



PETERSON DA FONSECA NOGUEIRA

**PANORAMA DA DISPOSIÇÃO DE LODOS DE ESTAÇÕES
DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NA REGIÃO SUL DE
MINAS GERAIS E POSSÍVEIS ROTAS DE
APROVEITAMENTO**

**LAVRAS – MG
2022**

PETERSON DA FONSECA NOGUEIRA

**PANORAMA DA DISPOSIÇÃO DE LODOS DE ESTAÇÕES
DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NA REGIÃO SUL DE
MINAS GERAIS E POSSÍVEIS ROTAS DE
APROVEITAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Mateus Pimentel de Matos
Orientador

Prof.(a) Dra. Paula Peixoto Assemany
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2022**

PETERSON DA FONSECA NOGUEIRA

**PANORAMA DA DISPOSIÇÃO DE LODOS DE ESTAÇÕES
DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NA REGIÃO SUL DE
MINAS GERAIS E POSSÍVEIS ROTAS DE
APROVEITAMENTO**

**OVERVIEW OF THE DISPOSAL OF SLUDGE FROM
SEWAGE TREATMENT STATIONS IN THE SOUTH REGION
OF MINAS GERAIS AND POSSIBLE USE ROUTES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Engenharia Ambiental e
Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

_____ em de abril de 2022.

Prof. Dr. UFLA
Msc. UFLA

Misael Dieimes de Oliveira
Patrick Cláudio Nascimento Valim

Prof. Dr. Mateus Pimentel de Matos
Orientador

Prof.(a) Dra. Paula Peixoto Assemany
Coorientadora

LAVRAS – MG

2022

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho e a minha jornada na graduação primeiramente a Deus por me proporcionar uma vida com saúde e capacidade de lutar e superar as diversidades encontradas ao longo da vida, a meus pais que sempre me dão apoio e que graças a seus esforços hoje posso concluir o meu curso.

Dedico também a minha namorada Marianna Molinari que foi deixada de lado por diversos momentos durante a graduação, mas que sempre entendeu a importância da minha formação, sempre me deu apoio e suporte nos momentos difíceis, dedico aos meus amigos que estiveram próximos em todos os momentos, e que também passaram por esse momento difícil, mas especial em nossas vidas, dedicatória em especial a minha amiga Tamara Ventura.

Aos meus professores também dedico esse trabalho, em especial: Mateus Matos e Paula Assemany que sempre me deram atenção e estiveram dispostos a me ajudar a realizar o presente trabalho.

Sem eles não teria conseguido chegar até aqui, obrigado a todos por fazerem parte desse momento tão incrível.

RESUMO

Ao mesmo tempo que se mostra necessário aumentar os índices de tratamento de esgotos, surge outra preocupação: o que fazer com o lodo de esgoto que terá sua geração aumentada com a ampliação do atendimento dos serviços de tratamento? Uma grande parcela do resíduo gerado hoje é encaminhada para aterros, o que irá requerer grandes áreas para disposição do subproduto de estações de tratamento de esgoto (ETE) no futuro. Além disso, utilizando dessa forma de disposição do resíduo, há perda de recursos como nutrientes, fonte energética e matéria-prima para fabricação de agregados da construção civil. Nesse contexto, com a realização do presente trabalho objetivou realizar um panorama da disposição de lodos das estações de tratamento de efluente no sul do estado de Minas Gerais e apresentar possíveis rotas de aproveitamento. Utilizando informações obtidas em publicações e portais do SEMAD (Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de MG) e do Atlas Esgotos da ANA (Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico), observou-se que grande parte dos municípios da região não possuem tratamento de efluente e, aqueles que possuem, ainda não atendem toda a população. Em relação ao esgoto que é tratado, 78% do lodo gerado (estimado com base na população e tipologia de tratamento) é aterrado na própria ETE ou em aterros sanitários, enquanto o restante não dispõem de informação. Essa condição demonstra o quanto o gerenciamento do lodo ainda é negligenciado nas ETEs, além de indicar o grande desperdício de recursos que ocorre. Estima-se que são perdidos 11.652, 8.000 e 939 toneladas de nitrogênio, fósforo e potássio respectivamente anualmente, que poderiam adubar até 58.697 hectares de lavouras de café, por exemplo. Com essa massa de lodo seco, cerca de 34.783 toneladas, poderiam ainda suprir a demanda energética de 1.337 habitantes por ano, considerando o poder calorífico do material. E as cinzas da incineração do lodo poderiam resultar na geração de quase 14.000 toneladas de cimento Portland. Conclui-se assim, a necessidade de apresentação de alternativas para as ETEs e de melhor aproveitamento do lodo de esgoto.

Palavras-chaves: Biossólido; Resíduo sólido urbano; Subproduto de estações de tratamento de esgotos; Destinação Final; Rotas de aproveitamento de lodo.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 11 |
| 2.1 Tratamento de Águas Residuárias | 11 |
| 2.2. Geração de lodo na ETE e suas principais características | 13 |
| 2.3. Possíveis formas de aproveitamento do lodo | 16 |
| 2.3.1 Aproveitamento do lodo na construção civil | 16 |
| 2.3.2 Aproveitamento do lodo na agricultura | 18 |
| 2.3.3 Aproveitamento energético do lodo | 22 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 23 |
| 3.1 Área de estudo | 23 |
| 3.2 Panorama de disposição de lodo de ETE | 25 |
| 3.3 Cálculo do volume de lodo gerado | 25 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 27 |
| 6 CONCLUSÃO | 36 |
| 7 REFERÊNCIAS | 37 |

1 INTRODUÇÃO

Após a publicação do novo marco de Saneamento (Lei 14.026 de 2020), que possui metas até agosto dezembro de 2033, com o atendimento de 90% da população com coleta e tratamento de esgoto (BRASIL, 2020), ficou evidente a preocupação com os serviços de esgotamento sanitário no país. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), no ano de 2020 apenas 55% do esgoto gerado foi coletado no Brasil e somente 50,8% dessa porcentagem foi tratado (BRASIL, 2021). Porém, ao mesmo tempo em que se deve aumentar os níveis de tratamento de esgotos, surge outra preocupação: o que fazer com os subprodutos gerados durante as etapas de depuração da água residuária que terão sua geração aumentada com a ampliação da cobertura dos serviços de tratamento?

No tratamento de águas residuárias, que têm como objetivos a remoção de poluentes, são gerados resíduos sólidos grosseiros, gases, espuma e lodo que pode ser classificado como primário, secundário, terciário, químico e misto (DEZOTTI, 2008). De acordo com essa classificação, o lodo primário é aquele gerado a partir da sedimentação do material afluente, ou seja, é o lodo gerado através dos processos presentes no tratamento primário (CASSINI et al., 2003). O lodo secundário, por sua vez, pode ser caracterizado como o subproduto constituído por microrganismos, sólidos orgânicos produzidos e materiais inertes remanescentes, após processos biológicos de tratamento (MACKENZIE, 2010). Ainda de acordo com o autor, a mistura do lodo primário com o lodo secundário gera o chamado lodo misto.

Por sua vez, o lodo terciário é o proveniente de tratamentos terciários, como os resultados da remoção de fósforo do esgoto por meio de processos químicos (MACKENZIE, 2010). Cassini et. al. (2003) complementam a definição do autor, descrevendo que o lodo químico se caracteriza como o subproduto de processos físico-químicos, que geralmente resultam da precipitação com sais ou com cal.

O lodo de ETE corresponde a cerca de 1 a 2% do volume do efluente tratado, entretanto o seu tratamento e a disposição final representam de 30 a 50% do custo operacional da estação (SANEPAR, 1999).

Apesar do pequeno volume, em relação ao do esgoto sanitário, grandes quantidades de lodo são geradas em estações de tratamento de esgotos (MAZIVIERO, 2011). Segundo estimativas apontadas por Iwaki (2017), em 2010, no Brasil, houve geração de 150 a 220 mil

toneladas de matéria seca por ano, resultando em mais de 400 toneladas diárias. A elevada geração somada a relevante presença de poluentes e a expressiva contagem de organismos patogênicos (SILVA et al., 2001; SAITO, 2007; ASIK et al. 2015) indicam tratar-se de um importante passivo ambiental, e que apresenta complexidade de gerenciamento (VON SPERLING, 2014).

Ainda que se trate de um assunto de grande importância para o saneamento e para o meio ambiente, são poucos os estudos que apresentam um panorama a respeito da destinação de lodo no Brasil (RIGO et al., 2014; ALMEIDA et al., 2017). Inclusive, apesar de não ser uma preocupação recente, o conceito e práticas ainda são pouco difundidos. Até poucos anos atrás, a única referência ao lodo nos projetos das estações de tratamento de esgotos (ETEs), era o indicativo de “disposição final”, sem identificar onde seria o descarte e nem como seria feito. Dessa forma, as concessionárias municipais de saneamento e indústrias geradoras procuravam apenas se livrar do resíduo, sem se preocupar com seu possível aproveitamento. As formas mais utilizadas eram o descarte da torta de lodo em aterros sanitários – *landfill*, e o encaminhamento de lodo líquido, bombeado através de dutos até o alto-mar, a destinação denominada descarga oceânica (NUVOLARI et al., 2011). A última é uma técnica proibida em muitas das localidades, o que somada à grande demanda dos aterros, que recebem diferentes tipos de resíduos, implica na necessidade urgente de apresentação de alternativas para a disposição desse subproduto do tratamento de esgotos (MOREIRA, TARGINO, 2018; MALTA, 2001).

Em escala global, verifica-se que a maior parte do resíduo sólido (90%) é destinada a incineração, disposição em aterros e uso agrícola (ANDREOLI et al, 2006), sendo que cada uma dessas apresenta potencialidades e desvantagens. Pelo fato das duas primeiras alternativas resultarem em desperdício de recursos em um período que cada vez mais se discute sobre a escassez de reservas de nutrientes, o aproveitamento agrícola ganha força. Além de fornecimento de nutrientes, a aplicação do biossólido (lodo após tratamento e que possui características químicas e biológicas compatíveis com a utilização produtiva), também resulta em melhoria nos atributos físicos e microbiológicos do solo, resultando em aumento da produtividade agrícola. O lodo de ETEs é um material de elevado potencial agrônômico, rico em matéria orgânica e nutrientes, como nitrogênio e fósforo (PEDROZA et al., 2006; TAMANINI et al., 2008).

Quando higienizado por processo alcalino, esse resíduo orgânico apresenta também potencial corretivo da acidez de solo (SERRAT et al., 2011). Ao mesmo tempo, pesquisas também têm avaliado o potencial aproveitamento do lodo na geração de energia (ROSA et.al., 2016); na fabricação de agregados da construção civil (ANDREOLI et al., 2006); confecção de biocarvão (biochars), utilizados no tratamento de águas residuárias para remoção de nutrientes/contaminantes e, o seu aproveitamento no solo (BATISTA, 2015).

