

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,**  
**MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE ÁREAS  
POTENCIAIS DE USO AGRÍCOLA DO LODO DE  
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO  
SANITÁRIO NAS BACIAS DOS RIOS VELHAS,  
JEQUITAÍ E PACUÍ**

**Lucas de Almeida Chamhum Silva**

**Belo Horizonte**

**2018**

**IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE ÁREAS  
POTENCIAIS DE USO AGRÍCOLA DO LODO DE  
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO  
SANITÁRIO NAS BACIAS DOS RIOS VELHAS,  
JEQUITAÍ E PACUÍ**

**Lucas de Almeida Chamhum Silva**

**Lucas de Almeida Chamhum Silva**

**IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE ÁREAS  
POTENCIAIS DE USO AGRÍCOLA DO LODO DE  
ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO  
SANITÁRIO NAS BACIAS DOS RIOS VELHAS,  
JEQUITAÍ E PACUÍ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Caracterização, prevenção e controle da poluição

Orientador: Cesar Rossas Mota Filho

Coorientador: Antonio Teixeira de Matos

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2018

S586i	<p>Silva, Lucas de Almeida Chamhum.  Identificação e avaliação de áreas potenciais de uso agrícola do lodo de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário nas bacias dos rios Vlehas, Jequitai e Pacuí [recurso eletrônico] / Lucas de Almeida Chamhum Silva. – 2018.  1 recurso online (xi, 140 f. : il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: Cesar Rossas Mota Filho.  Coorientador: Antonio Teixeira de Matos.</p> <p>Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p> <p>Anexos: f. 112-125.</p> <p>Bibliografia: f. 103-111.  Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p> <p>1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Meio ambiente - Teses. 3. Lodo de esgoto - Teses. 4. Geotecnologia ambiental - Teses. I. Mota Filho, César Rossas. II. Matos, Antônio Teixeira de. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.</p>
	CDU: 628(043)

Ficha catalográfica: Biblioteca Profº Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos  
Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte - BRASIL  
Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br  
<http://www.smarh.eng.ufmg.br>

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Identificação e Avaliação de Áreas Potenciais de Uso Agrícola do Lodo de Estações de Tratamento de Esgoto Doméstico Nas Bacias dos Rios Velhas, Jequitaiá e Pacuí

**LUCAS DE ALMEIDA CHAMHUM SILVA**

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Prof. CESAR ROSSAS MOTA FILHO

Prof. ANTONIO TEIXEIRA DE MATOS

Prof. CARLOS AUGUSTO DE LEMOS CHERNICHARO

Prof. CLEVERSON VITÓRIO ANDREOLI

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

  
Prof. Nilo de Oliveira Nascimento  
Coordenador

Versão Final aprovada por

  
Prof. Cesar Rossas Mota Filho  
Orientador

Belo Horizonte, 04 de abril de 2018.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder todas as oportunidades de melhoria pessoal e profissional ao longo de minha vida e por prover todas as condições necessárias para que eu chegasse até aqui.

À minha família, pelo apoio incondicional. Em especial meu pai, Antônio, e minha mãe, Sônia, pessoas que tenho como exemplo e como porto seguro nos momentos de dificuldade. Agradeço a vocês por todo o carinho, amor, dedicação. Se cheguei onde estou hoje, é fruto do trabalho de vocês. Às minhas irmãs, Bárbara e Lívia, pelo carinho e vibrações positivas.

Aos meus avós. Sempre serão fontes de inspiração em minha vida.

Ao meu tio Henrique, sempre disponível para me ajudar.

Aos meus tios, tias, primos e primas. São muitos para citar aqui, mas manifesto meu agradecimento por todos os bons momentos compartilhado até aqui e pela torcida durante esse período.

À Lari, pelo amor, carinho, apoio, presença e compreensão, especialmente nos momentos mais tortuosos dessa caminhada.

Ao Eduardo, Fábio, João, Gustavo e Vinícius, os “mano” de Juiz de Fora, obrigado pelos bons momentos que compartilhamos juntos. Fico muito feliz em saber que, mesmo longe, nossa amizade se mantém. Ainda de Juiz de Fora, não tem como não lembrar dos amigos de longa data, Yan, Marquinhos, Fabrini e Thiago.

Às queridas amigas – e os casais de longa data, Gabi Morena, Gabi Loura (e Marcelo), Isabela, Flávia (e Adriano) e Carol Cachos.

Aos amigos de Opção que até hoje tenho o prazer de encontrar, Phillipe, Carol, Luiz, Tales e a Bruna.

Aos amigos, do Brasil e do mundo, que tive o privilégio de conhecer durante o mestrado. Camila, Josi, Rizzieri, e Willian, o quarteto mais que fantástico do DESA, agora com um infiltrado, o Thiago Borges. Jorge (com a turma toda, Silvia, Jorgito e Rafa) e Felipe, gringos espetaculares. Os amigos que entraram comigo, Duda, Ana, Daniel, Lucas, Lídia e Juliana

com quem tive o prazer de compartilhar ótimos momentos e outros de desabafo. A turma do projeto *Prosperity*, em especial Thiago Bressani e Fábio, que além de chefinhos queridos são pessoas que admiro muito. Matheus e Paulinha, que mesmo entrando um ano depois no mestrado, caminhamos uma longa temporada juntos. Renata, pessoa muito especial com quem tive o prazer de trabalhar junto, crescer junto e, as vezes, até sofrer junto. Impossível não lembrar do Diogo, Iacy e Rodrigo Mexicano, amigos que finalizaram seus trabalhos antes de mim, mas que muito me ajudaram em BH.

