rios como destino final, 8% vão para terrenos baldios, 2% são incinerados e os demais são para outros tipos de disposição (IBGE, 2008).

Por ser um país agrícola, o gerenciamento do lodo para atividade como a reciclagem agrícola é de suma importância devido ao potencial nutricional, embora a alternativa mais utilizada seja o aterro sanitário. Ou seja, de outro ponto de vista, uma solução é prever um conjunto de alternativas a fim de evitar a dependência de uma única opção. Adotando uma abordagem que priorize o aproveitamento do resíduo.

A ETE do Baldo, localizada em Natal, trata os esgotos da parcela substancial da cidade e tem como alternativa atual de disposição final do lodo o aterro sanitário da região metropolitana de Natal, localizado na grande Natal, no município de Ceará-Mirim.

Considerando que o efluente que chega na ETE é doméstico, este, possui uma alta carga de nutrientes, o que pode favorecer o uso benéfico do lodo biológico na agricultura, por exemplo. De forma a complementar estudos existentes sobre a utilização do lodo na agricultura em escala real, esse trabalho pretende fazer um diagnóstico da quantidade de lodo produzido, bem como a análise dos custos envolvidos no gerenciamento do lodo (tratamento, transporte e destinação final), com intuito de sugerir novas alternativas para esse resíduo a fim de mitigar os gastos atuais da ETE, além de servir como sugestão para o reuso do lodo proveniente das duas novas estações de tratamento, ETE Guarapes e ETE Jaguaribe.

2. OBJETIVOS

Avaliar as características quantitativas dos lodos provenientes da estação de tratamento de esgoto da ETE do Baldo, visando diagnosticar seu tratamento, disposição final e os gastos associados, propondo a reutilização agrícola do lodo produzido.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar quantitativamente o lodo produzido, ao longo das etapas de tratamento, classificando-os segundo suas características e processos de geração;
- Verificar o potencial de aproveitamento dos lodos de esgotos gerados na ETE do Baldo, considerando as suas características e a demanda da região;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O LODO DE ESGOTO

O lodo de esgoto é um resíduo composto por uma mistura sólida e semi-sólida de substâncias orgânicas e inorgânicas, possuindo um aspecto desagradável e mau cheiroso, elevada concentração de água (95%) proveniente do processo de tratamento de águas residuárias em ETEs (RUBIM, 2013). Quando tratado ou processado, ele é chamado de biossólido, pois suas características permitem sua reciclagem de maneira racional, segura e ambientalmente adequada (PIRES, 2006).

Ele pode ser proveniente de dois tipos de tratamento esgotos: o industrial e o doméstico. O primeiro refere-se as atividades industriais e possui uma composição bastante variada, contendo em sua constituição teores de metais pesados e de outros compostos tóxicos indesejáveis aos tratamentos biológicos (BATISTA, 2015). Já o segundo é proveniente das residências e das atividades do meio urbano. O lodo doméstico possui uma grande quantidade de matéria orgânica. Ela corresponde a 40% de sua composição, além de 4% de nitrogênio, 2% de fósforo e 0,4% de potássio (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

O lodo pode ser classificado de maneira geral como lodo primário, secundário, misto e terciário. O primeiro é gerado do processo de tratamento primário das estações de tratamento, através da sedimentação e flotação, principalmente. Já o segundo é resultado do processo da estabilização biológica por meio de digestores anaeróbios e aeróbios e decantadores secundários (ANDREOLI, 1999). Os lodos mistos, como o próprio nome sugere, é resultado da mistura do lodo primário e do lodo secundário. E por fim, temos o lodo terciário, este proveniente da precipitação química (LEGNER, 2013).

O Quadro 1 possui a classificação do lodo quanto sua origem e suas características:

Quadro 1 - Classificação de lodo das ETEs

Tipo de lodo	Origem	Características
Lodo primário bruto	Proveniente do tratamento primário do esgoto e obtido, normalmente, por sedimentação.	Possui uma coloração acinzentada, é pegajoso, de odor desagradável e pode decompor-se facilmente.
Lodo digerido	Processos de estabilização de lodos	Apresenta redução de SSV superior a 40%, dependendo do processo empregado. Quando bem digerido não possui odor ofensivo.
Lodo aeróbio não estabilizado	Sistemas de lodos ativados e em reatores aeróbios com biofilmes – alta carga.	Compreende a biomassa de micro-organismos aeróbios, gerada nos processos metabólicos de degradação da matéria orgânica, descartada do sistema. Necessita de processo de digestão complementar.
Lodo aeróbio estabilizado	Lodos ativados com aeração prolongada e reatores aeróbios com biofilmes – baixa carga.	Constitui o lodo excedente, resultante de respiração endógena prevalectante, com um menor teor de matéria orgânica e maior quantidade de sólidos inorgânicos, não havendo necessidade de uma etapa posterior de digestão.
Lodo anaeróbio estabilizado	Processos de degradação da matéria orgânica, em condições anaeróbias. Ocorrência em reatores anaeróbios e no fundo de lagoas de estabilização.	Lodo com menor teor de matéria orgânica, quanto melhor a digestão, menor o potencial de geração de odor.
Lodo misto	Tratamento conjunto de lodos excedentes, de origem em tratamentos primário e secundário.	Suas características são uma composição dos lodos que lhe deram origem.
Lodo químico	Produzido em estações de tratamento onde se tem uma etapa físico-químico de tratamento da fase líquida.	—

Fonte: adaptado de Batista (2015); von Sperling e Gonçalves (2001); Ferreira et al (1999).

Outra forma de classificar o lodo de esgoto é conforme estabelecido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), que considera o lodo como um produto. Através do decreto Federal 4.954 de 2004 e 8.059 de 2013, ficou estabelecida a possibilidade legal de transformar o resíduo do lodo de esgoto sanitário em produto fertilizante orgânico contendo lodo de esgoto e o decreto (MAPA, 2004; OLIVEIRA, 2017; PIREZ, 2004). Na

Instrução Normativa Nº 25 de julho de 2009, o Ministério ainda enquadra o lodo em fertilizante orgânico composto classe “D”: fertilizante orgânico que em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultado em produto de utilização segura na agricultura (MAPA, 2009, IN 25)

3.2. PRODUÇÃO DE LODO

Podemos citar pelo menos 12 tipos de tratamentos de efluente de esgoto, cada um com suas próprias características, sendo a quantidade de lodo gerado por cada um deles variável, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Produção de lodo de esgoto em sistemas aeróbios e anaeróbios

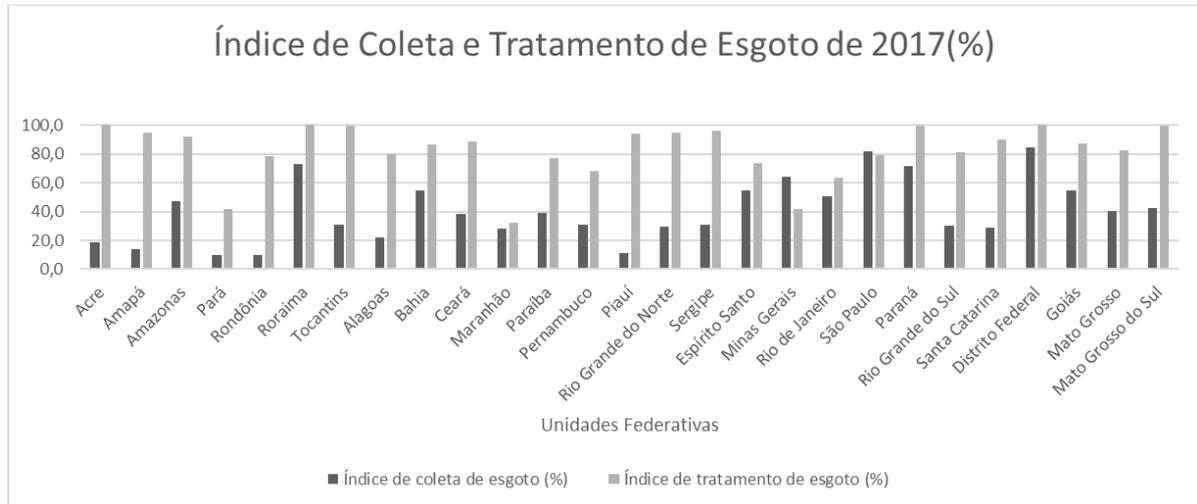
TIPO DE TRATAMENTO	QUANTIDADE DE LODO PRODUZIDA (M ³ /HAB/ANO)
Lagoa facultativa primária	0,037
Lagoa facultativa	0,03 – 0,08
Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa	0,01 – 0,04
Lagoa aerada facultativa	0,03 – 0,08
Lodos ativados convencionais	1,1 – 1,5
Lodos ativados (aeração prolongada)	0,7 – 1,2
Lodos ativados (fluxo intermitente)	0,7 – 1,5
Filtro biológico (baixa carga)	0,4 - 0,6
Filtro biológico (alta carga)	1,1 – 1,5
Biodiscos	0,7 – 0,1
Reator anaeróbios de manta de lodo	0,07 – 0,1
Fossa séptica – filtro anaerobio	0,07 – 0,1

Fonte: Arceivala (1981), EPA (1979, 1981, 1992), Metcalf & Eddy (1991), Vieira (1993), Sperlling (1995) e Nascimento (1997).

Quando observado a Figura 1 que apresenta os dados do SNIS sobre coleta e tratamento de esgoto, é possível inferir que 41% das unidades federativas possuem um índice de tratamento acima de 90%, sendo apenas os estados de Acre, Roraima e o Distrito Federal com 100% do tratamento (BRASIL, 2018). Portanto, é de se esperar que a geração de lodo

supere 400 mil toneladas por ano, se os esgotos fossem devidamente tratados (SOARES, 2004).

Figura 1 - Situação brasileira em 2017 de coleta e tratamento de esgoto por Unidades da Federação de acordo com dados extraídos do SNIS 2018.



Fonte: adaptado SNIS 2017 (BRASIL, 2018).

3.3. TRATAMENTO DO LODO

O tratamento do lodo consiste em uma etapa importante para seu manejo, tendo em vista que ela objetiva gerar um produto mais estável e de menor volume. Tais características auxiliam na redução dos custos para as ETE, no que diz respeito ao manuseio do biossólido e a escolha da tecnologia mais adequada para o tipo de tratamento abordado na ETE (RUBIM, 2013).

O tratamento pode ser natural ou mecânico, sendo ainda dividido em várias etapas como adensamento, estabilização, desidratação e higienização.