Dessa forma, diante das várias possibilidades de utilização do lodo de ETEs, objetivou-se com a realização do presente trabalho:

- i) realizar um diagnóstico da destinação atual do lodo oriundo de estações de tratamento de esgoto doméstico na região sul de Minas Gerais;
- ii) quantificar a geração do lodo e suas formas de destinação no sul do estado de MG;
- iii) propor rota de aproveitamento do lodo gerado no sul do estado de MG.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tratamento de Águas Residuárias

No decorrer da realização dos processos produtivos e de diversas atividades são gerados resíduos sólidos e água residuária, como, por exemplo, os esgotos sanitários, os quais devem receber o devido tratamento antes de serem descartados no meio ambiente. A escolha do tipo de tratamento, porém, depende de alguns fatores como demanda de área, custos, nível de tratamento exigido e características do rejeito (VON SPERLING, 2017).

As características quantitativas e qualitativas do esgoto, por sua vez, são influenciadas pelo tipo do consumo de água, tipo do sistema de coleta (separador absoluto ou unitário), estado de conservação da rede coletora, tamanho e característica da população atendida, além da estação do ano (influência climática) (MACKENZIE, 2010; POTIER; PONS, 2006). Já os custos da adoção de alternativas do tratamento de esgotos estão relacionados à necessidade de aquisição de área, de construção, de gastos com energia elétrica, mão de obra, tratamento, transporte e disposição final de subprodutos, dentre outros. Assim, define-se pela alternativa com base nas características locais (VON SPERLING, 2017). Por sua vez, a seleção do tratamento interfere na quantidade e qualidade dos subprodutos gerados e, conseqüentemente

nas etapas de gerenciamento dos mesmos (ANDREOLI; VON SPERLING; RODRIGUES, 2014). Por esse motivo, será feita uma breve revisão sobre etapas de tratamento.

Os sistemas de tratamento de água residuária e esgotos sanitários são classificados de acordo com von Sperling (2017) em:

- Tratamento preliminar: possui como principal objetivo a remoção de sólidos grosseiros, areias e gorduras por meio de calhas, grades e vertedouros (VON SPERLING, 2005). A remoção desses poluentes é extremamente importante visto que diminui a possibilidade de assoreamento nos corpos receptores, não prejudica a entrada de luz e o processo de fotossíntese e reduz expressivamente a geração de odores e aspectos visuais indesejados. Também diminui a quantidade de materiais inertes que alcançariam os reatores de tratamento, evitando a redução do volume útil das unidades subsequentes (JORDÃO, PESSOA, 2017). Como subprodutos, são segregadas do esgoto nessa etapa, a areia, espuma e os sólidos grosseiros (materiais/resíduos inadequadamente descartados em aparelhos sanitários e na rede de esgotos) (ANDREOLI; VON SPERLING; RODRIGUES, 2014);
- Tratamento primário: destina-se à remoção de parte da matéria orgânica, sólidos flutuantes e em suspensão pela passagem por decantadores e fossas sépticas (COPASA, 2016). Nessa etapa ocorre o processo de sedimentação, onde pode ou não haver a adição de produtos químicos, que acelera o agrupamento e a aglutinação das partículas a serem removidas. Na etapa, é gerado o denominado lodo primário, basicamente formado de sólidos suspensos oriundos da água residuária, além de coagulantes adicionados (ANDREOLI; VON SPERLING; RODRIGUES, 2014);
- Tratamento secundário: responsável pela remoção da matéria orgânica remanescente e eventualmente nutrientes, como nitrogênio (N) e fósforo (P). Nessa etapa de tratamento predominam os mecanismos biológicos e podem ser empregadas unidades como reatores UASB, lagoas de estabilização, filtros biológicos, lodos ativados, entre outros (von SPERLING, 2005). A degradação da matéria orgânica propicia a geração de energia para crescimento e reprodução de micro-organismos, que também incorporam outros poluentes. Nesse processo, está formado o lodo secundário, removido na etapa;
- Tratamento terciário: etapa de tratamento que não é frequentemente encontrada no Brasil e que objetiva a remoção de nutrientes e organismos patogênicos, além de poluentes específicos e a complementação de poluentes remanescentes do tratamento

secundário. Para atender a essas finalidades, são utilizados processos como microfiltração, precipitação e coagulação, adsorção, troca iônica, etc. (JORDÃO, PESSOA, 2017). Nestas etapas, pode ser gerado o denominado lodo terciário, resultante da adição de produtos químicos para precipitação de poluentes não removidos em processos anteriores (VON SPERLING, 2005).

2.2. Geração de lodo na ETE e suas principais características

Em uma estação de tratamento de esgotos (ETE), após as etapas de tratamento empregadas, são gerados diferentes subprodutos, como os gases, os resíduos grosseiros (retidos no tratamento preliminar), a espuma, o esgoto tratado e o lodo. O lodo de esgoto, como discutido, representa a fração sólida, composta de matéria orgânica e inorgânica, removido do esgoto sanitário durante o tratamento por processo de sedimentação de sólidos em suspensão, areia e microrganismos (JORDÃO, PESSOA, 2017).

Como descrito anteriormente, o lodo de ETE pode ser classificado como primário, secundário, terciário, químico e misto (DEZOTTI, 2008). De acordo com essa classificação, o lodo primário é aquele gerado a partir da sedimentação do material afluente, ou seja, é o lodo gerado através dos processos presentes no tratamento primário (CASSINI et al., 2003). O lodo secundário, por sua vez, pode ser caracterizado como o subproduto constituído por microrganismos, sólidos orgânicos produzidos e materiais inertes remanescentes, após processos biológicos de tratamento (MACKENZIE, 2010). Ainda de acordo com o autor, a mistura do lodo primário com o lodo secundário gera o chamado lodo misto.

Por sua vez, o lodo terciário é o proveniente de tratamentos terciários, como os resultados da remoção de fósforo do esgoto por meio de processos químicos (MACKENZIE, 2010). Cassini et. al. (2003) complementam a definição do autor, descrevendo que o lodo químico se caracteriza como o subproduto de processos físico-químicos, que geralmente resultam da precipitação com sais ou com cal.

Além das diferenças qualitativas, esses subprodutos sólidos do tratamento de águas residuárias também podem apresentar distintas quantidades geradas nas diversas etapas de tratamento. Em uma estimativa de produção de lodo feita por Campos (2000), foi obtido que cada pessoa contribuiria indiretamente (produz matéria orgânica que leva à geração dos microrganismos) com cerca de 20 a 35 g de sólidos secos diariamente em processos aeróbios

de tratamento, enquanto que em unidades de tratamento anaeróbio, a contribuição *per capita* varia de 3 a 15 g de sólidos secos diários. Nesse contexto, por meio de uma operação de “balanço de massa” e considerando as contribuições de sólidos secos e orgânicos por habitante, Jordão e Pessoa (2005) estimaram a quantidade de sólidos retidos ou gerados no sistema de uma ETE, e concluíram que para esgotos domésticos, a relação de sólidos voláteis (SV) por sólidos totais (ST) está na faixa de 75 a 85%.

Como durante o tratamento de esgoto, contaminantes vão sendo incorporados ao lodo, agregando material orgânico, nutrientes, microcontaminantes e organismos patogênicos (vírus, bactérias, ovos de helmintos, entre outros), além de apresentar grande conteúdo de água, esse resíduo precisa passar por processos antes da sua disposição final (VON SPERLING, 2005).

De acordo com a finalidade de uso/destino final do lodo de ETE, este pode requerer a passagem por mais etapas de tratamento. Se a opção for o encaminhamento para aterros sanitários, a remoção de água é a única etapa exigida. Por outro lado, caso haja o interesse de aproveitamento agrícola, outros processos são requeridos, demandando a redução dos teores de sólidos voláteis e da contagem de organismos patogênicos conforme preconizado na Resolução CONAMA 498/2020 (BRASIL, 2020). Ao final do tratamento do lodo, gera-se um produto denominado biossólido - sólido biológico que possui características químicas e biológicas compatíveis com a utilização produtiva. Essa designação é utilizada para ressaltar seu aspecto benéficos, valorizando a utilização produtiva (METCALF e EDDY, 2003; MACKENZIE, 2010; ANDREOLI et.al., 2014).

De acordo com Andreoli et al. (2014), o tratamento do lodo pode ocorrer em até cinco etapas, que são adensamento, digestão/estabilização, condicionamento, desidratação e desinfecção/higienização, além da destinação final (Tabela 1).

Tabela 1 - Fases de Tratamento do lodo

| Fase | Descrição |
|------|-----------|
|------|-----------|

| | |
|------------------------------|--|
| Adensamento | Processo físico responsável por reduzir o volume do lodo através da retirada da sua umidade, facilitando os demais processos. |
| Estabilização ou digestão | Processo biológico no qual acontece remoção da matéria orgânica e desidratação. Além disso, diminui a exalação de maus odores. |
| Condicionamento | Processo químico devido a adição de produtos químicos, como coagulantes e polietrólidos. Este aumenta a aptidão para a perda de água. |
| Desidratação ou desaguamento | Processo físico responsável por remover a água e reduzir ainda mais o volume do lodo diminuindo então o gasto com transporte. |
| Desinfecção | Processo no qual ocorre a remoção de organismos patogênicos |
| Destinação final | Destinação final dos subprodutos necessários para todos os sistemas, exceto fertirrigação, rampas de escoamento superficial e sistemas alagados construídos. |

Fonte: Andreoli et. al. (2014)

Além do destino final, outro fator que interfere no número de etapas necessárias para tratamento do lodo é a unidade de geração desse subproduto sólido. Reatores com regiões anaeróbias como UASB, lagoas anaeróbias e facultativas, dentre outros, produzem lodo já estabilizado e com menores teores de água, dispensando as fases de adensamento e estabilização. A digestão também pode ser opcional em reatores aeróbios de baixa carga (filtros biológicos de baixa carga e lodos ativados de aeração prolongada), em razão da endogenia e diminuição da relação SV/ST (ANDREOLI, et. al. 2014). A tipologia do tratamento também interfere na quantidade de lodo produzida e a frequência de remoção. Unidades de tratamento centralizadas e com mecanização requerem retirada de lodo com maior periodicidade como pode ser observado na Tabela 2, na qual está também apresentado o processamento usual para o lodo gerado em cada unidade de tratamento.

Tabela 2 - Frequência de remoção e processamento do lodo de ETE

| Sistemas de Tratamento | Frequência de Remoção | Processamento Usual do Lodo | | | |
|--|-----------------------|-----------------------------|----------|--------------|------------------|
| | | Adensamento | Digestão | Desidratação | Disposição Final |
| Tratamento primário | variável | x | x | x | x |
| Lagoa facultativa | > 20 anos | | | x | x |
| Lagoas anaeróbias-facultativa | > 10 anos | | | x | x |
| Lagoa aerada-facultativa | > 10 anos | | | x | x |
| lagoa aer. mist. completa - lagoa decantação | < 5 anos | x | | x | x |
| Lodo ativados convencional | contínua | x | x | x | x |
| Lodo ativados (aeração prolongada) | contínua | x | | x | x |
| Lodo ativados (fluxo intermitente) | contínua | x | | x | x |
| Filtro biológico (baixa carga) | contínua | x | x | x | x |
| Filtro biológico (alta carga) | contínua | x | x | x | x |
| Biodiscos | contínua | x | x | x | x |
| Reator anaeróbio de manta de lodo | contínua | | | x | x |
| Fossa séptica - filtro anaeróbio | meses | | | x | x |

Fonte: von Sperling (2005)

Após apresentadas as características gerais do lodo de esgoto e das etapas de tratamento necessárias, serão exibidas duas das possíveis formas de aproveitamento do lodo.