Aos professores da UFMG que tive o prazer de conhecer e que, com muita competência e sabedoria, transmitiram seu vasto conhecimento durante as aulas, seminários e conversas. Em especial, agradeço aos meus orientadores, Cesar e Matos, por todo o apoio, direcionamento e confiança em mim depositada. A ajuda de vocês foi fundamental para o desenvolvimento desse trabalho.

À banca examinadora, professores Carlos e Cleverson, exemplos de profissionais que disponibilizaram seu tempo para avaliar e contribuir no desenvolvimento desse trabalho

Aos funcionários do DESA, em especial Eliane, Júlio e Fernanda, que sempre estiveram disponíveis para ajudar no que fosse preciso.

Aos órgãos de fomento à pesquisa, notadamente o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto – INCT ETEs Sustentáveis.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho, meu muito obrigado!

## RESUMO

O lodo de esgoto sanitário representa o material na fase sólida gerado no processo de tratamento de esgoto sanitário, podendo ser tratado sob a ótica de resíduo ou subproduto desse tratamento. Na condição de subproduto, o lodo apresenta algumas possibilidades de aproveitamento, dentre as quais destaca-se seu uso como adubo orgânico e como material condicionante e estruturante do solo, em razão dos elevados teores de matéria orgânica e nutrientes que possui. Embora amplamente difundida e consolidada, em especial no cenário internacional, no Brasil são pontuais os casos de aplicação dessa técnica. Supõe-se que entre os fatores que contribuem para a baixa disseminação da prática estejam a dificuldade no atendimento aos critérios legais (estabelecidos na Resolução CONAMA 375) e a percepção social acerca do aproveitamento agrícola do lodo. O objetivo da presente pesquisa consistiu na identificação das ETEs inseridas nas bacias hidrográficas dos rios Velhas, Jequitaiá, Pacuí e trecho do São Francisco, ambas em Minas Gerais, e avaliação da geração de lodo nessas ETEs e sua disposição final. Ademais, propôs-se mapear áreas aptas à disposição do lodo, classificando-as de acordo com a potencialidade para seu aproveitamento agrícola. Finalmente, avaliou-se a aceitação de produtores rurais, no que se refere à utilização do lodo de ETE em atividades agrossilvipastoris. Para a consecução da pesquisa foram obtidos dados de operação das ETEs, dados georreferenciados relacionados ao relevo, tipo de solo e sua forma de uso e ocupação, os quais foram manipulados em ambiente de sistema de informações geográficas. Realizou-se um grupo focal com produtores rurais de 3 municípios distintos, a fim de verificar a aplicabilidade do uso agrícola do lodo. Foram identificadas 70 ETEs em operação, com equivalente populacional total superior a 4 milhões de habitantes, cuja geração de lodo desaguado foi estimada em 81.000 m<sup>3</sup>/ano. Desse total, cerca de 77% foi disposto em aterro sanitário. Em relação à aptidão do solo com vistas ao aproveitamento agrícola do lodo, verificou-se que cerca de 4% foi classificada como classe I (maior nível de aptidão); 10% classe II; 20% classe III; 13% classe IV e; 52% classe V (áreas inaptas ao uso do lodo). Os resultados do grupo focal indicaram maior resistência ao uso do lodo em olerícolas, raízes e tubérculos, em razão da possibilidade do contato direto da parte comestível da planta. Silvicultura, recuperação de áreas degradadas e lavouras de longo prazo, nas quais não há contato direto do lodo com a planta, foram apontados como atividades potencialmente receptoras de lodo.

**Palavras-chave:** lodo de esgoto, disposição final, uso agrícola, geotecnologias.

## ABSTRACT

Sewage sludge corresponds to the solid material generated in sewage treatment plants, which can be considered waste or by-product from this process. As by-product, some alternatives may be adopted for its use, especially its use as organic fertilizer and soil amendment, due to its high content of organic matter and nutrients. Although widely spread and well established, especially abroad, the use of this practice in Brazil is still rare. This is possibly due to strict legal criteria currently in place (established in CONAMA Resolution 375/2006) and the social perception about the agricultural use of sludge. In this context, the objective of this study was to identify sewage treatment plants (STP) currently in operation in two watersheds, Velhas river and Jequitaí, Pacuí and São Francisco rivers, and evaluate sludge generation and disposal in these watersheds. In addition, a map of suitable areas for sludge disposal was created, based on agricultural use potential. The map could be used as a decision-making tool for sewage sludge disposal. Finally, the acceptance and attitudes of farmers towards the use of sludge in agroforestry activities was assessed in a focus group. To carry out this research, operational data from STPs and geospatial data related to soil properties, land use and topography were obtained and manipulated on Geographic Information System (GIS). A pilot focus group comprised of 7 farmers from 3 different municipalities was performed. 70 STPs were identified as currently in operation in both watersheds, with a population equivalent above 4 million inhabitants. A sludge production of 81,000 m<sup>3</sup>.year<sup>-1</sup> was estimated. Approximately 77% of sludge is disposed on sanitary landfills. Suitability analysis of areas for sludge application showed that almost 4% of the total area was classified as level I (the level of suitability); 10% as level II; 20% as level III; 13% as level IV and 52% as level V (unsuitable areas). The focus group indicated greater resistance to sludge application on vegetables, due to the possibility of direct contact of the edible part of the plant with the sludge. Forestry, reclamation of degraded land and long-term crops, in which there is no direct contact of the sludge with the plant, were identified as potentially receiving activities for sludge.