O adensamento tem como objetivo reduzir o volume do lodo através da concentração dos sólidos presentes nele fazendo com que reduza sua umidade (MORVAI, 2018). Ele pode ser realizado de duas maneiras: por gravidade ou flotação (RECESA, 2008).

A estabilização tem a finalidade de reduzir a quantidade de microrganismos patogênicos, a geração de odores e o potencial de putrefação, que tem como consequência a baixa atração de vetores durante as demais etapas do tratamento e disposição final (RUBIM, 2013; RECESA, 2008). Ela pode ser realizada por meio da digestão anaeróbia, digestão aeróbia, do tratamento térmico, ou a estabilização química (RECESA, 2008).

A desidratação procura reduzir o teor de umidade ainda presente no lodo, aumentando a matéria seca, o poder calorífico, evitar odores, diminuir os custos com o transporte além de facilitar o manuseio e a locomoção desse biossólido. Essa etapa pode ser realizada por leitos de secagem, lagoas de lodo, centrífugas, filtros prensa de correia e filtros prensa (ILHENFELD, 1999; ANDREOLI, 1999; RECESA, 2008; MORVAI, 2018).

A higienização tem como propósito a diminuição da quantidade de patógenos ainda existentes no lodo. Apesar de possuir a mesma meta da estabilização, ela consegue remover ainda mais microrganismos quando comparada com essa etapa. Essa etapa é necessária no tratamento do lodo, tendo em vista que quanto menor a quantidade de patógeno, menor será o risco a saúde (RECESA, 2008). Podemos citar alguns métodos de desinfecção desse resíduo, como a adição de cal, tratamento térmico, compostagem, oxidação úmida, radiação solar e outros (RECESA, 2008; MORVAI, 2018).

O quadro 2 associa as etapas do tratamento do LE, com os seus processos e seus objetivos.

Quadro 2 - Etapas do tratamento do Lodo de Esgoto, métodos e objetivos.

Processo	Tipo	Objetivo
Adensamento	Por gravidade	Redução de volume
	Flotação	Redução de volume
	Centrifugação	Redução de volume
Estabilização	Digestão aeróbia	Estabilização e redução de sólidos
	Digestão anaérobica	Estabilização e redução de sólidos
	Química	Estabilização
	Tratamento térmico	Estabilização
Desidratação	Filtro prensa	Redução de volume
	Prensa desaguadora	Redução de volume
	Centrífuga	Redução de volume
	Leito de secagem	Redução de volume
	Lagoas de lodo	Armazenamento e redução de volume
Higienização	Compostagem	Desinfecção
	Calagem	Desinfecção, aumentar o pH e a temperatura
	Tratamento térmico	Desinfecção, redução de volume, recuperação de energia
	Oxidação úmida	Desinfecção e redução de volume

Fonte: adaptado de Rubim 2013; ReCESA 2008 e Ilhenfed 1999.

3.4. ASPECTOS HIGIÊNICOS

Quando se trata de lodo de esgoto uma das maiores preocupações refere-se a sua composição para sua disposição final, uma vez que ele não deve causar danos à saúde da população e nem impactos negativos ao meio ambiente, considerando que parte da população microbiana sedimenta junto com as partículas orgânicas, concentrando-se no lodo (ILHENFELD, 1999). Quanto ao nível de redução de patogenicidade ele é definido em função das exigências determinadas para cada destino dado ao lodo (BATISTA, 2015).

A *Environmental Protection Agency* - EPA (1992), afirma que a higienização possui três graus de importância, sendo o mais importante quando o uso é na agricultura; possui importância moderada quando seu destino final é em aterros sanitário; e não possui importância nenhuma quando a sua disposição refere-se a incineração ou disposição oceânica (EPA, 1992).

Vale ressaltar que essas últimas não são utilizadas no Brasil e estão sendo abolidas devido ao acordo com a Comunidade Europeia e a Convenção de Estocolmo (BATISTA, 2015).

Para Miki et al. (2006), a higienização tem como objetivo reduzir a densidade de patógenos, eliminar os maus odores e inibir, reduzir ou eliminar o potencial de putrefação.

Manzochi (2008) divide a higienização em três métodos mais usuais: biológica, química e física. O primeiro consiste na digestão aeróbia, anaeróbia, aeróbia autotérmica ou compostagem. O segundo refere-se a estabilização alcalina. E por fim, a higienização física que pode ser por pasteurização e secagem térmica.

Para Batista (2015) os métodos mais utilizados para esse processo são a compostagem e a calagem devido a sua facilidade operacional e os baixos custos de operação.

Os aspectos higiênicos consideram três parâmetros principais: pH, temperatura e a quantidade de ovos de helmintos. Este último possui um ciclo biológico normal e uma fase de sobrevivência no solo, enquanto os demais patógenos possuem um curto ciclo de sobrevivência no solo (ILHENFELD, 1999; MIKKI et al., 2006; BATISTA, 2015).

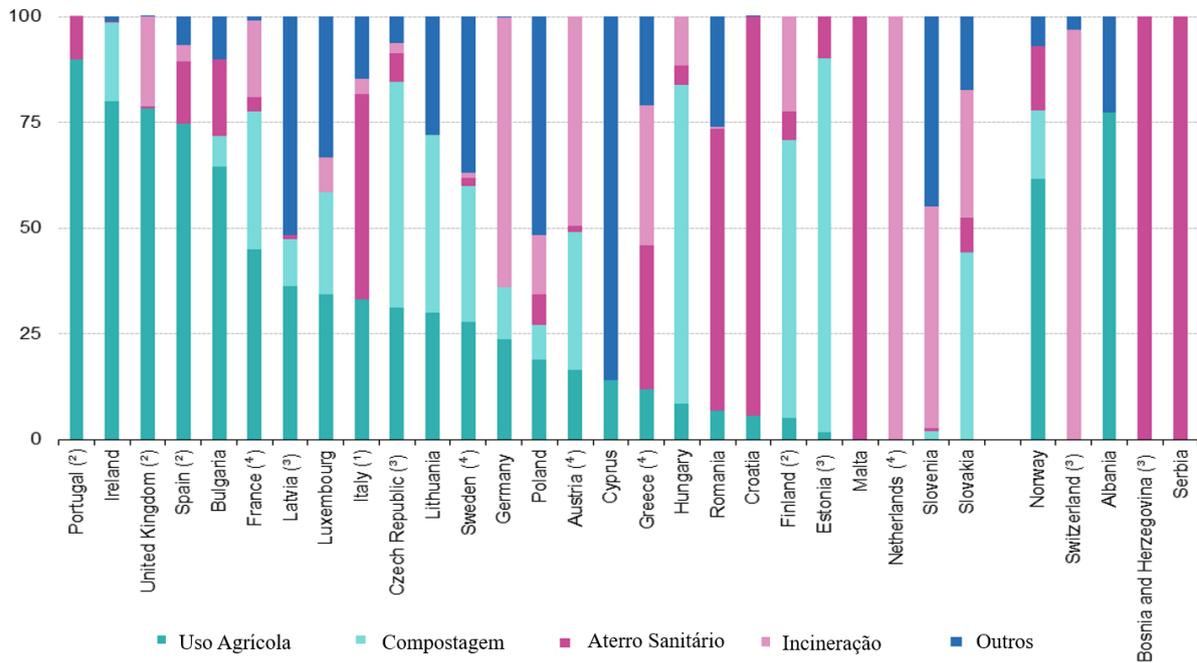
3.5. DISPOSIÇÃO DE LODO

A preocupação com a disposição final no Brasil é assunto recente, em projetos de ETEs não havia a identificação de onde seria o descarte e nem como ele seria realizado (GODOY, 2013). Tomando isso como base, as empresas gerenciadoras de saneamentos básico buscavam apenas se livrar do resíduo, sendo as formas mais utilizadas o encaminhamento para os aterros sanitários (*landfill*) ou o descarte em auto mar através de dutos que bombeavam o resíduo líquido – descarga oceânica (NUVOLARI *et al.*, 2011).

Com a crescente preocupação ambiental e devido ao acordo com a comunidade Europeia e a Convenção de Estocolmo, a descarga oceânica é proibida em países da Europa e nos Estados Unidos da América (EUA) e vem sendo diminuída nos demais países. No Brasil, esse tipo de disposição não é utilizado (BATISTA, 2015; GODOY, 2013).

Segundo a União Europeia (2017) as formas mais utilizadas de disposição final são: uso agrícola, compostagem, aterros sanitários, incineração e outros como mostrado na Figura 2. Já nos EUA a maior parte é utilizada em áreas agrícolas ou enviadas para aterros sanitários, como podemos ver na Figura 3 (CENTER FOR SUSTAINABLE SYSTEMS, 2018).

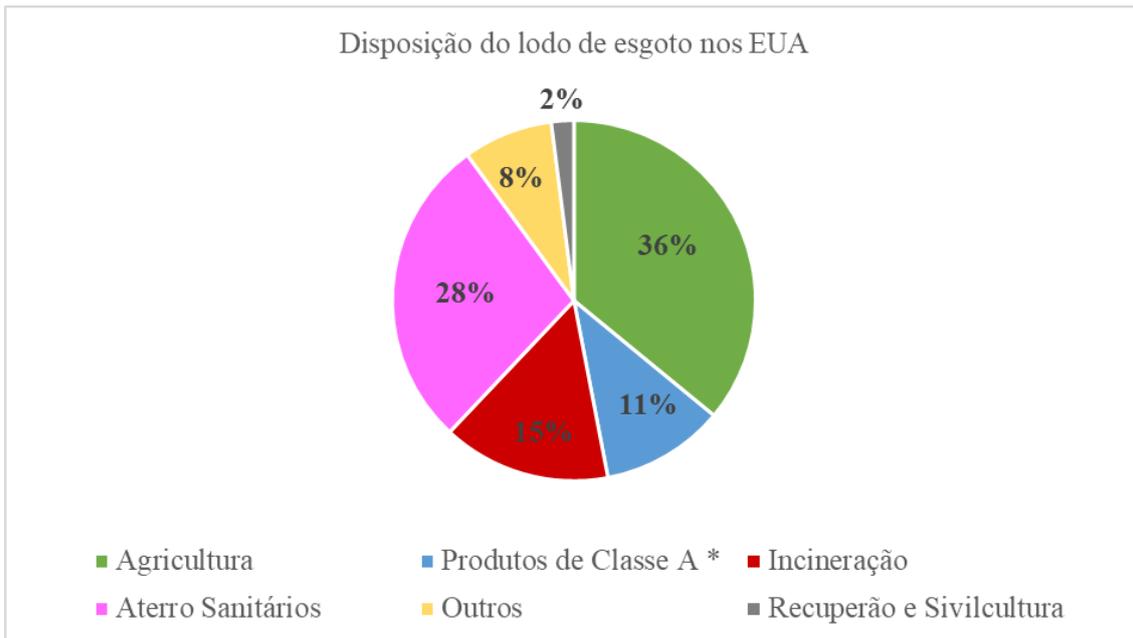
Figura 2 – Tipos de disposição do lodo de Estações de Tratamento de Esgoto nos países da União Europeia.