2.3. Possíveis formas de aproveitamento do lodo

2.3.1 Aproveitamento do lodo na construção civil

A construção civil é uma das atividades econômicas que mais demandam a retirada de recursos naturais, impactando o meio ambiente. Por essa razão, é extremamente necessário encontrar alternativas como, por exemplo, o aproveitamento de resíduos. Nesse contexto, a

utilização do lodo de ETE vem ganhando atenção da comunidade científica, havendo um grande número de pesquisas recentes na avaliação do possível emprego na construção civil.

De acordo com Castro et al. (2015), avaliações têm apontado para a viabilidade de se substituir areias, pequenas pedras e demais materiais utilizados por lodo de esgoto ou cinzas de lodo como agregados na fabricação de cimentos e concretos. Para Pereira (2012) e Brehm (2013), o acréscimo de cinzas do lodo ao processo de produção de cimento confere um ganho de resistência da mistura solo-cimento para estabilização de solo, além de reduzir o custo do concreto.

Já outros estudos têm como foco o desenvolvimento de novos materiais de construção a partir do lodo de esgoto. Como exemplo, pode-se citar o trabalho realizado por Souza e et al. (2020), que demonstraram que há viabilidade técnica para fabricação de agregado leve (LWA, do inglês *lightweight aggregate*) utilizando lodo de ETE. O material em estudo atendeu aos requisitos exigidos por normas pertinentes e apresentou resultados comparáveis aos de agregados leves comerciais, os quais são utilizados na produção de concretos. Além disso, os resultados da pesquisa ainda sugeriram que o produto gerado apresenta adequados valores de densidade, absorção, resistência mecânica e liberação de metais pesados.

Silveira et al. (2021), por sua vez, avaliaram a substituição do cimento Portland na composição de argamassas. O procedimento de estudo foi iniciado com a secagem do lodo ao ar livre por seis dias e em estufa a 100°C por 24 horas. Posteriormente, o lodo foi calcinado em mufla em temperaturas de 600°C e 800°C. Após a preparação, foram produzidas argamassas conforme a norma técnica ABNT NBR 7215 de 2019 (BRASIL, 2019), substituindo parcialmente o cimento Portland pelo lodo calcinado nas porcentagens de 10% e 20%. Posteriormente, foram feitas avaliações de densidade de massa, teor de ar incorporado, índice de consistência e retenção de água no estado fresco. No estado endurecido foram realizados os ensaios de densidade de massa, absorção de água por imersão, resistência à compressão e resistência à tração diametral. Os autores concluíram, com base nos resultados obtidos, de que é possível substituir parte do cimento Portland pelo lodo de ETE na composição de argamassas.

Essa também foi a observação feita por Fontes et al. (2016), que verificaram que proporções de 5 a 10% da matéria prima da produção do cimento Portland poderiam ser substituídas por cinzas de lodo, que representa cerca de 4% da massa do material (ANDREOLI et al., 2014). Lin e Weng (2001) utilizaram cinzas de lodo na composição de tijolos, verificando

que poderiam ser utilizados de 20 a 40%. A mistura ótima para fabricação de cerâmica, segundo Devant et al. (2011), seria de 10% de lodo seco, 10% de serragem e 80% de argila. Por conseguinte, verifica-se que há muitos possíveis usos do lodo na construção civil, sendo uma fonte importante de matéria-prima e reduzindo a quantidade que precisa ser aterrada.

2.3.2 Aproveitamento do lodo na agricultura

A maior parte das publicações encontradas faz referência ao uso de lodo de esgoto em aplicações no solo, com a finalidade de melhorar as características físicas, químicas e biológicas; enriquecer ou recuperar solos para a produção de vegetais; diminuir os custos de produção substituindo a adubação e aumentar a produtividade. Tal fato se deve aos elevados teores de nutrientes e de matéria orgânica presentes no lodo de ETE.

Matos (2014) elencou diversos aspectos positivos de se realizar a adubação orgânica utilizando lodo de esgoto, como aumento da capacidade de retenção de água no solo; melhorias da estrutura do solo, favorecendo aumento da permeabilidade; elevação da capacidade de retenção de nutrientes e poluentes no solo; fornecimento de nutrientes; aumento da diversidade microbiana; e, diante de todas esses benefícios, aumento da produtividade. Lopes et al. (2020), por exemplo, verificaram aumento da nutrição do solo e da população responsável pela ciclagem de nutrientes, após adição de lodo de esgoto. Lobo et al. (2013), por sua vez, constataram aumento da produtividade do girassol à medida que se aumentava a dosagem de lodo adicionado.

Em razão desses possíveis benefícios, o lodo de esgoto pode ser utilizado para recuperação de áreas degradadas. Campos e Alves (2008) obtiveram sucesso no uso de lodo de esgoto em um solo deteriorado pela produção agrícola. Com a adição do biossólido, houve diminuição da densidade do solo, aumento da macroporosidade e do crescimento vegetal. Caldeira et. al. (2013) ao utilizar lodo de ETE como componente de um substrato junto com arroz carbonizada e palha de café in natura obteve excelentes características morfológicas na produção de *Chamaecrista desvauxii*.

O lodo possui potencial de biofertilizante, devido à alta quantidade de matéria orgânica, macro e micronutrientes nele presente, aumentando a produtividade das culturas e reduzindo custos de adubação e a utilização de fertilizantes industriais (QUINTANA et.al., 2011. Ainda de

acordo com o autor, algumas culturas são mais propensas a receberem o lodo de esgoto, como o milho e gramíneas, além de atividades como fruticultura, recuperação de áreas degradadas e reflorestamento. Quando utilizado em áreas degradadas, o biossólido traz benefícios às propriedades do solo por meio do seu papel de condicionador do solo, ou seja, melhorando a formação de agregados e infiltração, conforme concluído, após estudo, por Rigo et. al. (2014).

Por outro lado, deve-se realizar a aplicação de forma adequada, com critério e após os tratamentos devidos, de forma a reduzir o risco sanitário e de contaminação do solo, planta e águas subterrâneas (CANZIANI et al., 1999; MATOS, 2014). De forma a regular a aplicação, a CONAMA publicou em 2020, a Resolução nº 498, que regulamenta o aproveitamento agrícola de biossólidos. Essa resolução substituiu a CONAMA 375/2006, que era mais restritiva e reduzia o interesse por essa destinação. Após reuniões e sugestões de especialistas, reformulou-se as diretrizes e fez-se a nova Resolução. A seguir estão descritas e discutidas algumas das preocupações frequentes relacionadas à técnica de aplicação de lodo no solo. No entanto, ressalta-se novamente que seguindo a CONAMA 498/2020 e critérios agrônômicos, existe um baixo risco de causar impactos negativos pela adubação com o biossólido.

Para Andreoli et al. (2003), dos microrganismos encontrados no lodo de ETE a *Salmonella ssp* e a *Shugella spp* são aqueles que representam o maior risco de infecção para humanos, já que sua presença é mais frequente em esgotos domésticos. Por outro lado, os ovos de helmintos (vermes) tendem a ter maior tempo de viabilidade no solo em relação aos demais (MATOS, 2014). Pelos motivos, descritos, deve-se investigar a dinâmica dos citados patógenos e/ou quantificar a presença de indicadores como *E. coli* e coliformes termotolerantes.

De acordo com o experimento de Pires (2003), após a aplicação do lodo no solo em diferentes dosagens foram realizadas análises de helmintos, protozoários, coliformes totais e *Esherichia coli*. Os resultados indicaram que os patógenos encontram-se na camada superficial (0-20 cm) do solo, já no líquido percolado não foram detectados patógenos. Consequentemente, verifica-se a capacidade do solo em diminuir a viabilidade/mobilidade desses contaminantes, o que ocorre por ação de mecanismos como filtração e adsorção, além de competição, predação e incidência de radiação UV, além das condições aeróbias e de temperaturas fora da faixa ótima dos patógenos (MATOS; MATOS, 2017). Com base nas observações de Pires (2003), foi recomendada a aplicação de 2,5 SST/ha a cada 40 dias, para garantir que não haja riscos de contaminação por patógenos.

Souza et al. (1997) também buscaram avaliar a sobrevivência de ovos de helmintos após aplicação do lodo em Latossolo Vermelho distrófico argiloso do Cerrado. No trabalho, determinou-se a densidade de ovos de helmintos no lodo e no solo após incorporação do lodo, havendo queda na quantificação desde o primeiro dia até o décimo sexto dia da incorporação do lodo ao solo. Após essa data, não foram detectados ovos de helmintos nas amostras indicando que o solo é um ambiente inóspito para microrganismos patogênicos.

O decréscimo de viabilidade dos ovos de helmintos também foi verificado por Lemainski et al. (2007) e por Thomaz-Scool et. al. (1996). Os primeiros avaliaram o risco sanitário da aplicação de lodo de esgoto no cultivo de milho e soja em solo do cerrado, após a aplicação de 60 mg/ha, base úmida. Já Thomaz-Scool et al. (1996), utilizaram a mesma dose de lodo digerido aeróbio na Fazenda Experimental do Cangüiri da Universidade Federal do Paraná (UFPR). O resíduo continha 7,87 ovos de helmintos viáveis por grama de sólidos totais e, após 12 horas, 40 e 180 dias depois da incorporação, foram encontrados 0,89, 0,19 e 0,03 ovos por grama de sólidos totais, respectivamente.

Em razão do risco sanitário, a Resolução CONAMA 498 de 2020 regulamenta a qualidade do lodo passível de aplicação no solo conforme a presença de organismos patogênicos:

- **Biossólido Classe A:** aquele que deverá atender ao limite máximo de 10^3 *Escherichia coli* por grama de sólidos totais (g/d de ST) e ser proveniente de um dos processos de redução de patógenos, com a devida demonstração de atendimento dos respectivos parâmetros operacionais.

De acordo com a mesma resolução, os processos para obtenção do biossólido classe A, são:

Alternativa 1: Lodo tratado por um dos quatro regimes A (lodo com teor de ST igual ou maior que 7% e temperatura mantida igual ou acima de 50°C por no mínimo 20 minutos), B (lodo com ST igual ou maior que 7%, na forma de pequenas partículas, aquecido por meio do contato entre gases ou líquidos imiscíveis e temperatura igual ou acima de 50°C por no mínimo 15 segundos), C (lodo com teor de ST menor que 7% e aquecido no mínimo de 15 segundos a 30 minutos) e D (Lodo com teor de ST menor que 7% e temperatura igual ou acima de 50°C por no mínimo 30 minutos).