**Keywords:** Sewage sludge; final disposal; agricultural use, geotechnologies.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>IX</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
<b>3 QUESTÕES E HIPÓTESES.....</b>	<b>5</b>
<b>4 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>6</b>
4.1 LODO DE ESGOTO SANITÁRIO .....	6
4.2 ALTERNATIVAS DE DESTINAÇÃO FINAL PARA O LODO DE ESGOTO SANITÁRIO .....	10
4.3 POTENCIAL AGRONÔMICO DO LODO DE ESGOTO DOMÉSTICO .....	12
4.4 PRINCIPAIS LEIS ACERCA DA UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO SANITÁRIO EM ATIVIDADES AGROSSILVIPASTORIS .....	18
4.5 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO GERENCIAMENTO DO LODO .....	20
4.6 PERCEÇÃO SOCIAL SOBRE O USO DO LODO DE ESGOTO SANITÁRIO NAS ATIVIDADES AGROSSILVIPASTORIS .....	24
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	27
5.2 GERENCIAMENTO DO LODO DE ESGOTO SANITÁRIO .....	30
5.2.1 <i>Geração de lodo de esgoto doméstico na área de estudo</i> .....	30
5.2.2 <i>Destinação atual do lodo de esgoto sanitário</i> .....	33
5.3 MAPEAMENTO DE ÁREAS APTAS AO APROVEITAMENTO AGRÍCOLA DO LODO DE ESGOTO SANITÁRIO .....	34
5.3.1 <i>Embasamento metodológico e aquisição dos dados georreferenciados</i> .....	35
5.3.2 <i>Aspectos legais abrangidos no mapeamento</i> .....	36
5.3.3 <i>Características geomorfológicas incorporadas ao mapeamento</i> .....	40
5.3.4 <i>Compilação dos dados e geração do mapa final de aptidão do solo ao aproveitamento do lodo de esgoto sanitário</i> .....	42
5.4 PERCEÇÃO DOS PRODUTORES RURAIS EM RELAÇÃO AO LODO DE ESGOTO .....	44
5.4.1 <i>Planejamento da pesquisa qualitativa</i> .....	44
5.4.2 <i>O grupo focal</i> .....	45
5.4.3 <i>Transcrição e análise do material</i> .....	49
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>
6.1 GERENCIAMENTO DO LODO DE ESGOTO SANITÁRIO .....	52
6.1.1 <i>Geração de lodo de esgoto sanitário</i> .....	52
6.1.2 <i>Disposição de lodo de esgoto sanitário</i> .....	64
6.2 MAPEAMENTO DE ÁREAS APTAS AO APROVEITAMENTO DO LODO DE ESGOTO SANITÁRIO EM ATIVIDADES AGROSSILVIPASTORIS .....	70
6.3 PERCEÇÃO DOS PRODUTORES RURAIS ACERCA DO USO DO LODO DE ESGOTO EM ATIVIDADES AGROSSILVIPASTORIS .....	82
6.3.1 <i>Contextualização dos perfis e breve histórico da vivência no meio rural</i> .....	82
6.3.2 <i>Uso de insumos agrícolas</i> .....	84
6.3.3 <i>Visões e dificuldades dos participantes relacionadas às atividades agrossilvipastoris</i> .....	86
6.3.4 <i>Ciência, conhecimento e sustentabilidade</i> .....	89
6.3.5 <i>Primeiras impressões sobre o uso do lodo de esgoto como insumo agrícola</i> .....	90
6.3.6 <i>Viabilidade prática do aproveitamento do lodo de esgoto sanitário em atividades agrossilvipastoris</i> .....	91
<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>99</b>
<b>8 RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>102</b>