Note: Belgium, Denmark: not available
 (¹) 2010 data
 (²) 2012 data
 (³) 2013 data
 (⁴) 2014 data

Fonte: adaptado Erostat Statistic Explained (2017).

Figura 3 - Tipos de disposição do lodo de Estações de Tratamento nos EUA



* Produtos utilizados na horticultura.

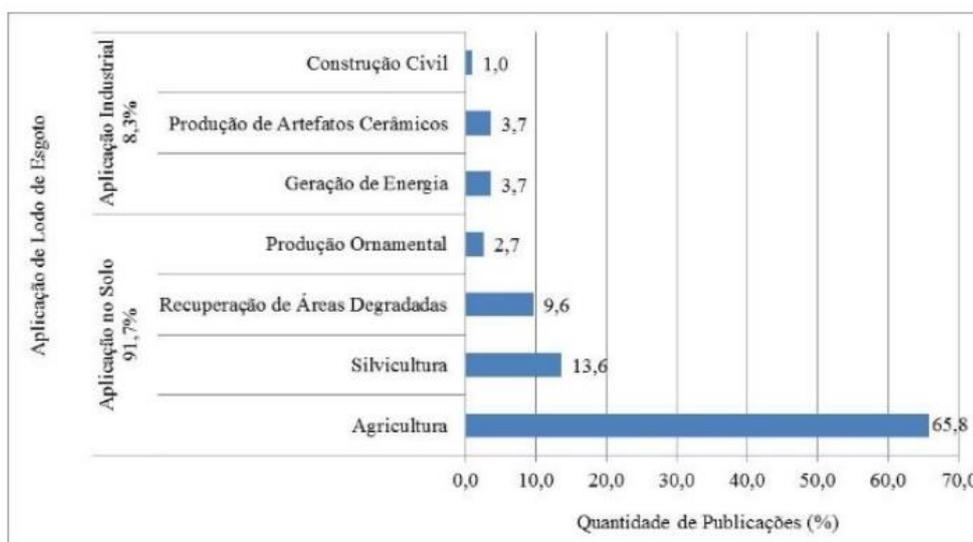
Fonte: Adaptado de Center for Sustainable Systems, University of Michigan, 2018.

Já o cenário brasileiro, segundo dados do IBGE (2008), a maior parte do LE é destinado para aterros sanitários (cerca de 37%). Contudo, esse cenário vem se modificando nos últimos anos. Há diversos estudos em que o LE é empregado na produção vegetal, na agricultura, na silvicultura, na produção de espécies ornamentais, na recomposição de áreas degradadas, na obtenção de energia térmica e elétrica, como mistura em artefatos cerâmicos e na construção civil (CASTRO, 2015).

São conhecidos oito tipos de disposição final para o LE: A descarga oceânica, incineração, aterro sanitário, agricultura, silvicultura e recuperação de áreas degradadas, compostagem, geração de energia elétrica e térmica, na produção de artefatos cerâmicos e na construção civil.

No Brasil, o aproveitamento de lodo para fins além do aterro sanitário vem aumentando, Castro et al. (2015) afirma que até 2014 havia 301 trabalhos publicados sobre o uso no solo e na indústria, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Quantidade de artigos encontrados nas bases de pesquisas de dados pesquisados no recorte temporal entre 2004 a 2014, divididos quanto a aplicação do lodo de esgoto no solo e industrial.



Fonte: Castro et al (2015).

A **descarga oceânica** foi um o método de disposição final utilizado por muito tempo em diversos países (PEDROZA, 2005). Contudo, esse tipo de disposição trazia consequências para o meio ambiente, tendo em vista o aumento do aporte de nutriente no meio aquático.

O lodo de esgoto gerado pela estação de tratamento, ainda no estado líquido era bombeado através de dutos para alto mar (NURVOLARI et al., 2011). Essa prática não é mais utilizada, sendo proibida nos EUA, através da *Ocean Dumping Act*, em 1992 e na Europa desde 1998 (BATISTA, 2015). No Brasil, até 2008, ainda havia índices de disposição em rios (IBGE, 2008), contudo, essa prática não se é mais abordada em trabalhos, tendo em vista a busca de alternativas de disposição.

A **incineração** consiste em um método de redução de volume e implica na destruição das substâncias orgânicas presentes no lodo através de combustão controlada de resíduos, aplicável a lodos de esgotos previamente adensados, desaguados a um teor de sólidos mínimo de 25% e macerado (LUDUVICE, FERNANDES, 2001). Esse processo está associado a formação de dioxinas e furanos, gases prejudiciais à saúde (PREPARO, ASSUNÇÃO, 1999). Em consequência disso, em 2001, vários países, incluindo o Brasil assinaram um acordo que visava a redução da produção desses gases (BATISTA, 2015).

As cinzas advindas do processo correspondem de 20% a 50% do peso do resíduo, necessitando portanto, uma disposição adequada segundo legislação 12.305/2010 (BRASIL, 2010). As soluções dadas são sua disposição em aterro sanitário e na utilização na construção civil, principalmente na incorporação dessas cinzas na produção de cerâmica vermelha (WILLIAMS, 1998; ARAÚJO, 2008, AREIAS et al., 2017).

A **geração de energia** é obtida através do biogás gerado pelos processos de decomposição da matéria orgânica presente no lodo, ou seja, ela pode ser estimada a partir da redução da porcentagem de sólidos voláteis, podendo variar bastante, dependendo da quantidade de sólidos contidos no lodo e na atividade biológica do digestor (METCALF, 2003).

Esse biogás é composto por cerca de 60% de gás metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de outros gases. A energia elétrica é gerada a partir da queima desse gás, que depois de tratado é direcionado a geradores e lá acontece a queima (SANEPAR, 2017).

O **aterro sanitário** consiste em uma das alternativas de disposição mais utilizada nos países da Europa, Estados Unidos (Figura 2 e 3) e no Brasil (IBGE, 2008). Quando a aplicação agrícola é inviável, esse tipo de disposição é a mais utilizada por possuir menores gastos quando comparadas com as demais. Embora, essa opção tende a diminuir progressivamente devido as restrições ambientais no mundo, e no Brasil com a PNRS, esta recomenda a não disposição de matéria orgânica com potencial em aterros (BRINGHENTI et al., 2018).

Ainda há problemas quanto a presença do LE em aterros sanitários, pois ele pode dificultar a operação, aumentar o risco de instabilidade, além de apresentar um risco a mais de contaminação da área, devido a quantidade de água que o resíduo pode apresentar e a baixa resistência ao cisalhamento do lodo e sua composição (BRINGHENTI et al., 2018). Conquanto, ainda é uma opção atrativa para as ETES pelo baixo custo e impactos negativos.

Outro método é o **landfarming**, este é um método de biorremediação que consiste na degradação do substrato orgânico biologicamente por microrganismos presente no perfil arável do solo – geralmente corresponde a 20 cm (BATISTA, 2015). Para essa opção o lodo precisa ter um ter de sólidos de no mínimo 15% (BONNET, 1997).

O LE ainda pode ser utilizado para a recuperação de **áreas degradadas e silvicultura** partindo do princípio que a presença de matéria orgânica melhora o estado de agregação das partículas do solo, diminui sua densidade, aumenta a aeração, a capacidade de retenção de água e a capacidade de troca de cátions (BEZERRA et al., 2006; ALVES et al., 2008).

São empregadas diversas técnicas para recuperação de solos degradados, a maioria associando práticas mecânicas, cujo objetivo seriam romper as camadas compactadas, e a adição de matéria orgânica, onde o lodo vem crescendo como fonte alternativa para o processo. Isso deve-se ao fato do incremento dos níveis de matéria orgânica ao solo estar intimamente associado à disponibilidade de nitrogênio, elemento essencial para o desenvolvimento das plantas (CHRISTOPHER E LAL, 2007; OLIVEIRA, 2015).

A disposição do LE na **agricultura** vem se mostrando atualmente a alternativa mais promissora de disposição final, principalmente para o uso na recuperação de áreas degradadas ou como insumo para culturas de consumo indireto pelos humanos (CAMPOS, ALVES, 2008). Portanto, sua aplicação como biofertilizante e condicionador de solos pode ser considerada a mais adequada em termos técnicos, econômicos e ambientais (BARBOSA, TAVARES FILHO, 2006; VIEIRA, 2015), pois o LE possui um potencial capaz de suprir as necessidades da planta e proporcionar melhor condicionamento do solo (BOHM et al., 2014).

Essa finalidade vem sendo empregada no Brasil desde os anos de 1990 pelos estados do Paraná e 37 cidades do Estado de São Paulo, fato que antecedeu a elaboração da resolução CONAMA 375/2006 que institui os critérios de disposição desse resíduo na agricultura (ANDREOLI et al., 2008; URBAN, 2016). Vale ressaltar que esses estados elaboraram normas técnicas e/ou manuais orientando a maneira mais adequada para usar o lodo na agricultura.

Em São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) estabeleceu em 1999 a norma técnica Norma P4.230, ela regulamenta o uso agrícola de lodos resultantes de tratamentos biológicos, incluindo o lodo de esgoto. Já no Paraná, a companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) elaborou e publicou Manuais Técnicos que procuram orientar o futuro usuário do lodo de esgoto, os operadores de ETE e os gestores, sobre os métodos de higienização adequados ao uso agrícola, as vantagens, fatores limitantes e procedimentos para o uso do resíduo em áreas de produção, além de orientação para a elaboração de Plano de Distribuição de Lodo e monitoramento da atividade (ANDREOLI et al., 1999; PIRES, 2006; URBAN, 2016).

A **compostagem** corresponde ao processo de decomposição ou degradação de materiais orgânicos pela ação de microrganismos em um meio naturalmente aerado (FUNASA, 2009). Ou seja, os microrganismos consomem a matéria orgânica contida no lodo puro ou em mistura com outros resíduos orgânico (palhas, resíduos de podar de jardins, parques e praças, parte orgânica do lixo urbano, etc.) em processos exotérmicos que geram calor e conseqüentemente aumentam a temperatura das leiras a fim de atingir a temperatura termófila o que promove a eliminação de organismos patogênicos presentes no lodo (ANDREOLI et al., 1999; FILHO, 2011).