Alternativa 2: Lodo tratado por processos que proporcionem valores elevados de pH e temperatura;

Alternativa 3: Lodo tratado em processos de regime de Tempo X Temperatura ou de pH e temperatura elevados que não atendem os requisitos descritos nas alternativas 1 e 2;

Alternativa 4: Lodo tratado em processos não especificado

Alternativa 5: Lodo tratado em um dos processos de redução adicional de patógenos;

Alternativa 6: Lodo tratado em um processo equivalente a um processo de redução adicional de patógenos.

- **Biossólido Classe B:** aquele que deverá atender ao limite máximo de 10^6 Escherichia coli por grama de sólidos totais (g^{-1} de ST) ou ser proveniente de um dos processos de redução de patógenos com a devida demonstração de atendimento dos respectivos parâmetros operacionais.

Os processos para obtenção do biossólido classe B são:

Alternativa 1: Lodo tratado em um processo de redução significativa de patógenos, como por exemplo: digestão aeróbia - a ar ou oxigênio, com retenções mínimas de 40 dias, sob temperatura de 20°C ou por 60 dias, sob temperatura de 15°C; secagem em leitos de areia ou em bacias (solarização), pavimentadas ou não, cobertas ou não, até atingir teor de sólidos mínimo de 60%; estabilização com cal, mediante adição de quantidade suficiente para que o pH seja elevado até pelo menos 12, por um período mínimo de duas horas e compostagem por qualquer um dos métodos citados anteriormente, desde que a biomassa atinja uma temperatura mínima de 40°C, durante pelo menos cinco dias, com a ocorrência de um pico de 55°C, ao longo de quatro horas sucessivas durante este período

Alternativa 2: Lodo tratado em um processo equivalente aos de redução significativa de patógenos o qual seja aceito pelos órgãos ambientais.

Além das características sanitárias, a Resolução também apresenta parâmetros de concentrações máximas de metais pesados, dado o risco de biomagnificação e bioconcentração nos organismos (FONTES; FILGUEIRAS et al., 2000; LASHEEN e AMMAR, 2009; AUGUSTO et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2004), havendo toxicidade, mau desenvolvimento e morte de seres vivos (PAPADIMITRIOU et al. 2007). De acordo com

Ferreira et al. (1999), essas restrições podem não ser impeditivas dos lodos provenientes de áreas pouco industrializadas, já que, segundo os autores, a maior parte das contribuições provém do efluente industrial.

A Resolução CONAMA 498/2020 trata das concentrações totais de metais pesados e compostos orgânicos no lodo, além das cargas máximas anuais e totais de aplicação desses contaminantes. Dessa forma, regulamenta sobre as formas disponíveis e não disponíveis, indo a favor da segurança. Por outro lado, não se trata do real risco de contaminação do meio ambiente pela adição do lodo. Sabe-se que a disponibilização desses contaminantes no solo, havendo absorção pelas plantas, lixiviação e/ou contaminação de águas superficiais e subterrâneas dependem de alguns fatores. Essa mobilidade é influenciada pelo tipo de contaminante, textura e estrutura do solo; tipo de argilas presentes; composição química e pH do solo; teor de matéria orgânica; potencial de oxidação-redução; porosidade; tipo de plantas presentes; temperatura, dentre outros (MATOS; MATOS, 2017).

Korentajer et al. (1991), por exemplo, relatam que a taxa de incorporação de metal na biomassa vegetal varia de planta para planta e, para uma mesma planta, varia de metal para metal. Os metais Cd e Zn foram os que apresentaram as maiores taxas de transferência, já o Cr e o Pb, as menores taxas. O mesmo foi observado por Jamali et al. (2009), que reforçaram que os mecanismos de bioacumulação de metais variam, significativamente, de planta para planta.

2.3.3 Aproveitamento energético do lodo

Por se tratar de uma biomassa residual abrangente em todo o mundo, o lodo de esgoto pode ser uma importante fonte para produzir energia. Pasquini (2014) destaca que a produção de energia elétrica e térmica, a partir da biomassa, é muito defendida como alternativa importante para países em desenvolvimento. Além disso, esta pode ser considerada como uma popular fonte de energia renovável, pois possui disponibilidade local de forma atrativa e abundante (CAO, PAWLOWSKI, 2012).

Segundo Rosa et al. (2014), a recuperação energética a partir do tratamento do lodo pode vir a partir da pirólise, gaseificação e combustão, no qual há redução do volume do resíduo e produção de energia. O lodo bruto tem, por exemplo, poder calorífico de 23 MJ por kg, em razão do grande conteúdo de matéria orgânica. Após passar por etapas de digestão anaeróbia, em razão da redução do teor de sólidos voláteis (SV), esse potencial cai para 13 MJ por kg. Por

outro lado, deve-se ressaltar que há geração de 0,8 m³ de biogás (formado por CH₄ e outros gases) por kg de SV destruído, resultando em outra fonte passível de aproveitamento. O poder calorífico do biogás é de 23,3 MJ por m³ (ANDREOLI et al., 2014).

O encaminhamento para aterros sanitários caracteriza-se como desperdício de recursos e aumento da quantidade e volume de resíduos que ocupam espaço e reduzem a vida útil das células dos aterros (OLIVEIRA, 2015). Havendo aumento da produção de lodo com a elevação dos índices de tratamento de esgotos (ideais do novo marco de saneamento), tende a haver uma situação crítica, em termos de área e de distâncias do local de geração até o ponto de descarte, no que diz respeito a essa forma de disposição do resíduo sólido.

Dessa forma, com base no apresentado, há alternativas interessantes para a disposição do lodo que devem ser melhor exploradas. Porém, antes de se propor a adoção de procedimentos de recuperação e aproveitamento de recursos desse resíduo, deve-se conhecer o panorama do gerenciamento de lodo. A região de interesse do estudo foi o sul de Minas Gerais, onde está localizada a Universidade Federal de Lavras (UFLA), uma das instituições mais sustentáveis do mundo, segundo o *Green Metric*.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

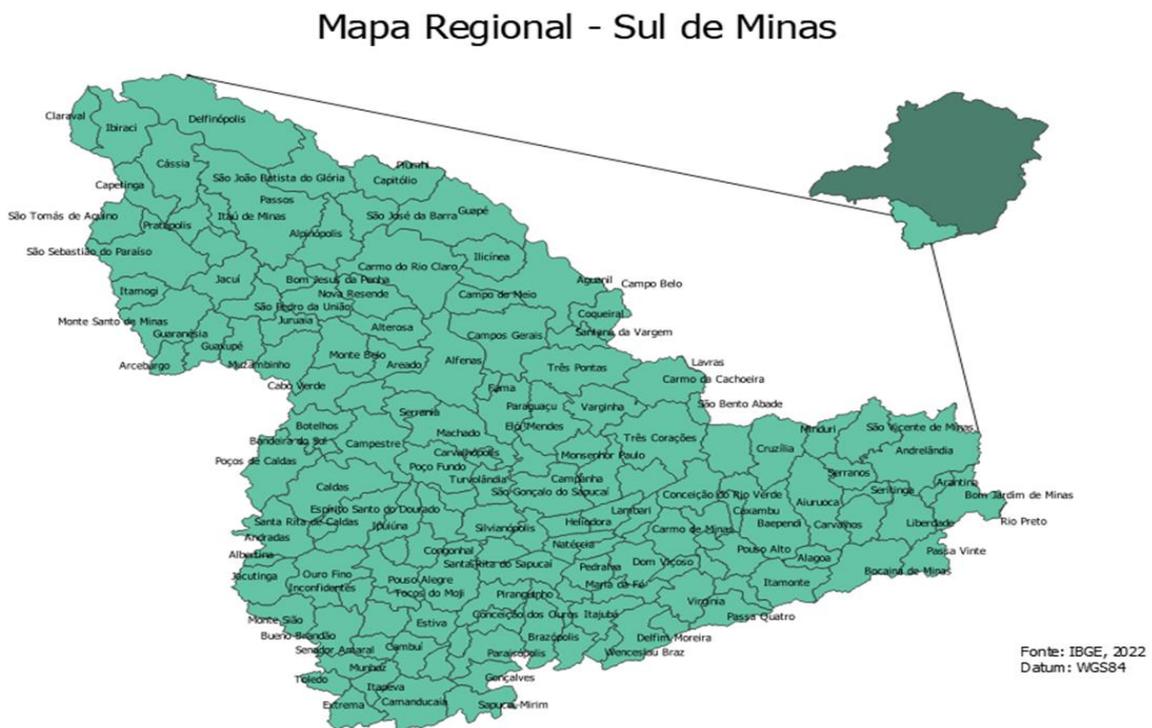
3.1 Área de estudo

A região sul do estado de Minas Gerais possui 153 municípios (Figura 1) e cerca de 2,78 milhões de habitantes, sendo a segunda região mais populosa de Minas Gerais e foi escolhida para o presente trabalho pois é onde se localiza a Universidade Federal de Lavras e onde reside a maioria de seus estudantes. A economia é baseada nos setores de serviços, indústria e agropecuária (IBGE, 2022).

A região, cuja riqueza responde por cerca de 12% do PIB estadual, possui predominância do setor de serviços (70,8%), seguida pela indústria (21,3%) e agropecuária (7,9%). Na representatividade estadual, porém, a importância do setor primário se torna evidente. Quando considerado apenas o setor agropecuário, a riqueza gerada na região responde por 21,8% daquela observada em todo o Estado. Nos recortes para os setores secundários e

terciários esse percentual declina para 10,3% e 12,3%, respectivamente. Grande produtora de café, a região é responsável por 13,1% das exportações de Minas Gerais. Dentre as demais atividades econômicas desenvolvidas na região, destaque para a pecuária leiteira, metalurgia-alumínio, mineração, agroindústria, eletroeletrônicos, helicópteros, autopeças, bebidas, têxteis e turismo (SESCMG).

Figura 1 - Mapa Da Área de Estudo



Fonte: IBGE (2022).

O relevo predominante é do tipo planalto e a vegetação típica do cerrado intercalado à mata atlântica. Ademais, segundo a classificação de Köppen, na região há o clima do tipo Aw, ou seja, tropical de cerrado com estação seca no inverno e CWa, clima temperado com inverno seco e verão quente. A temperatura média anual da região é de 21°C (REBOITA, 2015). Já a precipitação mínima mensal ao longo do período chuvoso varia entre 34 e 253 mm (ÁVILA, 2019).

3.2 Panorama de disposição de lodo de ETE

Para obtenção do tipo de tratamento de esgoto por cidade e a forma de disposição do lodo nas ETEs existentes em cada município, foi feita uma consulta à base de dados pelo site do SEMAD (Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado de Minas Gerais). As informações estão separadas de forma digital por documentos de acesso público, referentes às bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais. Foram selecionadas as cidades do Sul de Minas e levantadas quais possuem tratamento, a tipologia do tratamento e a destinação do lodo.

Para cidades que possuem mais de uma ETE foi escolhida para o presente trabalho a ETE de maior geração de quantidade de lodo, assim como no caso de possuírem mais de um tipo de tratamento, foi escolhido o tratamento de maior geração de lodo.