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>103</b>
<b>APÊNDICE I .....</b>	<b>112</b>
<b>APÊNDICE II.....</b>	<b>114</b>
<b>APÊNDICE III .....</b>	<b>115</b>
<b>APÊNDICE IV.....</b>	<b>121</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 5.1:</b> Localização das bacias hidrográficas dos Rios Velhas, Jequitaiá, Pacuí e trecho do São Francisco.....	28
<b>Figura 5.2</b> - Delineamento metodológico da etapa de mapeamento de áreas aptas ao uso do lodo de esgoto em atividades agrossilvipastoris.....	34
<b>Figura 5.3</b> – Organização da sala, participantes do grupo focal e moderadora (à esquerda, ao fundo). .....	48
<b>Figura 6.1</b> – Distribuição das ETEs em operação por município da área de estudo. ....	53
<b>Figura 6.2</b> – Distribuição das ETEs ao longo da área de estudo conforme tipologia de tratamento da fase líquida. ....	54
<b>Figura 6.3</b> – Distribuição do número de ETEs nas bacias hidrográficas do Rio das Velhas (SF5) e Rios Jequitaiá-Pacuí (SF6), conforme a tipologia de tratamento. ....	56
<b>Figura 6.4</b> - Geração anual de lodo desaguado e número de ETEs por porte, conforme o equivalente populacional. ....	63
<b>Figura 6.5</b> – Percentual do total de lodo de esgoto desaguado gerado por tipo de disposição final (A) e percentual em relação ao número de ETEs em que se pratica determinado tipo de disposição final (B).....	64
<b>Figura 6.6</b> – Quantitativo de lodo desidratado, em $m^3 \cdot ano^{-1}$ , por tipo de disposição conforme o porte das ETEs.....	65
<b>Figura 6.7</b> – Distribuição dos aterros sanitários e das ETEs, segundo a forma de disposição do lodo de esgoto, ao longo da área de estudo. ....	67
<b>Figura 6.8</b> – Aptidão do solo no que se refere à aplicação do lodo de esgoto sanitário, de acordo com cada aspecto avaliado.....	78
<b>Figura 6.9</b> - Classificação de aptidão do solo com vistas ao aproveitamento do lodo de esgoto sanitário em atividades agrossilvipastoris. ....	79
<b>Figura II.1</b> – Distribuição espacial dos municípios da área de estudo.....	114

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> - Questões e hipóteses relacionadas à cada objetivo da pesquisa.....	5
<b>Tabela 4.1</b> – Principais características agrônômicas de diversos tipos de lodos (matéria seca). .....	14
<b>Tabela 5.1</b> – Aspectos e respectivos critérios e limitações para aplicação de lodo de esgoto sanitário no solo.....	41
<b>Tabela 5.2:</b> Listagem de aspectos, critérios e base de dados utilizados para a classificação da aptidão do solo ao uso do lodo de esgoto sanitário. ....	42
<b>Tabela 6.1-</b> Produção anual de lodo desaguado nas ETEs, por bacia hidrográfica, agrupadas conforme fluxograma de tratamento do esgoto sanitário. ....	59
<b>Tabela 6.2</b> – Custo médio do frete rodoviário correspondente ao transporte de fertilizantes agrícolas.....	69
<b>Tabela 6.3</b> – Indicativo de áreas inaptas em decorrência de cada aspecto avaliado e proporção de área limitada em relação à área total em estudo. ....	73
<b>Tabela 6.4</b> – Total de área restrita por classe nas bacias hidrográficas do rio das Velhas (SF5) e dos rios Jequitaiá, Pacuí e trecho do São Francisco (SF6). ....	80
<b>Tabela 6.5</b> – Percepção dos participantes em relação aos argumentos a favor e contra o uso do lodo de esgoto sanitário em atividades agrossilvipastoris. ....	96
<b>Tabela 6.6</b> – <i>Canvas</i> de negócios abordando os principais tópicos da discussão sobre o uso do lodo de esgoto sanitário em atividades agrossilvipastoris. ....	97
<b>Tabela I.1</b> – Municípios da bacia hidrográfica do Rio das Velhas.....	112
<b>Tabela I.2</b> – Municípios da bacia hidrográfica dos Rios Jequitaiá, Pacuí e trecho do São Francisco.....	113
<b>Tabela I.3</b> – Municípios comuns às bacias hidrográficas do Rio das Velhas e dos Rios Jequitaiá, Pacuí e trecho do São Francisco. ....	113

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

APA – Área de Proteção Ambiental

APMs – Áreas de Proteção aos Mananciais

APP – Área de Preservação Permanente

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento

COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais

DER – Departamento de Estrada e Rodagem de Minas Gerais

DESA/UFMG – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral

EMATER – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais

EP – Equivalente populacional

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

GPS – Global Positioning System

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEF – Instituto Estadual de Florestas

IPTU – Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MDE – Modelo Digital de Elevação

PIB – Produto Interno Bruto

RAD – Recuperação de Áreas Degradadas

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio ao Micro e Pequeno Empreendedor

SIAM – Sistema Integrado de Informação Ambiental

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SIGMINE - Sistema de Informações Geográficas da Mineração

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

UC – Unidade de Conservação

UGL – Unidade de Gerenciamento de Lodo

UPGRH – Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

USGS – *U.S. Geological Survey*

UTM – Universal Transversa de Mercator



# 1 INTRODUÇÃO

O esgoto sanitário representa uma fonte de poluição dos solos e corpos d'água, superficiais e subterrâneos, especialmente quando gerado em centros urbanos, cuja densidade populacional elevada potencializa os impactos por ele provocados. Além de expor a população e os ecossistemas aos riscos de contaminação, o lançamento indevido de esgoto compromete a economia local, visto que os investimentos na captação e tratamento de água para abastecimento humano tendem a ser mais onerosos (CANO *et al.*, 2011).

No mundo, estima-se que cerca de 2,6 bilhões de pessoas (41% da população mundial) não possuem acesso ao sistema de esgotamento sanitário (LEBLANC; MATHEWS; RICHARD, 2008). No cenário brasileiro, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2017), no ano de 2015, apenas 50,3% da população dispunha da coleta de esgoto. Neste mesmo levantamento, estimou-se que, do total de esgoto gerado, cerca de 42,7% recebia tratamento. Apesar do cenário desafiador, observou-se um aumento de 1,9% em relação ao total tratado em 2014, mantendo a tendência de crescimento deste indicador. Tal tendência deve ser mantida nos próximos anos com o advento de novas estações de tratamento de esgoto (ETEs), ampliação da capacidade das existentes e expansão da rede coletora.