Com isso, a compostagem apresenta um produto final com características agrônômicas de excelente qualidade, sendo bastante eficaz na eliminação de patógenos, um dos problemas associados a aplicação em culturas alimentícias. Portanto, o composto obtido pode ser utilizado para qualquer tipo de atividade agrícola sem apresentar riscos à saúde humana e animal (ANDREOLI et al, 1999).

3.6. ESTUDOS DE CASO SOBRE APROVEITAMENTO DO LODO

Vários trabalhos mostram a viabilidade do uso do lodo quanto sua aplicação na indústria e no solo, corroborando a utilização de outras alternativas para sua destinação além do aterro sanitário.

A Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA, 2014) e Azevedo (2014) mostram que 90% da energia utilizada na ETE Arrudas, localizada na região de Sabará/MG, é proveniente do biogás gerado pelo lodo durante o processo de tratamento do esgoto. A ETE faz o uso do tratamento por lodo ativado convencional para a fase líquida e a fase sólida conta com adensadores por gravidade, digestores anaeróbios e centrífugas.

Machado (2011) mostra a geração de energia pelo biogás produzidos nos digestores da ETE Alegria, Rio de Janeiro. Esse gás gerado é utilizado na iluminação dos digestores, e

na subestação da Companhia de Estadual de Água e Esgoto do Rio de Janeiro (CEDAE), em paralelo com a rede de energia da concessionária Light S.A., que serve para abastecer os conjuntos motor-bomba dos digestores, dos adensadores e demais cargas de consumo do sistema de operação da estação.

Na ETE Barueri, São Paulo, há também a utilização do biogás produzido pelos digestores de lodo, afirma Machado (2011). Essa ETE adota o sistema de lodo ativado convencional. O gás produzido gera energia elétrica e térmica. Esta última mantém satisfatória a temperatura nos biodigestores, garantindo a qualidade do processo. Já a energia elétrica é utilizada para movimentar os motores e turbinas da estação.

Guedes (2005), Lira (2006) e Paez (2011) mostram os benefícios da utilização do lodo para o cultivo do Eucalipto. Guedes (2005) e Lira (2006) afirmam que a presença do biossólido tem um potencial de fornecer nitrogênio à planta resultando no aumento da produção de clorofila. Ademais, a presença do resíduo tratado traz como consequência uma maior área foliar, além de apresentar baixas taxas de degradação, e uma maior reciclagem de nutrientes.

Trigueiro e Guerrini (2014) utilizaram o lodo da ETE de Franca, na cidade Franca, SP para a produção de mudas de aroeira – pimenteira associado com casca e arroz carbonizada –, e, assim como na produção de eucalipto, foi observado vantagens quanto a quantidade de nutrientes presentes no solo. Contudo, as doses de lodo devem situar-se entre 40 e 60%.

Komay et al. (2010) afirma que o uso do LE possui vantagens como um bom custo benefício, o aumento da produção, e a quantidade de nutrientes no solo. Já as desvantagens abordadas são o manuseio do lodo pelos empregados para a incorporação no solo e a compactação do solo devido ao peso das máquinas que são utilizadas para se fazer a aplicação do lodo no solo.

A SANEPAR oferece o lodo tratado para agricultores por meio de cadastro sem nenhum custo. Komay et al. (2010) mostrou a eficiência da utilização do lodo fornecido pela SANEPAR na produção de trigo no município de Lapa, Curitiba, observando a redução da aplicação de fertilizantes para 70% de 2008 para 2009 e um aumento na produção de 15% a 20% no mesmo intervalo de tempo.

Bittencourt (2012) mostra o aumento da eficiência para áreas degradadas quando se utilizado o lodo da ETE Padilha Sul, Rio Grande do Sul, resultado do processo biológico anaeróbio, em reator anaeróbio de leito fluidizado (RALF) e o lodo em seguida levado a uma

centrifuga, sua aplicação neutralizou o Alumínio e alterou pH, Calcio, H⁺, Al, C, P e saturação por base (V%) do solo.

Morais (2017) apresentou que o aumento da ciclagem de nutrientes e de produção também ocorre na produção de cana-de-açúcar, essa recebendo um tratamento através da aplicação do lodo como fertilizante organominerado associado a bioestimuladores.

Bonini et al. (2015) mostrou que a aplicação de lodo para fins de recuperação de atributos químicos de um solo degradado obteve influência positiva quanto aos atributos químicos do solo como pH, CTC, SB, MO, P, Ca, Mg e K. Além disso, há um melhor resultado na recuperação quando inserido uma dose de 60 Mg.ha⁻¹ da dose do lodo.

Pereira e Santos (2015) trazem como alternativa do processo de incineração do LE o uso das cinzas na incorporação para a fabricação de um cimento ecológico. O lodo utilizado é proveniente da ETE Mangueira, no Recife, PE. Em Araújo (2008), ele utiliza 25% do lodo proveniente da ETE da UFRN em Natal, RN misturado à 75% da argila proveniente do Município de São Gonçalo do Amarante, sendo possível sua produção a partir dessas proporção de lodo-argila e à uma temperatura de 1200 °C.

Andreoli et al. (2006) mostra os gastos para a disposição de lodo quanto incineração, reciclagem agrícola, aterro sanitário e disposição oceânica, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Comparação dos custos da disposição final do lodo de esgoto

Alternativas de disposição final	Custo (US\$/t)
Oceânica	12 a 50
Aterros Sanitários	20 a 60
Incineração	55 a 250
Reciclagem Agrícola	20 a 125

Fonte: Andreoli et al. (2006)

Canziani et al. (1999) sugeriu um aumento na tarifa de água e esgoto de 2,84% para o uso do lodo produzido da ETE Belém, Curitiba na reciclagem agrícola. Se a tarifa de esgoto fosse elevada em R\$0,18, passando de R\$ 0,63 para R\$ 0,648 por metro cúbico, as despesas com a reciclagem agrícola do lodo de esgoto seriam cobertas, afirma Canziani et al. (1999).

Em relação a comparação de custos entre as alternativas de disposição, Martins (2015) realizou um comparativo entre os gastos de 4 ETEs (ETE Insular, ETE Lagoa da conceição, ETE Canasvieiras e ETE Saco Grande) na Grande Florianópolis que possuíam como disposição final o aterro sanitário em relação a reciclagem agrícola. O autor mostra que

o gasto com aterro corresponde a R\$2.065.090,94 anual, enquanto com a aplicação na agricultura o gasto seria de R\$ 1.402.978,71 anual. Ademais, Bittencourt (2014) mostra o benefício indireto quanto à redução dos custos do agricultor com a compra de fertilizantes e corretores de pH, chegando a R\$ 500,00 por hectare.

4. METODOLOGIA

Através de dados fornecidos pela Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte (CAERN), realizou-se, no período de 10 meses (jan – out/2019) a quantificação do lodo gerado pela Estação de Tratamento Sistema Central (ETE Baldo), localizada na cidade de Natal, Rn, e o gasto médio mensal com a disposição no aterro sanitário da região metropolitana de Natal, atual destino.

Foi elaborado no software Office Excel gráficos a fim de comparar e melhor visualizar os gastos e o total de lodo enviado ao aterro sanitário de Natal.

Em seguida foi feito um levantamento bibliográfico sobre os custos gerados com disposição agrícola. Sendo encontrado dois trabalhos que forneciam índices de custo para a disposição sugerida.

Através da calculadora de inflação com dados do IPCA foi feita a correção para o ano de 2019 e realizado o cálculo dos custos para a nova proposta (uso agrícola).

4.1. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO SISTEMA CENTRAL (ETE BALDO)

A estação de tratamento de esgoto (ETE) Sistema Central, também conhecida como ETE Baldo está localizada na Av. Governador Rafael Fernandes, nº 211, no bairro cidade alta em Natal, como mostrado na Figura 5. Ela é operada pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte – CAERN.

Figura 5 - Localização da Estação de Tratamento do Baldo.



Fonte: Google Earth (2019)

A ETE possui capacidade de tratar $1620 \text{ m}^3/\text{h}$ sendo dividida em dois módulos cada um com capacidade para tratar $810 \text{ m}^3/\text{h}$ (FERNANDES, 2018; NATAL, 2015; FERRAZ, 2014). A estação possui duas fases de tratamento: líquido e sólida.

Na fase líquida o esgoto bruto coletado nos bairros que contribuem para o subsistema sul de Natal chegam à estação com uma vazão de aproximadamente 450 L/s e uma concentração de DBO de 380 mg/L . Ao chegar na ETE os esgotos passam inicialmente pelo sistema de grades grossa, cujo objetivo é reter sólidos com diâmetros a partir de 20 mm , evitando que eles possam danificar o sistema (VON SPERLING, 2005). Em seguida, o efluente segue para as grades finas, ou peneiras finas, essas por sua vez têm como objetivo evitar a entrada de partículas sólidas menores, com diâmetros até 3 mm (FERRAZ, 2014)

Depois disso, o esgoto é direcionado à Elevatória de Esgoto Bruto (EEEB) a qual é responsável pelo bombeamento até a caixa de areia. Na caixa de areia há uma diminuição acentuada na velocidade do efluente, isso possibilita a sedimentação de inúmeras partículas. Os sólidos sedimentados são direcionados ao parafuso transportador e em seguida despejados em casambas. Após passar pelas etapas do tratamento preliminar, o efluente é transportado por gravidade para as demais etapas do processo de tratamento, o que elimina a necessidade de novas elevatórias.

Em seguida, o efluente chega aos reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo - *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* – (UASB). Nessa etapa, há a digestão anaeróbia da matéria orgânica. O excesso de lodo que se forma no fundo é descartado para a unidade de

desidratação de lodo. A ETE conta com 8 reatores UASB, sendo duas linhas de distribuição de esgoto bruto, um alimentando quatro reatores.

Em sequência ao UASB, tem um sistema de lodos ativados como pós tratamento do reator anaeróbio, constituído por: câmara anóxica seguida por um tanque de aeração misto, com crescimento disperso e aderido por meio da introdução de Biodrum® acompanhado de um decantador secundário, para a separação sólido-líquido e, por fim, a desinfecção por radiação ultravioleta.