3.3 Cálculo do volume de lodo gerado

Para que se possa mensurar a quantidade de lodo gerado, utilizou-se as informações da população atendida por tipologia de tratamento para cada município presente no Atlas de Esgotos, com dados de 2013 (BRASIL, 2017).

Para calcular o volume de lodo gerado nas ETEs, utilizou-se como referência os valores centrais do intervalo de carga anual *per capita* de lodo gerado, apresentados por von Sperling (2005) (Tabela 3) para cada tipologia de tratamento.

Tabela 3- Geração de lodo por tipo tratamento

| Tipo de tratamento | Carga de lodo (m³/hab.ano) |
|---|--|
| Tratamento primário | 6,8 |
| Lodo ativado convencional | 1,3 |
| Filtro biológico (alta carga) | 1,3 |
| Fossa séptica - filtro anaeróbio | 0,085 |

| | |
|--|-------|
| Reator anaeróbio de manta de lodo | 0,085 |
| Lagoa aerada mistura completa + lagoa de decantação | 0,073 |
| Lagoa facultativa | 0,036 |

Fonte: von Sperling (2005).

Após estimar os valores, utilizou a porcentagem de atendimento da população em cada município e a tipologia de tratamento para calcular a quantidade de lodo gerada, onde cada habitante gera a quantidade descrita na Tabela 3.

3.4 Avaliação de possíveis rotas de aproveitamento

Para essa análise, fez-se o somatório do volume de lodo aterrado (disposto em ETE ou encaminhado para aterros sanitários), realizando também a conversão para a massa seca, considerando a massa específica do lodo de 1050 kg/m^3 e a porcentagem de 6% de sólidos secos no lodo (ANDREOLI et al., 2014). Considerando a concentração de N, P e K encontrados tipicamente no lodo de esgoto bruto, que é de 3,35, 2,3 e 0,27 dag/kg, respectivamente (MATOS, 2014), fez-se o cálculo da quantidade desperdiçada de nutrientes anualmente.

Como o café é uma cultura de grande interesse no sul de Minas Gerais, fez-se o cálculo da área de produção que poderia ser atendida com essa massa de nitrogênio, fósforo e potássio para uma produção de grãos por ano. O requerimento do café é de 25,0; 1,7 e 16 kg/ha, nessa ordem, para N, P e K, para produção de 1 tonelada por hectare de grãos secos (MATOS; MATOS, 2017).

A geração de energia foi estimada com base na quantidade de calor liberada na combustão, que segundo Borges et. al (2008) são liberados até 20 MJ por quilograma de matéria orgânica do lodo. Em relação à massa de cimento Portland que poderia ser produzido, fez-se a análise com base na redução de massa após incineração do resíduo (4% da massa total) e a consideração de que pode-se utilizar em torno de 10% da matéria-prima advindo das cinzas de lodo (ANDREOLI et al., 2014; FONTES et al., 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados levantados pela SEMAD (2019) no sul do estado de Minas Gerais, verificou-se que o tratamento de esgotos é deficiente na região, conforme pode-se observar na Figura 2. Dos cento e cinquenta e três municípios que contemplam essa região, apenas cinquenta e um (Tabela 4) possuem alguma tecnologia de tratamento, representando 33,3%. Dentre essas, foram encontrados os níveis de tratamento primário e secundário, mostrando também a carência de tratamento terciário, importante para redução do lançamento de nutrientes, patógenos e compostos orgânicos emergentes (LEMOS et al., 2021).

No tratamento secundário, o maior número de registros encontrados foi de uso de reatores UASB, filtros biológicos percoladores (FBP) de alta carga e filtros anaeróbios.

Tabela 4- Tecnologia utilizada por Município

| | | | | | | | |
|-------------------|--------------------------|-----------------------|-------------|---------------|--|---------------|---|
| Afenas | UASB + FBP de alta carga | Alterosa | Reator UASB | Bom Repouso | UASB + filtro anaeróbio | Serrania | UASB + lagoas de polimento |
| Boa Esperança | UASB + FBP de alta carga | Itajubá | Reator UASB | Bueno Brandão | UASB + filtro anaeróbio | Capetinga | Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa |
| Borda da Mata | UASB + FBP de alta carga | Lambari | Reator UASB | Gonçalves | UASB + filtro anaeróbio | Capetinga | UASB + Lagoa facultativa |
| Cabo Verde | UASB + FBP de alta carga | Poços de Caldas | Reator UASB | Pouso Alegre | UASB + filtro anaeróbio | Pedraiva | UASB + Lagoa facultativa |
| Coqueiral | UASB + FBP de alta carga | Pouso Alegre | Reator UASB | | | | |
| Lambari | UASB + FBP de alta carga | Santa Rita do Sapucaí | Reator UASB | Cambuí | UASB + lagoa aerada mistura completa + lagoa de decantação | Borda da Mata | Tanque séptico + infiltração |
| Monte Sião | UASB + FBP de alta carga | Varginha | Reator UASB | Varginha | UASB + lagoa aerada mistura completa + lagoa de decantação | Caxambu | UASB + Lagoa facultativa + Lagoa de polimento |
| Paraguaçu | UASB + FBP de alta carga | | | | | Minduri | Lagoa facultativa |
| Santana da Vargem | UASB + FBP de alta carga | | | | | Lavras | Tanque séptico + filtro anaeróbio |
| São José da Barra | UASB + FBP de alta carga | | | | | Lavras | UASB + FA + lagoa de polimento |
| | | | | | | Passos | UASB + escoamento superficial |

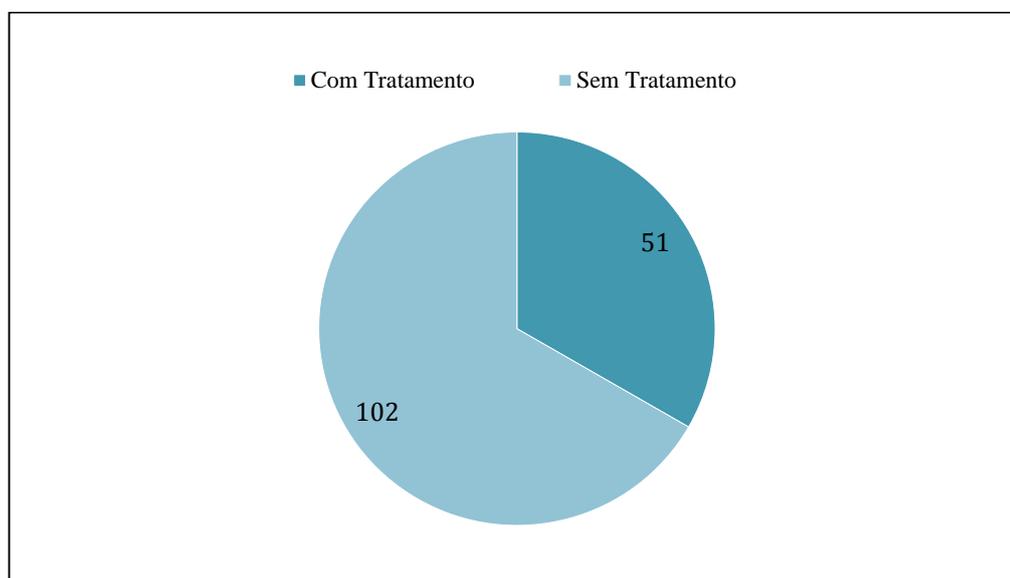
A escolha por esses reatores pode se dar por alguns motivos como, por exemplo, o reator UASB se destaca pela pequena área requerida para construção, baixo custo de energia e eficiência satisfatória na remoção de DBO e DQO. Por outro lado, se for a única etapa de tratamento biológico, frequentemente não alcança eficiência suficiente para lançamento no curso d'água (CHERNICHARO et al., 2015). O mesmo ocorre com os filtros anaeróbios que aparecem em muitas composições de tratamento descentralizado com disposição no solo, caso de ETEs localizadas em Itutinga (RESENDE, 2021). Esses reatores anaeróbios se destacam pelo baixo uso de energia e mecanização reduzida, além de gerarem menos lodo residual, não necessitando de injeção de ar e possuindo eficiência satisfatória (SOUZA, 2017). Em contrapartida, os FBPs se destacam por serem reatores mais simples e de mais fácil operação, substituindo muitas vezes o sistema de lodos ativados, conforme discutido por Zylka et al. (2018) e, comumente, alcançam eficiências compatíveis com os padrões de lançamento (VON SPERLING, 2005).

Tabela 5 - Levantamento dos municípios que possuem tratamento de esgoto

| Municípios com tratamento de esgoto | | |
|--|----------------------|----------------------------|
| Alfenas | Caxambu | Pedralva |
| Alpinópolis | Coqueiral | Poços de Caldas |
| Alterosa | Delfinópolis | Pouso Alegre |
| Andradas | Elói Mendes | Santana da Vargem |
| Arceburgo | Extrema | Santa Rita do Sapucaí |
| Boa Esperança | Fortaleza de Minas | São João Batista do Glória |
| Bom Repouso | Gonçalves | São José da Barra |
| Borda da Mata | Guaxupé | São Lourenço |
| Bueno Brandão | Itajubá | São Sebastião do Paraíso |
| Cabo Verde | Itanhandu | Sapucaí-Mirim |
| Camanducaia | Lambari | Serrania |
| Cambuí | Lavras | Três Corações |
| Campo Belo | Machado | Três Pontas |
| Campo do Meio | Minduri | Varginha |
| Capetinga | Monte Santo de Minas | Virgínia |
| Carmo da Cachoeira | Monte Sião | |
| Carmo do Rio Claro | Paraguaçu | |
| Carvalhópolis | Passos | |

Fonte: do autor (2022).

Figura 2 - Proporção Dos Municípios Com tratamento de esgoto

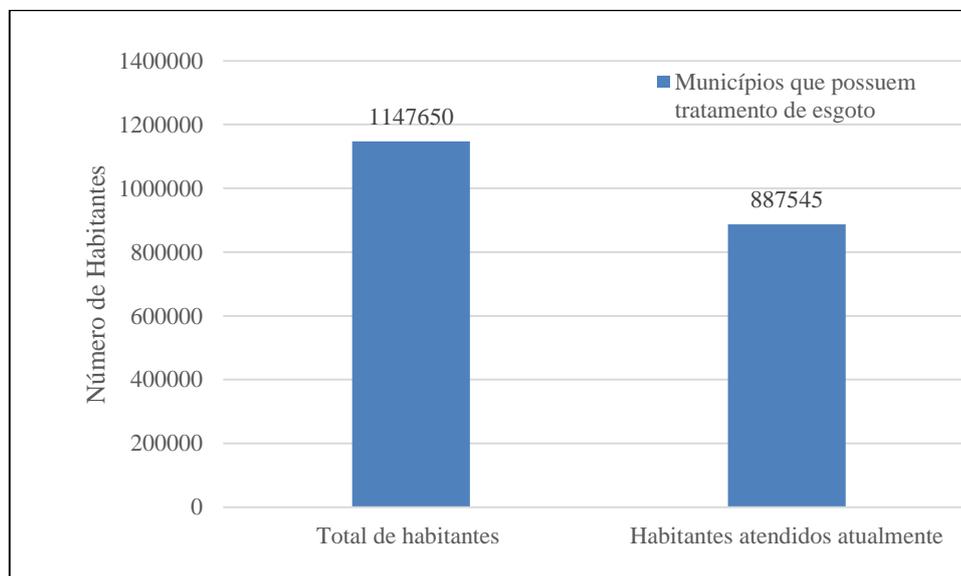


Fonte: do autor (2022).