Há uma profusão de sistemas de tratamento de esgoto sanitário, cada um com suas particularidades. De forma geral, à medida em que o tratamento é realizado há geração de subprodutos nas fases líquida, gasosa e sólida. Segundo Andreoli, von Sperling e Fernandes (2014), a fração sólida pode compreender o material gradeado, areia, espuma e lodo, sendo o quantitativo gerado diretamente proporcional ao volume de efluente tratado. O lodo representa o subproduto predominante da fase sólida e consiste no objeto de estudo do presente trabalho.

Apesar da baixa geração de lodo (cerca de 1 a 2% do volume de efluente líquido), os custos relacionados ao seu gerenciamento são substanciais, variando de 20 a 60% dos custos totais de operação de uma ETE. Não obstante, o gerenciamento deste subproduto tem sido negligenciado no cenário brasileiro, sendo que, usualmente, o foco dos projetos de tratamento compreende a fase líquida, de tal sorte que a gestão e o gerenciamento do lodo são deixados em segundo plano (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014; SAMPAIO, 2013).

Embora relegado em muitos casos, o lodo apresenta algumas possibilidades para o aproveitamento dos recursos nele presentes. Dentre elas, destaca-se o aproveitamento como adubo em atividades agrossilvipastoris e recuperação de áreas degradadas (RAD), melhorando as características do solo em decorrência da adição de matéria orgânica, e provendo às plantas os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento. Ao encontro desta alternativa está o fato de que, no Brasil, o setor agrossilvipastoril representa um dos pilares da economia nacional, cuja intensa produção gera uma demanda elevada por nutrientes, em geral, supridos por meio da exploração de fontes não renováveis. Nesse sentido, o aproveitamento deste subproduto em solos figura como técnica atrativa e sustentável, não só do ponto de vista da disposição final adequada do lodo como também pelo apelo econômico advindo do aporte de nutrientes presentes no mesmo.

No entanto, ainda que se pese a elevada demanda por nutrientes presentes no lodo, esta técnica não deve ser encarada como o simples despejo do material no solo. Existem critérios técnicos e legais que devem ser atendidos visando-se garantir a segurança do meio ambiente e a saúde pública (BRASIL, 2006). Dentre a ampla gama de critérios legais estabelecidos, observa-se que aqueles que se referem à qualidade do lodo e do solo são intensivamente estudados, ao passo que são pontuais os trabalhos em que é avaliado o atendimento aos critérios locacionais e, conseqüentemente, identificadas áreas aptas ao aproveitamento do lodo no solo. Ora, considerando que a identificação de áreas aptas à esta alternativa é determinante na avaliação da disponibilidade de área, distância de transporte entre outros fatores que influenciam o processo de seleção, o uso de ferramentas que possibilitem a avaliação geoespacial, simultânea e integrada de diversos critérios é de suma importância nas etapas de planejamento e de tomada de decisão quanto ao gerenciamento do lodo, permitindo economia de tempo e recursos – pessoal e financeiro.

Apesar do potencial latente do uso benéfico do lodo de esgoto em solo, a adoção e sucesso da técnica perpassa pela sua aceitação pública, em especial por parte dos produtores rurais – usuários do subproduto. Assim, é fundamental investigar a percepção destes atores em relação ao lodo de esgoto, predisposição em se utilizar o material e fatores limitantes à difusão da técnica. A compreensão destes aspectos e a inclusão destes agentes no processo de gestão e gerenciamento do lodo contribuem para o desenvolvimento estratégias voltadas ao incentivo e disseminação do aproveitamento do lodo de esgoto doméstico em atividades agrossilvipastoris.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 *Objetivo geral***

Avaliar o potencial técnico e aceitação social de aproveitamento agrícola do lodo proveniente das Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário – ETEs inseridas nas bacias hidrográficas dos rios Velhas, Jequitaiá, Pacuí e trecho do São Francisco, no estado de Minas Gerais.

### **2.2 *Objetivos específicos***

- Mapear as ETEs existentes na área de estudo e estimar a quantidade de lodo de esgoto gerado, assim como identificar as opções de destinação final deste material.
- Identificar e mapear áreas legalmente aptas ao uso agrícola do lodo gerado nas ETEs, segundo os critérios definidos na Resolução CONAMA 375, de 2006.
- Estabelecer níveis de potencialidade para o uso agrícola do lodo, considerando-se a capacidade de assimilação do solo, a partir dos atributos geomorfológicos e pedológicos da área de estudo.
- Avaliar, de forma exploratória, a aceitação da utilização do lodo de ETE em atividades agrossilvipastoris junto a produtores rurais.

### 3 QUESTÕES E HIPÓTESES

As questões norteadoras da pesquisa e as hipóteses levantadas encontram-se organizadas de acordo com cada objetivo específico, conforme apresentado na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** - Questões e hipóteses relacionadas à cada objetivo da pesquisa.