O sistema ainda gera espuma proveniente da superfície dos decantadores secundário, além da espuma proveniente dos UASBs. Toda a espuma é direcionada a uma elevatória que por sua vez é bombeada para o tanque de lodo, gerando assim um lodo misto.

A parte sólida também recebe tratamento. O lodo gerado pela ETE é proveniente dos UASB, do sistema de lodo ativado e dos decantadores secundários. Sendo, grande parte do lodo é reinserido no sistema. Aquele que não é reinserido é direcionado ao tanque de lodo.

Esse resíduo percorre dois caminhos: Primeiro o lodo sedimentado dos decantadores secundários é encaminhado a uma elevatória de lodo, onde a maior parte é bombeada para o sistema de lodo ativado. O lodo excedente é encaminhado para estabilização no UASB. Em seguida, ele segue para o tanque de lodo. Do tanque de lodo ele é bombeado para a desidratação, a qual é realizada em centrífuga, esta possui a finalidade de separar a parte sólida do líquido, a fim de diminuir o volume com remoção de umidade e por consequências os gastos gerados com o transporte e pesagem, tendo em vista que a disposição final desse lodo é no aterro sanitário da região metropolitana de Natal. O líquido proveniente da centrífuga retorna para o processo.

O segundo caminho é o percorrido pela espuma, originada no UASB e nos decantadores secundários. Do mesmo modo que a primeira trajetória, as escumas saem do reator por meio de uma tubulação por gravidade e seguem para uma elevatória de espuma, que também recebe as escumas originárias da raspagem nos decantadores. Em seguida, elas seguem para o tanque de lodo, aonde juntam-se com o LE procedente do caminho 1 e são bombeadas para a centrifugas, recebendo a mesma destinação.

A figura 6 e 7 mostram o esquema para o tratamento da fase líquida e da fase sólida (adaptado CAERN, 2014).