Após pesquisa e levantamento de dados através da SEMAD e do Atlas do Esgoto, foi possível obter a população total de cada município da área de estudo e mensurar a quantidade total de pessoas que são atendidas pelo tratamento de efluentes. Entretanto, os sites possuem uma divergência de valores devido à falta de atualização dos sistemas. Assim, as quantidades de pessoas nos municípios que possuem tratamento e aquelas que são realmente atendidas estão apresentadas na Figura 3. Contudo os dados da porcentagem de população atendida são de 2013, enquanto os dados dos tipos de tratamento são de 2019, o que gera uma diferença temporal. Essa diferença causa um impacto significativo no levantamento, pois, pelos dados contidos na SEMAD é constatado que há tratamento de esgoto em 51 municípios, já pelo Atlas são apenas 30 municípios.

A fim de atualizar os dados e reduzir a diferença temporal realizou-se uma pesquisa diretamente nas prefeituras, contudo não houve informações satisfatórias, pois os servidores não sabiam informar se há tratamento e nem qual a população era atendida por esse serviço de saneamento.

Figura 3 - População com tratamento de esgoto



Fonte: do autor (2022).

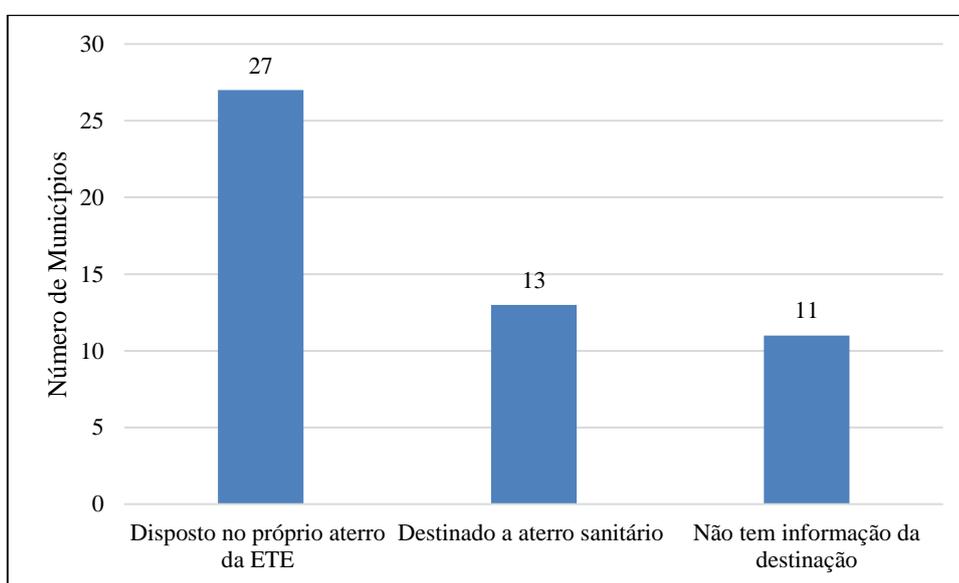
Ao considerar a população total de 2,78 milhões de habitantes no Sul de Minas, a partir da análise da Figura 3, é possível observar que a população atendida pelo tratamento de efluente no sul de Minas Gerais é muito baixa (1.147.650) habitantes moram em municípios que possuem algum tipo de tratamento, não chegando nem a metade da população total, e dessa quantidade de 1.147.650 apenas 887.545 possuem 100% de coleta e 100% de tratamento. Von Atzinger et al. (2013) realizaram uma análise sobre saneamento no Brasil comparando a população atendida com coleta e tratamento de esgoto nas regiões geográficas brasileiras e observaram que a região sudeste, onde se localiza o estado de Minas Gerais, obteve 78% de atendimento com serviços de esgotamento sanitário, a maior porcentagem do país. Essa constatação do trabalho dos autores mostra a precariedade do tratamento de água residuárias no país. Entretanto, nesse mesmo estudo as unidades federativas Distrito Federal e São Paulo se destacaram, de forma isolada, com 90% e 40%, respectivamente.

Costa et. al. (2013) realizaram um estudo de acordo com as informações fornecidas pelos municípios ao SNIS durante os anos de 2005 a 2010, o que reforçou o baixo nível de atendimento das cidades mineiras. No ano de 2010, por exemplo, apenas 32,2% contavam com

serviços de coleta e tratamento de esgoto. Dados de 2013, porém indicam 44,0% de coleta e tratamento (ATLAS DO ESGOTO, 2017), condição um pouco melhor do que a retratada no estudo de Costa et al. (2013), tendo crescimento de 2,4% ao ano no período de 2006 a 2015 (HAMDAN et al., 2017).

Outro ponto importante a ser discutido a respeito de saneamento e tratamento de esgotos é quanto a destinação final do lodo gerado no processo de tratamento de efluentes. De acordo com a análise dos dados obtidos a partir do portal do SEMAD, verificou-se que esse lodo é principalmente destinado para disposição no próprio aterro da ETE, para aterros sanitários e em alguns casos, não há informação da destinação, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Destinação de lodo nos municípios que possuem tratamento de esgoto



Fonte: do autor (2022).

Com base na observação da Figura 4, constata-se que é possível identificar que o lodo não é um resíduo bem aproveitado no sul de Minas Gerais, visto que a maior parte dos municípios o destina para o próprio aterro ou para aterro sanitário. Consequentemente, há desperdício de recursos e ocupa-se volume em células de aterro (VON SPERLING, 2005). Também observa-se o quanto o gerenciamento desse resíduo é negligenciado, já que o restante do lodo não possui informações quanto a sua destinação.

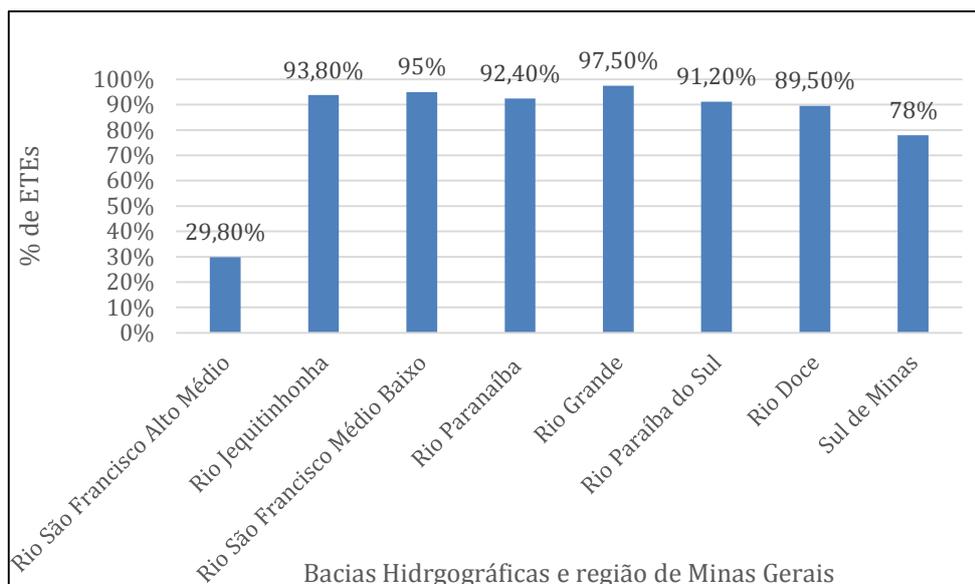
Além das alternativas de aproveitamento do lodo discutidos no referencial teórico, há a queima, que pode viabilizar a formação de cinzas, utilizáveis na fabricação de cimento, e proporcionar a geração de energia. Felca (2016), por exemplo, analisou o potencial energético

do lodo nas ETEs do sul de Minas Gerais e constataram que o município que apresentou melhor aptidão energética mensal foi Pouso Alegre, devido à alta geração de lodo no município, com potencial energético de 329,40 kW e com menor potencial ficou o município de Varginha com 71,39 kW. No entanto, essa opção ainda enfrenta alguns desafios, sobretudo em relação aos custos de implantação da técnica. Segundo Felca (2016), ao realizar os cálculos financeiros foi detectada inviabilidade econômica para a construção da usina nas estações analisadas. Esse fato explica o porquê muitos municípios acabam destinando seu lodo para o aterro ao invés de aproveitá-lo.

Por outro lado, o encaminhamento para aterro sanitário também tem os seus custos, que se referem ao transporte e à disposição final. Dos Santos e Rossoni (2019), por exemplo, verificaram que o aproveitamento agrícola permitiu ter economia de aproximadamente R\$5.808,00 por ano em comparação com o encaminhamento para aterro industrial “Classe I”. Outras vantagens de se aplicar o lodo no solo foram observadas por Moreira et al. (2013). Aplicando o bio sólido no solo, em um latossolo distrófico, os autores verificaram que houve aumento dos teores de matéria orgânica, da capacidade de troca catiônica (CTC) e da soma de bases e nutrientes. Além disso, houve também o aumento da porosidade e redução da densidade do solo, indicando alto potencial para recuperação de solos degradados e fertilização de solos agrícolas.

A partir do resultado de que a maior parte dos municípios do Sul de Minas destina seu lodo de ETE para aterro sanitário ou aterro próprio, foi realizado também, neste trabalho, o levantamento de dados referente a quantidade de ETEs que possuem essa destinação separadas por bacias hidrográficas, conforme a Figura 5.

Figura 5: Porcentagem de ETEs que destinam seu lodo para aterro próprio ou sanitário por bacias hidrográficas.