<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Questões</b>	<b>Hipóteses</b>
Mapear as ETEs existentes na área de estudo e estimar a quantidade de lodo de esgoto gerado, assim como identificar as opções de destinação final deste material.	Com base na localização das ETEs e nos respectivos quantitativos de lodo gerado, quais as possíveis formas de destinação final do material?	Existem áreas com elevada geração de lodo com valor nutricional considerável, porém com baixa disponibilidade para aproveitamento agrícola do mesmo – assim como o inverso dessa relação, que podem ser analisadas sob o ponto de vista da viabilidade das opções de destinação final.
Identificar áreas legalmente aptas ao uso agrícola do lodo gerado nas ETE, segundo os critérios definidos na Resolução CONAMA 375 de 2006.	Considerando os critérios e procedimentos definidos na Resolução CONAMA 375 de 2006, qual é a disponibilidade de áreas legalmente aptas ao uso agrícola do lodo?	Existem áreas aptas em extensão suficiente para atender à demanda de lodo produzida nas bacias em estudo, mesmo considerando as restrições impostas na Resolução CONAMA 375 de 2006.
Estabelecer níveis de potencialidade para o uso agrícola do lodo de esgoto, considerando a capacidade de assimilação do solo a partir dos atributos geomorfológicos e pedológicos da área de estudo.	Uma vez definidas as áreas aptas à destinação agrícola do lodo, qual a potencialidade de utilização agrícola do lodo de ETE em cada parcela de solo, considerando os atributos geomorfológicos e pedológicos da área de estudo?	Excetuando-se as áreas legalmente indisponíveis, as demais parcelas de solo possuem alto a médio potencial para aproveitamento agrícola do lodo.
Avaliar, de forma preliminar, a aceitação da utilização do lodo de esgoto em atividades agrossilvipastoris junto a produtores rurais.	Qual a percepção dos produtores rurais acerca do uso de lodo de esgoto em atividades agrossilvipastoris? Quais fatores justificam a aceitação ou rejeição deste subproduto?	Apesar dos produtores rurais reconhecerem a possibilidade de uso do lodo de esgoto como insumo agrícola, de forma geral, poucos estariam dispostos a aplicar este subproduto nas suas propriedades, motivados, principalmente, por asco ao material.

## 4 REVISÃO DA LITERATURA

### 4.1 Lodo de esgoto sanitário

O lodo de esgoto consiste no material sólido gerado durante do tratamento de esgoto sanitário. De forma geral, pode-se subdividir o lodo de esgoto de acordo com sua origem e processo de tratamento. O lodo primário é aquele gerado nos decantadores primários, sendo composto por sólidos sedimentáveis. O lodo secundário é constituído pelos microrganismos que se desenvolveram ao longo do tratamento biológico, às custas da matéria orgânica presente no esgoto, e que devem ser retirados do sistema para não deteriorar a qualidade do efluente final. Dependendo do sistema utilizado, o lodo primário e o secundário podem ser misturados para posterior tratamento, gerando-se o lodo misto. Por fim, o lodo químico é aquele gerado nos sistemas em que são aplicados produtos químicos visando à melhoria do processo de tratamento da fase líquida, seja na etapa de decantação primária ou no polimento do efluente secundário (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014). Em alguns casos específicos, quando se almeja a remoção de nutrientes, pode-se efetuar o tratamento do lodo em nível terciário, gerando-se o lodo de mesmo nome (EVANS, 2016).

Além das particularidades relacionadas à etapa do processo em que o lodo foi gerado, outros elementos podem afetar as características quanti e qualitativas do mesmo, como tipo de esgoto afluente à ETE e tipo de tratamento empregado (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014; SINGH; AGRAWAL, 2008). Apesar das variações, no presente trabalho o lodo foi tratado em escala macro, abordando-se aspectos globais do gerenciamento deste subproduto, com foco na sua geração e destinação final. Dessa forma, aspectos relacionados à origem, sistema de tratamento e outras especificidades que refletem nas características qualitativas do lodo não foram objeto de estudo no presente trabalho.

O gerenciamento do lodo assume papel de destaque no processo de tratamento de esgoto, pois, se por um lado o volume gerado é pequeno, se comparado ao do efluente tratado (proporção entre 1 a 2%), por outro, o custo relacionado ao gerenciamento e destinação final desse subproduto pode variar entre 20 a 60% dos custos operacionais totais de uma ETE (SPINOSA *et al.*, 2011; ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014). Apesar de sua relevância, no Brasil, não há dados consistentes que permitam aferir a quantidade de lodo gerado, porém destaca-se que a geração de lodo desidratado pode variar desde de 8 até 90 g

de lodo por habitante por dia, a depender do sistema de tratamento (FYTILI; ZABANIOTOU, 2006; ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014).

Em termos de quantitativo total de lodo, analisando os maiores geradores na União Europeia, verifica-se que Espanha, Alemanha, Reino Unido e França, produziram, em 2012, 2.757, 1.849, 1.137 e 987 mil toneladas de lodo seco por ano, respectivamente (EUROSTAT, 2016). Nos Estados Unidos esse valor chega a 7.180 mil toneladas por ano (NEBRA, 2007). Na China, em 2010, foram geradas cerca de 5.500 mil toneladas de lodo nas 1.258 ETEs registradas (BAI *et al*, 2013). No Brasil, não há dados consistentes que permitam aferir a quantidade de lodo gerada (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014). Porém, considerando o atendimento de cerca de 100 milhões de habitantes com sistemas de esgotamento sanitário (SNIS, 2017) e uma faixa conservadora de lodo seco gerado (8 a 50 g por habitante por dia), caso tais sistemas contemplassem o tratamento dos esgotos, ter-se-iam entre 292 e 1.825 mil toneladas de lodo seco a ser disposto, anualmente.