Figura 6 - Tratamento da fase líquida da Estação de Tratamento Baldo

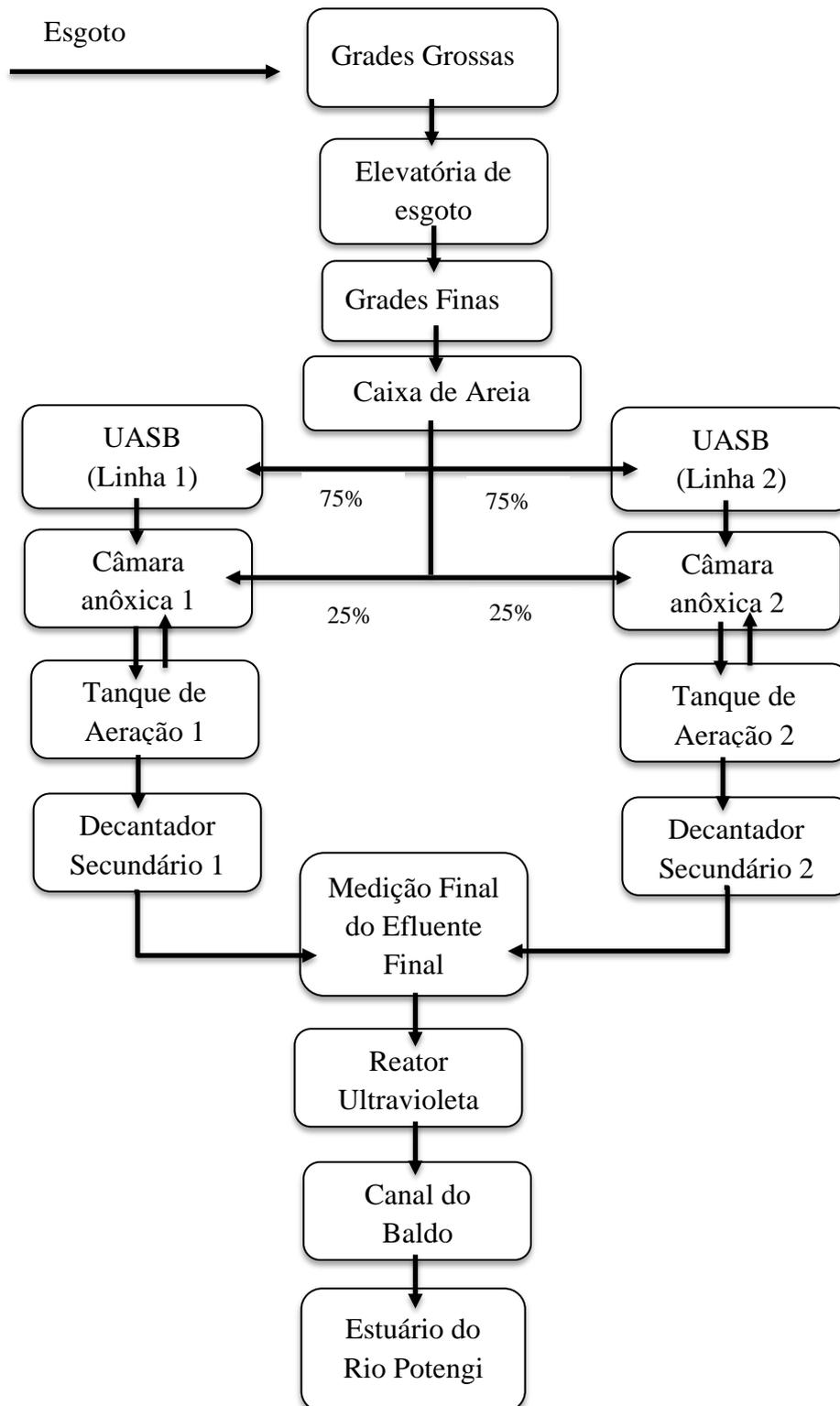


Figura 7- Tratamento da fase líquida da Estação de Tratamento Baldo

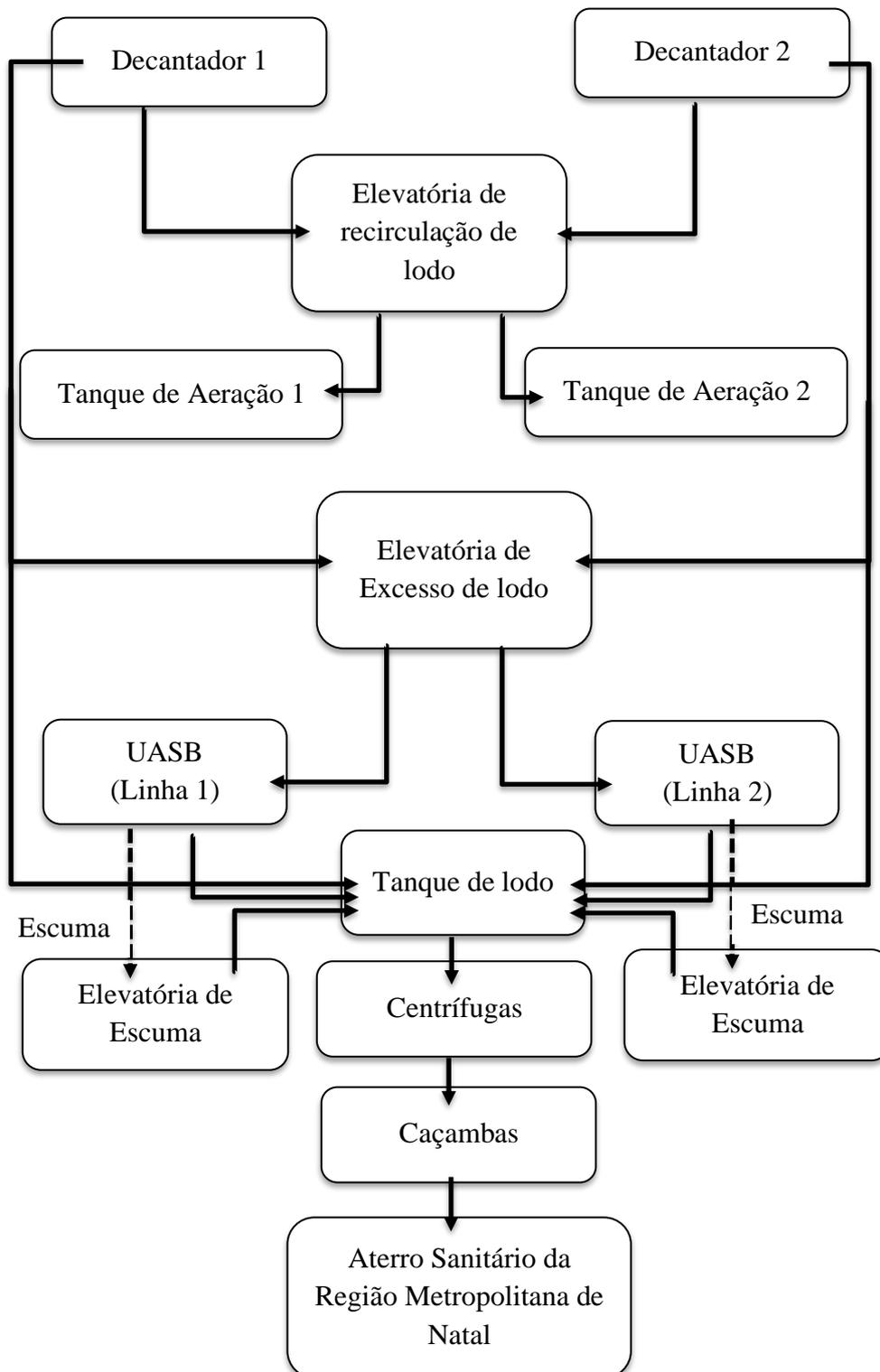


Figura 8 – Fluxograma e planta da ETE Baldo

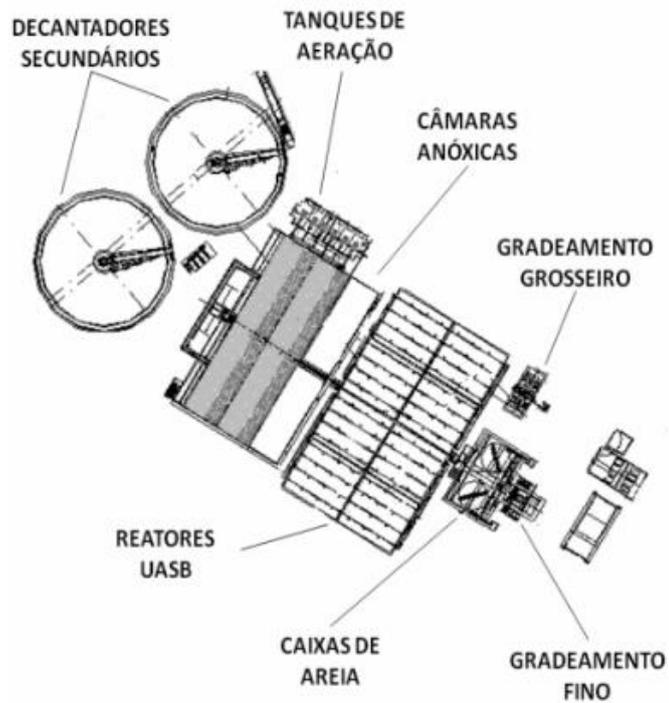
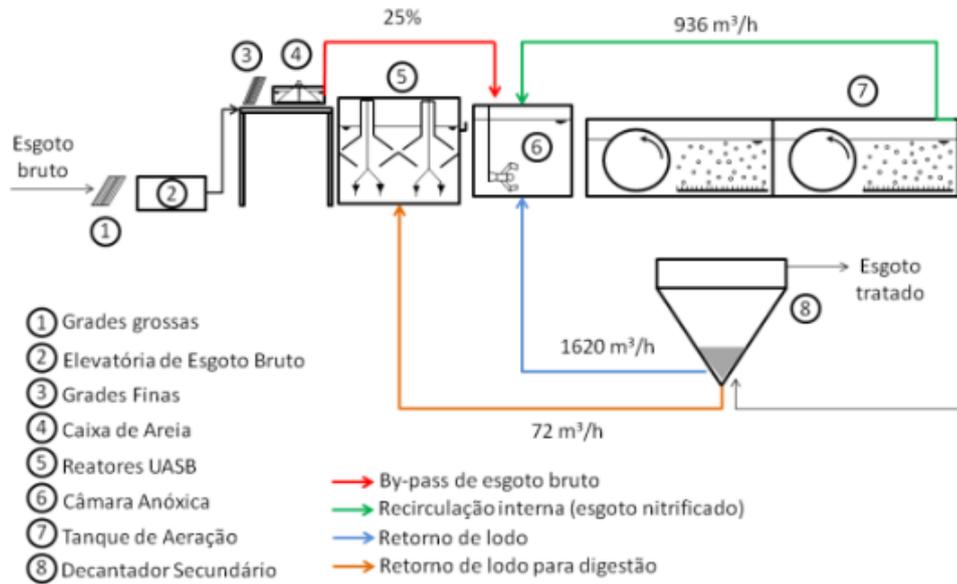


Figura 8: Fluxograma e planta da ETE do Baldo

Fonte: Ferraz (2014).

4.2. TRATAMENTO DO LODO UTILIZADO PELA ETE DO BALDO

Parte do lodo produzido pelo sistema UASB e lodo ativado da estação é reinserido no processo, a outra parte somado com o proveniente da elevatória de espuma é primeiramente levado ao tanque de lodo onde o resíduo é mantido de forma homogênea por misturadores. O descarte é enviado então para as centrifugas de desidratação sendo ainda misturadas com água e solução com polímeros.

O tratamento dado ao lodo é, portanto, realizado por uma centrífuga – Figura 9 - com o objetivo de diminuir o teor de umidade do resíduo, tendo em vista sua disposição final no aterro sanitário da Região metropolitana de Natal.

Figura 9 – Centrífuga da ETE do Baldo



Fonte: o autor (2019)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

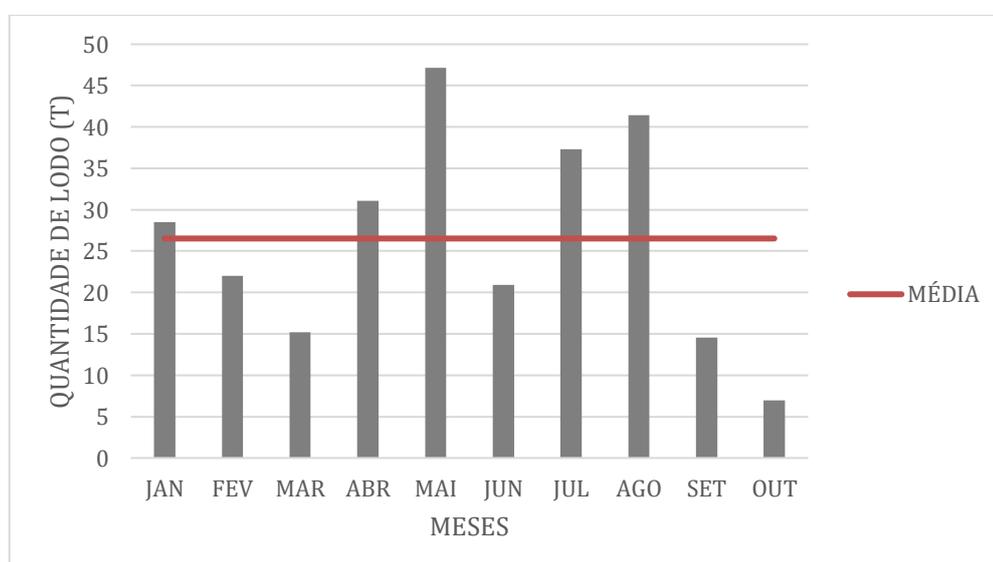
5.1. PRODUÇÃO DE LODO

Durante os dez primeiros meses de 2019 a ETE baldo produziu em média 26,524 toneladas de lodo. Essa produção mostrou-se bastante variável ao longo dos meses, como mostrado na Figura 10 (CAERN, 2019). Tal variação pode ser justificada através de do diminuição do descarte do lodo proveniente dos UASBs.

Os meses de maior produção foram maio, julho e agosto, possuindo uma média de 41,9 toneladas de lodo. O mês de maior produção foi maio, com 47,18 toneladas de lodo. Já os meses de menor produção foram março, setembro e outubro com uma média de produção de 12,26 toneladas, sendo outubro o mês com a menor produção (6,9 toneladas).

Nota-se um declínio acentuado na produção de lodo a partir de setembro, tendo em vista que a diferença na produção em relação ao mês anterior é de 26,86 toneladas, ou seja, a produção caiu acima da média produzida durante os dez primeiros meses em 64,81% em relação ao mês antecedente (Figura 10). Essa queda pode ser justificada devido a possíveis alterações nas estratégias operacionais quanto a diminuição do descarte de lodo do UASB.

Figura 10 – Quantidade de lodo proveniente da ETE Baldo enviada para o aterro sanitário da região metropolitana de Natal nos meses de janeiro a outubro de 2019.



Fonte: adaptado CAERN (2019).

5.2. GASTOS COM DISPOSIÇÃO DO LODO

A disposição atual do lodo da ETE do baldo é no aterro sanitário metropolitano de natal, que está localizado a uma distância de 23 km da estação, considerando o trajeto mais rápido. Para os custos de transporte a empresa responsável por levar o resíduo cobra R\$ 400,00 por caçamba. A quantidade de caçamba de lodo variou de 5 a 27 caçambas para o mês de menor e de maior produção de lodo, respectivamente (Figura 11). Já para os custos em relação a disposição no aterro foram de R\$ 91,40 para cada tonelada de lodo desidratada (Figura 11).

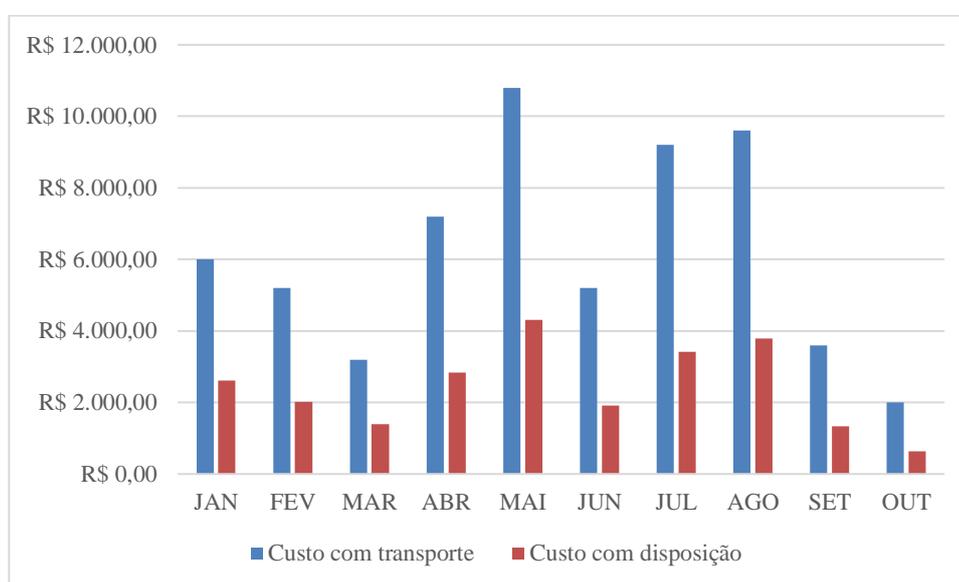
Tabela 3 – Índices de custo - Aterro Sanitário

Índices de custo		
Custo por caçamba	400,00	R\$/Caçamba
Custo de disposição no aterro	91,40	R\$/T de lodo desidratado

Fonte: CAERN (2019)

Quando comparamos esses dois gastos percebe-se que o custo com o transporte é maior do que os custos com a disposição no aterro (Figura 11).

Figura 11 – Comparação do custo com o transporte e o custo com a disposição no aterro.



Fonte: adaptado CAERN (2019)

Considerando os custos apresentados na Tabela 3, e a média de lodo produzida de 26,524 toneladas. A CAERN gastou, durante o intervalo de tempo de 10 meses, uma média de R\$ 8.624,29 com disposição final de lodo conforme tabela 4. Os gastos com transporte corresponderam a 71,89% do valor total gasto do destino final adotado pela ETE.

Tabela 4 – Índices de custos mensal* - Aterro Sanitário

Índice de custos		
Custo por caçamba	6.200,00	R\$/caçamba/MÊS
Custo de disposição no aterro	2.424,29	R\$/T de lodo Desidratado/MÊS
Total	8.624,29	R\$/MÊS

*Para um intervalo de 10 meses. Fonte: (CAERN, 2019)

5.3. CUSTOS COM DISPOSIÇÃO AGRÍCOLA

A região metropolitana de natal destaca-se pela produção de cana de açúcar com destaque para o município de Ceará-Mirim, que utiliza 3000 ha para a produção da cultura, segundo IBGE (2018). Além da cana de açúcar há outras culturas com importância para o contexto agrícola da região metropolitana de natal, como abacaxi, algodão, batata doce, feijão, mandioca, melancia, milho, abacate, banana, castanha de caju, coco da baía e goiaba (FADE, 2007).