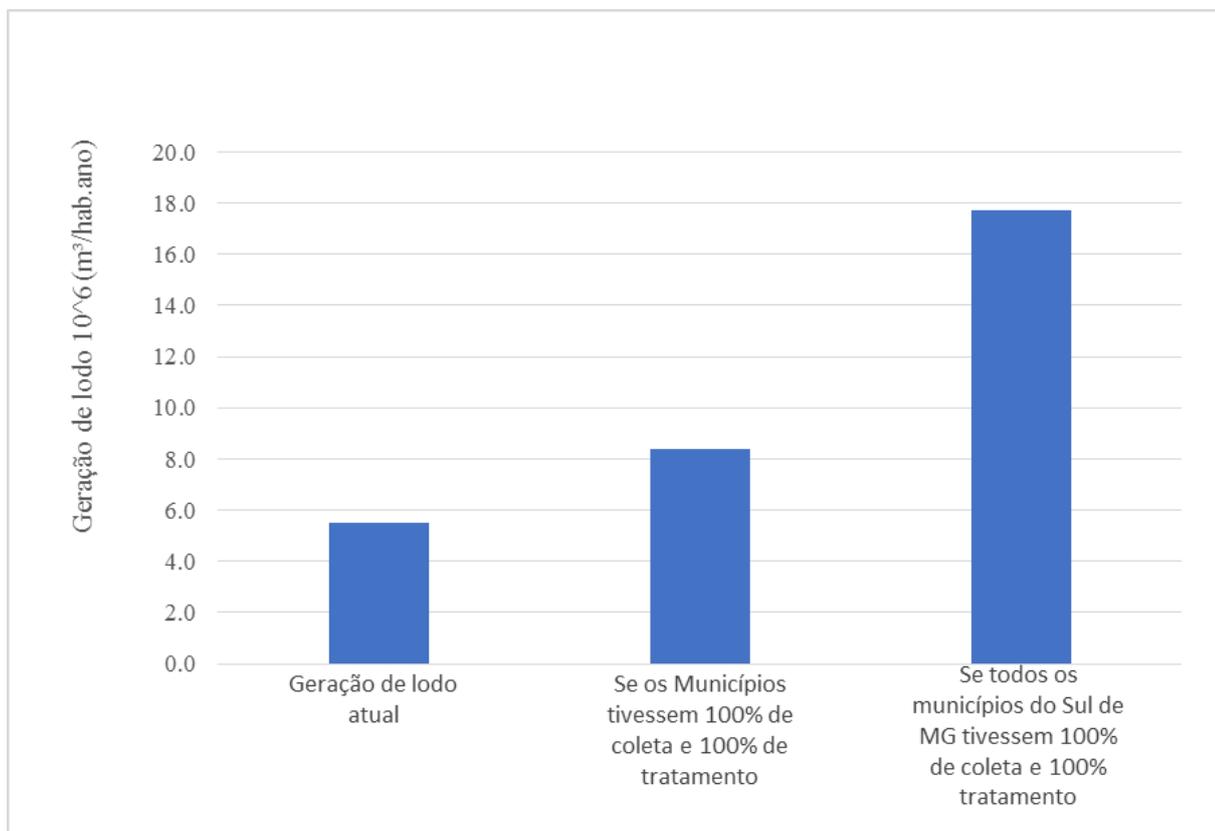
Fonte: Do Autor (2022)

A partir da análise da Figura 5, é possível observar que a maior parte das regiões (divididas em bacias hidrográficas - BH) destina seu lodo para aterro, seja na própria ETE ou em aterros sanitários. Comparando as porcentagens, verifica-se que a bacia do Rio Grande lidera essa disposição, com 97,5% do seu lodo destinado para aterro próprio ou sanitário, seguida pela Bacia do São Francisco Médio Baixo com 95%, Rio Jequitinhonha com 93,80%, Rio Paranaíba com 92,4%, Rio Paraíba do Sul com 91,20% Rio Doce com 89,5% e Rio São Francisco Alto Médio com 79,8%. É importante constatar também que apenas a bacia hidrográfica do Rio São Francisco Alto Médio apresentou porcentagem abaixo da porcentagem média dessa disposição do Sul de Minas. No entanto, as baixas porcentagens dessa BH não implicam em melhor aproveitamento do lodo, já que não há informações sobre a destinação do restante do lodo. Conseqüentemente, pode estar havendo disposição inadequada do resíduo sólido, causando diversos impactos ambientais negativos.

Como discutido anteriormente, a motivação para disposição de lodo em aterro próprio ou sanitário pode se dar por elevados custos de outras disposições, as quais passam a não compensar financeiramente e também a falta de informação de alguns municípios, os quais podem ter outras formas de disposição final de seu lodo que não foi informada. Mas, é importante lembrar que o aproveitamento do lodo de ETE deve ser considerado em vários âmbitos e não só financeiramente, pois a utilização do lodo dá uma destinação “limpa” a esse resíduo e contribui para a sustentabilidade ambiental, pois este pode reduzir a retirada de matéria prima da natureza e é benéfico para as plantas e para o solo.

A geração de lodo no Sul do estado de Minas Gerais (Figura 6) ainda pode ser comparada em relação aos municípios que possuem tratamento, aqueles que possuem tratamento e são totalmente cobertos pela coleta, e todos os municípios do sul de Minas com caso houvesse 100% de coleta e 100% de tratamento.. Vale ressaltar que essa quantidade de lodo se refere ao lodo bruto, ou seja, aquele que não passa por nenhuma etapa de tratamento.

Figura 6: Geração de lodo no sul de Minas per capita e pela presença de coleta e tratamento



Fonte: do autor (2022).

A quantidade de lodo gerada no sul de Minas Gerais é bem expressiva, 5,5 milhões de m³ por habitante por ano. E essa quantidade poderia ser ainda maior caso os municípios que possuem 100% coleta tivessem também 100% de tratamento. Haveria cerca de 8 milhões de metros cúbicos de lodo anuais, isso considerando a mesma contribuição *per capita*. Caso fosse contabilizado toda a população do Sul de Minas com 100% de tratamento e 100% de coleta

teriam cerca de 18 milhões de m³ por ano. Dessa forma, verifica-se a necessidade de apresentação de alternativas de aproveitamento/disposição do solo.

Sendo a agricultura uma das principais atividades econômicas realizadas no Sul de Minas Gerais, essa pode ser uma opção de grande interesse, pois pode-se aumentar a produtividade das culturas, reduzir os gastos com adubos, de transporte e disposição em aterros e os impactos ambientais negativos da inadequada disposição desse resíduo (MATOS, 2014). Essa alternativa estaria em consonância com a Lei Federal no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) e com os conceitos de economia circular.

Na Tabela 5, estão apresentados a quantidade nutrientes presentes no lodo e a área da cultura de café que poderia ser adubada considerando a demanda por hectares.

Tabela 6 - Uso do lodo na cultura do café

| Potencial agrícola | | |
|---------------------------|------------------------------------|-------------------|
| Nutrientes | Quantidade obtida do lodo (kg/ano) | Área adubada (ha) |
| Nitrogênio Total | 11.652.537,1 | 466.101,5 |
| Fósforo Total | 8.000.249,4 | 4.706.029,0 |
| Potássio | 939.159,7 | 58.697,5 |

Fonte: do autor (2022).

Com a quantidade de lodo destinada a aterros e dispostos na própria ETE atualmente, considerando a demanda de nitrogênio total da cultura de café seria possível adubar uma área de 466.101,5 hectares.

Ressalta-se que a fim de utilizá-lo na agricultura é importante estar ciente e ter conhecimento da resolução CONAMA nº 498, de 19 de agosto de 2020, a qual define critérios e procedimentos para a produção e aplicação de biossólido em solos, ampliando as oportunidades de uso do lodo de esgoto em solos para uso agrícola ou recuperação de áreas degradadas (CONAMA, 2020).

Outra possível utilização é o aproveitamento energético do lodo, estando o poder calorífico do lodo destinado e o seu potencial de aproveitamento apresentado na Tabela 6.

Tabela 7 – Geração de energia por meio do lodo

| Aproveitamento energético | |
|---|---------------|
| Geração do lodo anual(kWh) | 4.251.221,208 |
| Média de consumo por pessoa no Brasil por mês (kWh) | 265 |
| População atendida por mês (habitantes) | 1.337 |

Fonte: do autor (2022).

O lodo gerado e destinado poderia suprir o consumo de energia de 1.337 habitantes em um ano, equivalente a população de um pequeno município, como exemplo o município de Gonçalves, que tem uma população de 1.025 habitantes. Levando a diminuição em gastos econômicos e redução na dependência em outras fontes de energia, como as hidrelétricas.

Por fim, considerando as condições de produção de cimento Portland, seria possível produzir quase 14.000 toneladas (com 10% de cinzas de lodo) com a produção anual de lodo de esgoto do sul de Minas Gerais. Consequentemente, seria outra alternativa de redução do encaminhamento para aterros sanitários e dos custos de produção de cimento, seria adequado do ponto de vista ambiental e econômico.

6 CONCLUSÕES

Por meio da leitura de trabalhos voltados à definição, características, tratamento e reutilização do lodo de ETE e desenvolvimento do presente trabalho foi possível concluir que:

- A maior parte dos municípios que constituem o sul de Minas Gerais não possuem tratamento de efluentes;
- A população atendida nos municípios que possuem tratamento de águas residuárias não chega à metade da população total;
- Após o tratamento do efluente e geração de lodo, este é destinado na maior parte dos municípios para aterros e, quando não há essa opção são destinados para aterro sanitário, desperdiçando o potencial de reutilização do lodo;
- Aproximadamente 20% dos municípios estudados (11 municípios) não apresentam destinação final do lodo, deixando-a como incógnita;

- Comparando-se as bacias hidrográficas da região, a bacia do Rio Grande é aquela que mais dispõe o lodo em aterro na própria ETE ou aterro sanitário, enquanto a bacia do Rio São Francisco Alto Médio se destaca como a que menos dispõe dessa forma;
- Há poucas informações sobre a geração e destinação final do lodo de ETE no Brasil e em Minas Gerais, o que abre caminho para novos estudos acerca desse tema.
- A utilização do lodo tanto na agricultura quanto no aproveitamento energético se mostra interessante, pois além do aproveitamento de um material sem uso, há redução no uso de recursos naturais;
- Estima-se que sejam perdidos 11.652, 8.000 e 939 toneladas de nitrogênio, fósforo e potássio anualmente podendo adubar até 58.697 hectares de lavouras de café;
- Com essa massa de lodo seco, cerca de 34.783 toneladas, poderiam ainda haver abastecimento energético de 1.337 habitantes por ano;
- E as cinzas da incineração do lodo poderiam resultar na geração de quase 14.000 toneladas de cimento Portland.

REFERÊNCIAS

ASIK, B.B. et.al.. Effect of the application of various wastewater sludges on the properties of sandy soil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 2. 2017.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9648: **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Portal da Qualidade das Águas**. 2020. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 13 nov. 2021.

ANDREOLI, C. V. et. al. “Secagem e higienização de lodos com aproveitamento do biogás”, cap. 05. In: *Digestão de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento do Biogás*. **PROSAB 3**. Vitória, p.130 -133. 2003.

ANDREOLI, C. V. et. al. Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal. In: *biossólidos - alternativas de uso de resíduos do saneamento*. Rio de Janeiro: **Editora ABES**. 2006.

ANDREOLI, C. V; VON SPERLING, M; FERNANDES, F. Lodo de esgoto: tratamento e disposição final. 2. ed. Belo Horizonte: **Editora UFMG**, 444 p, 2014.

ALMEIDA, V. F. R. et al. Caracterização química como alternativa de destinação ao uso agrícola do lodo da estação de tratamento de esgoto do Município de Anápolis, Estado de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 4, n. 7, p. 87-98, 2017.