Já em termos qualitativos, verifica-se uma ampla gama de compostos presentes no lodo de esgoto, cujas concentrações podem variar caso a caso. Ao se promover o tratamento de efluente almeja-se remover, da fase líquida, compostos indesejáveis, a fim de se alcançar a qualidade necessária ao lançamento no meio ambiente ou aproveitamento em outras atividade, entretanto, alguns desses compostos indesejáveis podem ser concentrados no lodo gerado (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014).

Alguns constituintes do lodo de esgoto conferem a ele características estratégicas do ponto de vista do seu aproveitamento, enquanto outros representam potenciais riscos à saúde pública e ao meio ambiente. De forma geral, os constituintes básicos do lodo de esgoto são a matéria orgânica, macro e micronutrientes, metais pesados, poluentes orgânicos e organismos patogênicos.

Uma vez gerado, o lodo deve ser removido do sistema e tratado adequadamente para, em seguida, ser direcionado à sua destinação final. As etapas usuais de tratamento do lodo incluem (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014):

- Adensamento: redução no teor de água (redução de volume);
- Estabilização: redução de matéria orgânica (redução de sólidos voláteis);

- Condicionamento: preparação para a desidratação (principalmente mecânica);
- Desidratação (ou desaguamento): redução adicional no teor de água (redução de volume);
- Higienização: redução na quantidade de organismos patogênicos;
- Disposição final: destinação final dos subprodutos.

Em linhas gerais, o adensamento é a primeira etapa do tratamento do lodo após a remoção do mesmo da fase líquida. O principal objetivo desta etapa é a redução inicial do teor de água, reduzindo o volume total de lodo direcionado às etapas posteriores, que por sua vez reduz os custos operacionais e de implantação das unidades subsequentes. O lodo efluente à unidade de adensamento possui, tipicamente, teor de sólidos na faixa de 4 a 6%, a depender do tipo de lodo e processo empregado (JORDÃO; PESSOA, 2014). Importante notar que dependendo do fluxograma de tratamento da fase líquida, o adensamento pode ser ou não necessário. Como exemplo, destaca-se o reator UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*), que possibilita o adensamento e estabilização do lodo concomitantemente ao tratamento do esgoto (CHERNICHARO, 2016).

O lodo de esgoto, em especial o lodo secundário, possui elevadas concentrações de matéria orgânica, uma vez que consiste, basicamente, nos microrganismos responsáveis pela depuração do esgoto. Segundo Jordão e Pessoa (2014), ao ser removido da fase líquida o lodo fica retido no adensador entre 0,5 a 2 dias, não sendo recomendável sua permanência por mais tempo na unidade em razão da degradação da matéria orgânica acumulada. Esta iminente degradação pode provocar efeitos indesejáveis relacionados ao aumento da concentração de matéria orgânica na parcela líquida removida do adensador e recirculada para o sistema, além de geração de maus odores. Nesse sentido, após o adensamento do lodo, o mesmo é submetido à etapa de estabilização, também denominada digestão, visando à degradação da matéria orgânica mais lábil. A estabilização pode ocorrer em duas vias, sendo elas a aeróbia ou anaeróbia. Diferentemente da etapa anterior, o tempo de retenção nos digestores é mais longo e varia em função das condições operacionais e ambientais (principalmente temperatura). De forma geral, o tempo de digestão é em torno de 14 dias, para a digestão aeróbia, e 20 dias, para digestão anaeróbia (JORDÃO; PESSOA, 2014).

Em seguida, a etapa de condicionamento do lodo consiste em uma fase intermediária do processo, empregada com o intuito de melhorar o desempenho da etapa posterior. Assim, durante o condicionamento do lodo ocorre a adição de produtos químicos com vistas ao

aumento do potencial de desidratação e captura de sólidos na etapa posterior (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014).

A desidratação refere-se ao processo de remoção adicional de água, que pode ocorrer por meios naturais ou mecânicos. Esta etapa é de suma importância, uma vez que quanto melhor seu desempenho, menor o volume de lodo a ser transportado e disposto, além de mais fácil seu manejo nas etapas posteriores, visto que ao final do processo de secagem o lodo possui aspecto sólido. Tipicamente, em processos naturais, como leito de secagem ou lagoa de lodo, o lodo efluente possui teor de sólidos em torno de 30%, sendo que, em geral, os leitos de secagem apresentam melhor desempenho que as lagoas. Na categoria de técnicas mecanizadas, há uma série de alternativas, dentre elas, filtro prensa, filtro de esteira, centrífugas e secagem térmica. O teor de sólidos final presente no lodo varia de acordo com a técnica adotada, por exemplo, entre 25% (centrífugas) a 95% (secagem térmica) (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014).