O uso do lodo agrícola se mostrou eficiência nos cultivos de cana de açúcar (SILVA et al., 2010; MORAES, 2017).

Para a disposição agrícola Canziani, Massardo e Pegorini, (1999) sugere um custo total para a disposição de lodo na agricultura R\$ 14,88 por tonelada de lodo. Corrigindo esse valor com base nos dados do IPCA, medidos pelo IBGE (1998), temos um valor de R\$ 51,34 para o ano de 2019.

Macedo (1999), mostrou o custo de disposição do bio sólido na agricultura, após tratamento pode ser ainda mais barato, sendo ele de R\$ 11,04 por tonelada, considerando a implantação de aterro provisório, para a estocagem do bio sólido, e custo de operação interna. Corrigindo esse valor com base nos dados do IPCA, medidos pelo IBGE (1998), temos um valor de R\$ 36,43 para o ano de 2019 (tabela 5).

Tabela 5 – Custos com disposição com base na literatura

AUTORES		CUSTO COM DISPOSIÇÃO AGRÍCOLA	CUSTO CORRIGIDO PARA 2019	
Canzian, Massardo e Pegorini, (1999)	1	R\$ 14,88	R\$ 51,34	Presença de uma UGL
Macedo (1999)	2	R\$ 11,04	R\$ 36,34	Tratamento do lodo na ETE

Fonte: Canzian, Massardo e Pegorini (1999);Macedo, (1999).

A CAERN ainda pode incluir gastos com tratamento adicional para transformar o lodo em produto agrícola, como exige a IN 25 do MAPA (2009).

Em pesquisa realizada pelo Polo Centro-Sul, unidade regional da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, ficou constatado que o uso do lodo de esgoto e composto de lodo de esgoto nos canaviais diminui em até 60% os custos com fertilizantes (DOMICIANO, 2013).

Em experimentos realizados pela APTA em Piracicaba, os pesquisadores observaram um aumento de até 30% na produtividade da cana-de-açúcar, além da extensão da vida útil do canavial (DOMICIANO, 2013).

As ETE de Franca em São Paulo e a ETE Belém, em Curitiba são os maiores exemplos da utilização de lodo na agricultura.

Levando em consideração que a ETE do Baldo envia em média – considerando o intervalo de 10 meses - 26,524 T de lodo para o Aterro Sanitário Metropolitano de Natal, o valor gasto em média é R\$ 8.624,29 por mês para esta disposição. Conforme o índice corrigido do valor sugerido por Canziani, Massardo e Pegorini (1999) o valor para disposição na agricultura seria de R\$ 1.361,74.

Como os valores por caçamba seriam proporcionais, considera-se que o valor total para a disposição na agricultura corresponde a soma do valor gasto por caçamba com o valor corrigido de R\$ 1.361,74. Resultando assim em um gasto de R\$ 7.561,74. Isso representa uma redução de custo de 12,3%.

Utilizando o índice de custo de R\$ 36,43 para cada tonelada de lodo seco, seria gasto para disposição agrícola um valor mensal aproximado de R\$ 966,26. Do mesmo modo, somando os gastos do transporte das caçambas teríamos um total de R\$ 7.166,27, ou seja, uma redução de 16,9%.

Com uma taxa de aplicação de lodo correspondente a 5 ton/ha (MACEDO, 1999), a viabilidade agrícola também se torna atrativa para os produtores, tendo em vista a economia gerada com a não utilização de fertilizantes, um produto que vem sofrendo acréscimo durante os últimos anos (SABESP, 2008). Segundo Bittencourt (2014) a redução dos custos com fertilizantes chega a R\$ 500,00 por ha.

Cabe ressaltar, que a viabilidade apresentada refere-se aos aspectos quantitativos, embora a efetivação da utilização deva levar em consideração os aspectos higiênicos, que são peculiares e devem ser analisados para cada tipo de estação.

6. CONCLUSÕES

Ao supormos índices de custos para a aplicação de lodo na agricultura, observamos uma redução no valor final quando comparado com o gasto na disposição em aterro sanitário de até 16,9%. Isso nos traz uma nova possibilidade para a destinação desse resíduo, que agora passaria a ser um produto beneficiando a economia da região.

Contudo, a viabilidade econômica, quando analisada apenas do ponto de vista literário não é uma alternativa atraente para o volume de lodo produzido atualmente pela ETE, pois não há uma redução significativa do valor atual pago para fazer a disposição no aterro.

Ainda assim, é importante ressaltar a importância dos parâmetros higiênicos, estes conferem gastos com estabilização química e análise dos fatores físico químicos e biológicos do lodo, tais como: carbono orgânico total (%), capacidade de troca catiônica – ctc – mmolc/kg, umidade máxima (%), pH, nitrogênio total – n (%), relação ctc/c, ovos de helmintos, organismos patogênicos, e outros.

Outra variável a ser considerada é o destino do lodo, no caso da ETE do Baldo sairia do município de natal e seria destinado a produção agrícola encontrada na região metropolitana como a produção de cana de açúcar da cidade de Ceará-Mirim. Com o intuito de diminuir os gastos com transporte, seria necessário a implantação de uma Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL) entre as cidades de Natal e Ceará-Mirim.

Além das variáveis ainda a serem estudadas, como gastos para a implantação de uma UGL ou a adoção de um tratamento do lodo na própria estação, análise dos parâmetros químicos, físicos e biológicos a fim de verificar adequabilidade com as normas exigidas pelo MAPA, e realizar um mapeamento do solo a fim de verificar quais áreas seriam propícias para a aplicação do lodo. A reciclagem agrícola do lodo produzido pela ETE do baldo não se apresenta como uma alternativa atraente devido a quantidade de lodo produzida atualmente. Contudo com a construção das novas ETEs Jaguaribe e Guarapes, localizadas na região norte da cidade, e mais próximo as cidades de São Gonçalo, Ceará-Mirim e Extremoz, produtoras de culturas viáveis para o uso do biossólido, a CAERN poderia adotar uma solução mista para a disposição do lodo, parte enviado ao aterro, parte destinado ao agricultor.

Portanto, o uso agrícola atualmente se mostra inviável, embora futuramente, possa trazer um marketing positivo para empresa se ela vier adotar esse tipo de alternativa para as novas ETEs que estão sendo construídas.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Norma nº 100004, de 30 de novembro de 2004. Resíduos sólidos – Classificação. . Brasil, Disponível em: <<http://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2018.
- ALÉM SOBRINHO, P. (2000). “Tratamento de esgoto e geração de lodo”. In: Bettiol, W;Camargo, O. A (eds). Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna: EMBRAPA, p11 – 108
- ALEM SOBRINHO, P. “Tratamento de esgoto e geração de lodo. In: Tsutiya, M.T. Biossólidos na agricultura. São Paulo: SABESP. Cap.3, p.41-87. Cap.2, p.7-40.
- ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, [s.l.], v. 22, n. 6, p.711-728, 1 dez. 2013. Schweizerbart. <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANDREOLI, C.V.; LARA, A.I.; FERNANDES, F. Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções. Curitiba: Sanepar, Finep, 1999.
- 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.
- ANDREOLI, Cleverson Vitório. USO E MANEJO DO LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA. Curitiba: SANEPAR, 1999. 98 p.
- ANDREOLI, Cleverson Vitório; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando (Org.) Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001. 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6). cap. 2, p. 17-67
- ARAÚJO, Franciulli. Influencia do lodo de ETE na massa para a fabricação de cerâmica vermelha. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- AREIAS, I. O. R. et al. Incorporação de lodo da estação de tratamento de esgoto (ETE) em cerâmica vermelha. Cerâmica, [s.l.], v. 63, n. 367, p.343-349, set. 2017.
- AZEVEDO, Lariza dos Santos. APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS GERADOS NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE JUIZ DE FORA. 2014. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.
- BARBOSA, Graziela Moraes de Cesare; TAVARES FILHO, João. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de

áreas degradadas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Londrina, v. 27, n. 4, p.565-580, 20 out. 2006.

BARBOSA, Graziela Moraes; FILHO, João Tavares. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 27, ed. 4, p. 565-580, 20 out. 2006.

BATISTA, L.F. 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.DM168/2015, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p.

BETTIOL, Wagner; CARMARGO, Otávio. Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna. São Paulo, 2006. 350 p.

BITTENCOURT, Simone; AISSE, Miguel Mansur; SERRAT, Beatriz Monte. Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 22, n. 6, p. 1129-1139, dez./2017.

BRASIL. CONAMA Resolução nº375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de agosto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, DF, 29 de ago. 2006.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. [S. l.], 2010.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento: SNISS. *In: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2017*. Brasil, 2017. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>. Acesso em: 7 out. 2019.

BRASIL. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. RESOLUÇÃO No 375 , DE 29 DE AGOSTO DE 2006, Brasil, 2006.

BRINGHENTI, Jacqueline et al. Codisposição de lodos de tratamento de esgotos em aterros sanitários brasileiros: aspectos técnicos e critérios mínimos de aplicação. *Revista Engenharia Ambiental*, São Paulo, v. 23, n. 5, p.891-899, set. 2018.

CAERN (Natal). Quantidade de material destinado ao aterro sanitário da região metropolitana de Natal. 2019.

- CAERN (Natal). Tratamento de Esgoto: PRINCIPAIS ETE'S OPERADAS PELA CAERN. 2014. Disponível em:
<<http://www.caern.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=12037&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=>>. Acesso em: 22 out. 2019.
- CAMPOS, F.S. & ALVES, M.C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. R. Bras. Ci. Solo, 32:1389-1397, 2008
- CAMPOS, Milton César Costa. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. Revista Ambiência, Guarapuava, Pr, v. 6, n. 3, p.547-565, set. 2010.
- CANZIANI, J. R. F.; OSAKI, M.; MASSARDO, M.; PEGORINI, E. S. Análise Econômica para reciclagem agrícola do lodo de esgoto da ETE – Belém. SANARE, Curitiba, Janeiro a Junho de 1999, v. 11, p.51-58.
- CASTRO, Alfred Luciano; SILVA, Orlando Rodrigues; SCALIZE, Paulo Sergio. Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. Multi-Science Journal, Goiás, v. 1, ed. 2, p. 66-73, 2015.
- CASTRO, Rodrigo. Tratamento de esgoto urbano no solo com microrganismo de "landfarming" e substrato oleoso. 2000. 150 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Manual Técnico P 4.230. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas - Critérios para projeto e operação. São Paulo, Ago. 1999. 32p.
- CETESB. – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas. Critérios para projeto e operação. São Paulo, 1999. (Norma, P.4230)
- CONAMA. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. . Brasil, Disponível em:
<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2018.
- CONAMA¹. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. . Brasil, Disponível em:
<<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 14 out. 2018.
- COSTA, A. N., COSTA, A. F. S. Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o estado do Espírito Santos. 1. ed. Vitória –ES.
- COSTA, Cristina Alfama. Desafios e Oportunidades na Destinação Sustentável dos Lodos de ETA e ETE. Porto Alegre: Corsan, 2015. 44 slides, color.