AUGUSTO, A. S. et al. Bioacumulação de metais pesados em Brassica juncea: relação de toxicidade com elementos essenciais. **Revista Virtual de Química**, v. 6, n. 5, p. 1221-1236, 2014.

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**. 2015. xxvii, 197 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos).Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

BRASIL, Resolução CONAMA nº498, de 19 de agosto de 2020. **Critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos**. 21. ago,2020.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**.Diário Oficial da União. 02 nov. 1981.

BREHM, F. A. et al. Análise de estabilização por solidificação de fosfato em matrizes de cimento Portland e cerâmica vermelha para utilização na construção civil. **Ambiente Construído** , v. 13, n. 2, pág. 15-27, 2013.

BETTIOL, W; de CAMARGO, O. A. Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2006.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Substratos alternativos na produção de mudas de Chamaecrista desvauxii. **Revista Árvore**, v. 37, p. 31-39, 2013.

CAMPOS, J. “Alternativas para o tratamento de esgotos”, In: Castellano, E.G., Chaudhry, F.H. (eds.) **Desenvolvimento Sustentado: Problemas e Estratégias**, São Carlos, SP, EESC-USP, p.87-106, 2000.

CAMPOS, Fabiana da Silva de; ALVES, Marlene Cristina. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1389-1397, 2008.

CANZIANI, J.R.F. et al. Análise Econômica para a reciclagem agrícola do lodo de esgoto da ETE-Belém. **Sanare Revista Técnica da Sanepar**. Curitiba/PR, v. 11, n. 11, 1999.

CASSINI, S.T.; et.al. Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. Rio de Janeiro: Prosab, **RIMA ABES**, p.1-9,2003.

CASTRO, A. L. F. et.al. Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. **Multi-Science Journal**, Urutaí, v. 1, n. 2, p. 66-73, 2015.

CORRÊA, R. L. Redes geográficas: reflexões sobre um tema persistente. **Revista Cidades**, v. 9, n. 16, 2012.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (COPASA). Disponível em:<www.copasa.com.br>, acesso em 14 fev, 2022.

COSTA, S. A. B. et al. Indicadores em saneamento: avaliação da prestação dos serviços de água e de esgoto em minas gerais. **Revista da Universidade Federal de Minas Gerais**, v. 20, n. 2, p. 334-357, 2013.

CHERNICHARO, C. A. L. et. al. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. **Reviews in Environmental Science and Bio Technology**. v. 14, n. 4. p. 649-679, 2015.

Devant M, Cusidó JA, Soriano C. Custom formulation of red ceramics with clay, sewage sludge and forest waste. **Applied Clay Science**. 2011;53(4):669-675.

DEZOTTI, M. Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos. Escola Piloto de Engenharia Química. v.5, **Editora E-papers**, 2008.

DOS SANTOS, S. M.; ROSSONI, H. A. V . **Logística de Reúso e destinação final de lodo de estação de tratamento de águas residuárias do processo de produção de fogos de artifício**. V Seminário dos Estudantes de Pós Graduação. Instituto Federal de Minas Gerais. Bambui, 2019.

FELCA, A. T. A. **Análise do Potencial Energético proveniente do lodo de esgoto produzido pelas Estações de Tratamento do Sul de Minas Gerais**. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia de Energia). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá,16. ago, 2016.

FERREIRA, Andréia C.; ANDREOLI, Cleverson V.; LARA, A. I. Riscos associados ao uso do lodo de esgoto. **Programa de Pesquisa em Saneamento Básico-Prosab: Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Rio de Janeiro, p. 29-33, 1999.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa ,402 p., 2000.

Fontes, C. M. A., Toledo, R. D. and Barbosa, M. C. Sewage sludge ash (SSA) in high performance concrete: characterization and application. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais** [online]. 2016, v. 9, n. 6

GONÇALVES J. A. C. *et al.* Avaliação da fitodisponibilidade de cádmio, chumbo e crômio, em soja cultivada em Latossolo Vermelho escuro tratado com fertilizantes comerciais. **Química Nova**, v. 23, p. 173-177, 2000.

HAMDAN, O. H. C. *et al.* Conjuntura do serviço de esgotamento sanitário em Minas Gerais: Avanços e Desafios. **Congresso Abes**, Fenasan, 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Amazônia Legal. **IBGE**, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 03 nov. 2021.

IGAM. **Comitê de Bacia Hidrográfica de Furnas**. 2021 Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais-mg/gd3-cbh-entorno-do-reservatorio-de-furnas>> Acesso em: 10 nov. 2021.

JORDÃO, E.P; PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011, 1050p.

KORENTAJER, L. *et. al.* **A simple effects analysis of the effects of phosphogypsum application on phosphorus transport to runoff water and eroded soil sediments**. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, 1991.

LASHEEN, M.R.; AMMAR, N.S. “Assessment of metals speciation in sewage sludge and stabilized sludge from different wastewater treatment plants”. In: **Journal of Hazardous Materials**, 164, p. 740–749, 2009.

LEMAINSKI, C.L. **Agricultura de precisão em áreas irrigadas com pivô central no Rio Grande do Sul**. Dissertação de mestrado. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 117p, 16. fev ,2007.

LEMOS, C. P. *et al.* **Impactos ambientais de diferentes níveis de tratamento de efluentes para recarga de aquífero**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 13. mai, 2021.

LIN, D. F.; WENG, C. H. **Use of sewage sludge ash as brick material**.

LOBO, T. F. *et al.* Efeito do lodo de esgoto e do nitrogênio nos fatores produtivos do girassol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 5, p. 504-509, 2013.

LOPES, B. C. *et al.* Dinâmica da comunidade bacteriana em solo tropical após correção de lodo de esgoto. **Ciência e Tecnologia da Água** , v. 82, n. 12, pág. 2937-2947, 2020.

MALTA, T. S. Aplicação de Lodos de Estações de Tratamento de Esgotos na Agricultura: estudo do caso do município de Rio das Ostras-RJ. **Fundação Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, Brazil, 2001.

MACKENZIE, L. D. Water and wastewater engineering: Design principles and practice. **McGrawHill Companies**. 2010.

MATOS, A. T de. Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos. 1º ed. Viçosa, **Editora UFV**, 2014.

MATOS, A. T de; MATOS, M. P de. Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos. **Editora UFV**, 2017.

MAZIVIERO, G. T. **Avaliação do potencial citotóxico, genotóxico e mutagênico de esgoto por meio dos sistemas-teste *Allium cepa* e *Tradescantia pallida***. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 106 p.,2011.

METCALF; Eddy. **Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery**, McGraw-Hill, New York, NY, USA,5th ed, 2014.

MOREIRA, J.; TARGINO, M.. **Alternativas de Aproveitamento do Lodo Gerado na Estação de Tratamento de Esgoto Pajuçara, Maracanaú-CE**. Agência Nacional das Águas, Especialização em elaboração e gerenciamento de projetos para a gestão municipal de recursos hídricos, 2018.

MOREIRA, R. S. et al. Atributos físicos e químicos de latossolo distrófico após aplicação de lodo de esgoto.**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 21-27, 2013.

NUVOLARI, A. et al. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2011. 565p.

OLIVEIRA, D.N.S. **Efeito do lodo de esgoto e de plantas de cobertura na recuperação de uma área degradada em Brasília-DF**. Brasília, 2015, 61. Dissertação (Mestrado do programa de pós-graduação em agronomia). Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade de Brasília.

PEDROZA, M. M. et al. Produção e tratamento de lodo de esgoto–uma revisão. 2010. **Revista Liberato**, v. 11, p. 147-157, 2010.

PEREIRA, K. L. A. **Stabilization of a soil with cement and ash sludge for use in pavement.. Dissertação** (Mestrado em Mecânica das Estruturas, esculturas de concreto e alvenaria e materiais e processos construtivos). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 125 f, 2012.

POTIER, O; PONS, M. Elementos de modelação e controlo de sistemas de tratamento de águas residuais urbanas. **Monitoramento e Tratamento da Qualidade de Águas Residuais** , p. 161, 2006.

QUINTANA, et.al. Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica. **Nucleus**, p. 183-191, 2011.

RESENDE, K. A. **Diagnóstico e avaliação técnico-financeira de alternativas para o tratamento de esgoto da cidade de Itutinga-MG**. Trabalho de Conclusão de Curso.

Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 85 p., 2021.

RIGO, M. M. et al. Destinação e reuso na agricultura do lodo de esgoto derivado do tratamento de águas residuárias domésticas no Brasil. **Gaia Scientia**, v. 8, n. 1, p. 174-186, 2014.

ROSA, A. P. et al. Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB: estudo de caso Estação de tratamento de efluentes Laboreaux (Itabira). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 315-328, 2016.

SAITO, M. L. O uso do lodo de esgoto na agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos. **Embrapa Meio Ambiente-Documents**, 2007.

SILVA, F. C. et al. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 831-840, 2001.

SILVEIRA, N. C. G. et al. Ecological geopolymer produced with a ternary system of red mud, glass waste, and Portland cement. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 6, p. 100379, 2021.

SERRAT, B.M.; SANTIAGO, T.R.; BITTENCOURT, S.; MOTTA, A.C.V.; SILVA, L.A.T.P. & ANDREOLI, C.V. (2011) Taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado pelo processo de estabilização alcalina: estudo comparativo de curvas de pH de solos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 19, p. 30-37.

SOUZA, F.P. **Contribuição para o estudo da resistência dos helmintos gastrintestinais de ovinos (*Ovis aries*) aos anti-helmínticos no Estado do Paraná**. Curitiba, 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Veterinárias). Curso de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Universidade Federal do Paraná, 1997.

SOUZA, W. D. **Tratamento de efluentes: uma investigação de filtros anaeróbios através da proposta do professor Cynamon**. 2017. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2017.

SOUZA, M. M. et al. Uso do lodo de esgoto na produção de agregados leves: uma revisão sistemática de literatura. **Matéria (Rio de Janeiro)**, Rio de Janeiro, v. 25, 2020.

TAMANINI, et.al. Estudo da utilização de altas doses de bio sólido na recuperação de área decapada em São José dos Pinhais. In: **23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 16 p. 2004.

THOMAZ-SOCCOL, V. et. al.. Occurrence of resistance to antihelmintics in sheep in Paraná State, Brazil. **Veterinary Record**, London, v.139, p.421-422, 1996

TOLEDO, A. P. *et al.* A aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 1983. P. 1-34.

VAN RAIJ, B. et al. Recomendações para a adubação e calagem no Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo. **Boletim técnico n° 100**. p. 45-49, 1996.

VALLE, C. E. **Qualidade Ambiental: ISO 14000**. 5° ed. São Paulo: SENAC, 2004.

VON ATZINGEN DANTAS, Felipe et al. Uma análise da situação do saneamento no Brasil. **FACEF Pesquisa-Desenvolvimento e Gestão**, v. 15, n. 3, 2013.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3° ed. Belo Horizonte: Departamento de engenharia sanitária e ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, v. 1, 2005.

ZILKA, R. et. al. Trickling Filter for High Efficiency Treatment Of Dairy Sewage. **Journal of Ecological engineering**, v. 19, n. 4, 2018.