DOMICIANO, Fernanda. Pesquisa da APTA com aplicação do lodo de esgoto e composto orgânico diminui em até 60% dos custos com fertilizantes na cana e aumenta produtividade e a vida útil do canavial. 2013. Disponível em: <<http://www.apta.sp.gov.br/noticias/pesquisada-apta-com-aplicacao-do-lodo-de-egoto-e-composto-orgnico-diminui-em-at-60-dos-custoscom-fertilizantes-na-cana-e-aumenta-produtividade-e-a-vida-til-do-canavial>>. Acesso em: 17 nov. 2019.

EROSTAT STATISTIC EXPLAINED. Sewage sludge disposal. 2017. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/images/d/da/Sewage_sludge_disposal_from_urban_wastewater_treatment%2C_by_type_of_treatment%2C_2015_%28%25_of_total_mass%29_V2.png>. Acesso em: 22 out. 2019.

FADE. DIAGNÓSTICO PARA O PLANO ESTRATÉGICO NATAL – UMA METRÓPOLE EM FORMAÇÃO. Produto 2. Recife: Ufpe, 2006. v. 1, 201 p.

FADE. PROPOSTA DE MODELO DE GESTÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE NATAL. Produto 8. Recife: Ufpe, 2006. v. 1, 201 p.

FERNANDES, Ana. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE REÚSO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DA ETE DOM NIVALDO MONTE PARA FINS NÃO POTÁVEIS. 2018. 23 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

FERRAZ, Alexandre de Vicente. Efeito Residual do lodo de esgoto na produtividade e na ciclagem de nutrientes em plantios de Eucalyptos Grandis e no cultivo de plantas alimentícias (simulando a alteração do uso agrícola). 2013. 160 f. Tese (Doutorado) - Curso de Silvicultura e Manejo Florestal, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

FERRAZ, Danillo. EFICIÊNCIA DE UMA ETE EM ESCALA REAL COMPOSTA POR REATOR UASB SEGUIDO DE LODO ATIVADO. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

FERREIRA, R. C.; ARAUJO, F. S. D. O uso potencial do lodo de esgoto como estratégia de pequenas produções agrícolas do estado do Amapá, na Amazônia. Recife, PE. Cap. 56, p. 14. Disponível em: <<http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal15/Geografiasocioeconomica/Geografiaagricola/56.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2018.

FRANÇA, Josué et al. Remoção de Lodo de Lagoas de Estabilização e seu Acondicionamento em bag. Revista DAE, São Paulo, p.53-63, jan. 2011.

GALDOS, M. V.; MARIA, I. C. de; CAMARGO, O. A.. SEÇÃO IX - POLUIÇÃO DO SOLO E QUALIDADE AMBIENTAL Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. Revista Brasileira de Ciência do Solo: SEÇÃO IX - POLUIÇÃO DO SOLO E QUALIDADE AMBIENTAL, Viçosa, v. 28, n. 03, p.1-9, maio 2004.

GODOY, Lucia. A LOGÍSTICA NA DESTINAÇÃO DO LODO DE ESGOTO. Revista Científica On-line Tecnologia – Gestão – Humanismo, São Paulo, v. 2, n. 1, p.79-90, nov. 2013. Disponível em: <<http://www.fatecguaratingueta.edu.br/revista/index.php/RCOTGH/article/view/43>>. Acesso em: 16 out. 2019.

HESPANHOL, Rosangela Medeiros. A agricultura urbana em Natal (RN): da produção convencional à orgânica. Confins, [s.l.], n. 24, 21 jul. 2015. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/10309?lang=pt>>. Acesso em: 30 out. 2019.

IBGE. Produção Agrícola Municipal 2018. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/ceara-mirim/pesquisa/14/10193>>. Acesso em: 17 nov. 2019.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. Tratamento de Esgotos Domésticos. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 1050 p.

LEGNER, Carla. Digestão biológica do lodo. Revista TAE especializada em tratamento de água e efluente, São Paulo, 9 ago. 2013. Disponível em: <http://www.revistatae.com.br/6386-noticias>. Acesso em: 30 out. 2019.

LINHARES, Paulo de Traso; MENDES, Constantino Cronemberger; LASSANCE, Antonio. Federalismo à Brasileira questões para discussão: Diálogos para o Desenvolvimento. Brasília: IPEA, 2012. 256 p. v. 8.

LOPES, Lucas Sampaio. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE LODO E BIOGÁS PROVENIENTES DE REATORES UASB TRATANDO ESGOTO DOMÉSTICO NO ESTADO DO PARANÁ. 2018. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

MACHADO, Luiz. ASPECTOS TÉCNICOS RELACIONADOS À GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO LODO DE ESGOTO. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

MAPA - MINISTERIO DA AGRICULTURA, PECUARIA E ABASTECIMENTO. INSTRUÇÃO NORMATIVA SDA/MAPA 25/2009: INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 25, DE 23 DE JULHO DE 2009. Brasil: A, 2009.

MARTINS, Lucas Emanuel. ANÁLISE DA VIABILIDADE DA RECICLAGEM AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO NA REGIÃO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS. 2015. 115 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

MATTOS, Carlos et al. Viabilidade econômica de utilização do lodo de esgoto na agricultura. Cap. 6. p. 85.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015. 2008 p.

MIKI, M. K.; ANDRIGUETI, E. J.; ALEM SOBRINHO, P. Tratamento da fase sólida. In: TSUTIYA, M.T. Biossólidos na agricultura. São Paulo: SABESP, 2001. cap. 3, p. 41-87
MORAES, Emmerson. APLICAÇÃO DE FERTILIZANTE ORGANOMINERAL DE LODO DE ESGOTO E BIOESTIMULANTE NA CANA-DE-AÇÚCAR. 2017. 85 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

NATAL. Start Pesquisa e Consultoria Técnica Ltda. Prefeitura do Natal (Org.). PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DO MUNICÍPIO DE NATAL/RN: PRODUTO 02 - DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO DO SANEAMENTO NATAL/RN. Natal: 2014. 319 p. Disponível em: <
https://natal.rn.gov.br/seharpe/File/PMSB_CHARACTERIZACAO_GERAL.pdf >. Acesso em: 14 nov. 2019

NUCASE, Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. Lodo gerado durante o tratamento de água e esgoto: guia do profissional em treinamento, nível 2. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). Brasília; Ministério das Cidades, 2008. 90 p.

PIRES, A.M.M.; Uso agrícola do lodo de esgoto: Aspectos legais. Embrapa. Jaguariúna, 4 p. 2006.

RUBIM, Cristiane. Os desafios do tratamento de lodo. Revista TAE especializada em tratamento de água e efluente, São Paulo, 7 ago. 2013. Disponível em: <http://www.revistatae.com.br/6376-noticias>. Acesso em: 30 out. 2019.

SABESP. USO DE LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA ESTUDO DE CASO: São Paulo: Power Point, 2008. 30 slides, color. Disponível em: <[http://www.sabesp.com.br/Sabesp/filesmng.nsf/DC466180BB9121BF8325760F006AEB08/\\$File/uso_lodo_esgoto_agricultura.pdf](http://www.sabesp.com.br/Sabesp/filesmng.nsf/DC466180BB9121BF8325760F006AEB08/$File/uso_lodo_esgoto_agricultura.pdf)>. Acesso em: 30 out. 2019.

SAITO, M.L. (2007) O Uso do Lodo de Esgoto na Agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna. São Paulo, 35p.

SAMPAIO, T.F.; GUIVARA, L.; FERNANDES, L.A.; COSTA, C.A. & GUILHERME, D.O. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: Efeito nas características físicas do solo. R. Bras. Ci. Solo, 36:1637-1645, 2012.

SANTOS, Ailton. Estudo das possibilidades de reciclagem dos resíduos de tratamento de esgoto da região metropolitana de São Paulo. 2003. 282 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de

Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SANTOS, Elizabete. O processo de urbanização agrícola do território na região metropolitana de Natal/RN - 1990 A 2015. 2016. 150 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

SANTOS, José; PEREIRA, Arnaldo. PRODUÇÃO DE ECOCIMENTOS A PARTIR DE LODO DE ETE E RESÍDUOS DO CORTE DE MÁRMORE. Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

SILVA, Ana. et al. ANÁLISE DE ALTERNATIVAS DE PROCESSO E DISPOSIÇÃO DE LODO DE ESGOTO NA AGRICULTURA: QUANDO A ATRATIVIDADE ECONOMICA E A PRESERVAÇÃO AMBIENTAL CAMINHAM JUNTAS. Congresso ABES. 2017.

SILVA, Fabio et al. Impactos da aplicação do lodo de esgoto na cultura de cana-de-açúcar e no ambiente. *Holos Environment*, São Paulo, v. 10, n. 1, p.62-81, jun. 2010.

TRIGUEIRO, Rodrigo; GUERRINI, Ira. UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE AROEIRA-PIMENTEIRA. *Revista Árvore*, vol. 38, núm. 4, julho-agosto, 2014, pp. 657-665. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Brasil.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: BETTIOL, W. & CAMARGO, O. A. (Ed) *Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto*. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. cap. 4, p. 69-106

URBAN, Rodrigo. METODOLOGIAS PARA GERENCIAMENTO DE LODO DE ETA E ETE. 2016. 204 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Unicamp, Campinas, 2016.

VIDOR, C. Descarte de lodo de estações de tratamento de efluentes domésticos no solo. In: TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C. (Ed.) *Manejo racional de resíduos no solo*. Porto Alegre: DS/UFRGS, p. 128-150, 1999

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*, 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Org.) *Lodo de esgotos: tratamento e disposição final*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG; Curitiba: SANEPAR, 2001. 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6). cap. 2, p. 17-67.

VON SPERLING, Marcos. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte: Segrac,

1996. 243 p.