Em geral, salvo algumas exceções, até a etapa de desidratação ainda persistem no lodo microrganismos patogênicos em concentrações nocivas ao meio ambiente e à saúde pública. Assim, a depender da forma de destinação final, é necessária uma etapa complementar de tratamento visando a garantir os padrões mínimos de qualidade sanitária do mesmo. No caso de aproveitamento do lodo em atividades agrossilvipastoris, exige-se uma melhor qualidade sanitária do subproduto em comparação à exigida para destinação em aterro sanitário, por exemplo. Dentre as técnicas de higienização do lodo, podem ser citadas: compostagem, digestão anaeróbia termofílica, caleação e secagem térmica (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014).

Destaca-se que existem diversas variantes em cada uma das etapas de tratamento do lodo, cada qual mais apropriada ao contexto em que o lodo de esgoto é gerado. Há, inclusive, alternativas de tratamento do lodo que conjugam mais de uma etapa no mesmo processo ou mesmo casos em que, a depender da destinação final adotada, se dispense alguma das etapas. No próximo tópico, seguem apresentadas as principais alternativas de disposição final do lodo de esgoto.

## **4.2 Alternativas de destinação final para o lodo de esgoto sanitário**

Especificamente no caso da disposição final do lodo, há diversas formas para tal, cada qual mais adequada à realidade em que foi gerado. Dentre as alternativas, pode-se elencar aproveitamento agrícola, *landfarming*, recuperação de áreas degradadas, incineração, aterro sanitário, descarga oceânica, processos termais (pirólise, gaseificação, oxidação úmida, combustão ou co-processamento), uso na construção civil, entre outros.

Entre os fatores que podem influenciar a decisão de qual método de disposição a ser adotado pode-se citar: quantidade e qualidade do lodo, distância de transporte, matriz energética (consumo, custos e impactos na geração), disponibilidade de área, simplicidade operacional, requisitos tecnológicos, impactos ambientais, possibilidade de substituição total ou parcial de recursos finitos (energéticos, fertilizantes), incentivos econômicos, aceitação pública (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014; LUNDIN *et al.*, 2004; LEBLANC; MATHEWS; RICHARD, 2008). Pode-se supor que em cada país, região ou mesmo estação de tratamento o peso dos fatores mencionados são alterados em função das particularidades de cada situação.

Na União Europeia, entre os anos de 2000 a 2013, verificou-se que, exceto no ano de 2011, o aproveitamento agrícola foi a principal alternativa de destinação do lodo de esgoto sanitário. Apesar das variações do total de lodo gerado e do quantitativo disposto por alternativa, observou-se que, na média dos anos de 2009 a 2013, cerca 38% do total de lodo gerado foi aproveitado em atividades agrícolas, 13% enviado à compostagem (que possivelmente foi incorporado em áreas agrícolas, posteriormente), 6% disposto em aterros sanitários, 29% incinerado e 14% destinado de outras formas (EUROSTAT, 2016). Nos EUA, cerca de 49% do lodo gerado em 2004 foi aplicado em áreas agrícolas, silvicultura ou áreas degradadas, enquanto 45% foi disposto como resíduo (aterro, *landfarming* ou incinerado) e 6% foi destinado de outras formas (NEBRA, 2007). Na China, observou-se, no ano de 2010, as seguintes formas de disposição final do lodo: 45% para uso agrícola, 3,5% incineração, 34,5% aterro e 17% outros (CHEN *et al.*, 2012).

No Brasil, de forma geral, o gerenciamento do lodo tem sido negligenciado, mesmo com a perspectiva de aumento na sua geração (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014). Segundo Sampaio (2013), a forma de destinação final predominante no Brasil ainda são os aterros sanitários, embora observe-se um esforço para se viabilizar o aproveitamento

agrícola do lodo. O autor ainda menciona que cerca de 252 mil toneladas de lodo seco são incorporados a áreas agrícolas, anualmente, no Brasil. Neste ponto, observa-se que no cenário nacional não se dispõe de base de dados consistentes a respeito do quantitativo de lodo gerado, uma vez que, para as estimativas baseadas na geração per capita mínima de esgoto, o quantitativo de lodo seria em torno de 292 mil toneladas. No entanto, caso se considere quantitativo de lodo de esgoto destinado a áreas agrícolas reportado por Sampaio (2013), poder-se-ia concluir que quase a totalidade de lodo gerado estaria sendo aproveitado para este fim, fato contraditório ao mencionado pelo próprio autor. Assim, fica evidente o déficit de informação tanto no que tange à geração de lodo quanto à sua destinação.

Em que pese o fato dos aterros sanitários consistirem alternativa ambientalmente adequada de destinação lodo, esta vai na contramão da tendência mundial de se tratar o lodo como subproduto e fonte de recursos (HEIMERSSON *et al.*, 2017). Somado a esta tendência, há que se considerar situações em que determinadas formas de disposição, como descarga oceânica e em aterro sanitário, têm sido restringidas ou até banidas (UE, 1991; UE, 1999). Nesta perspectiva, observa-se o declínio da prática de disposição em aterros sanitários ou em superfície (*landfarming*) e descarga oceânica (EUROSTAT, 2016; LUNDIN *et al.*, 2004).

Entre os processos que possibilitam a obtenção de recursos a partir do lodo de esgoto estão os processos térmicos. De forma geral, tais processos permitem a recuperação de energia e a geração de um produto a ser utilizado em outras finalidades, aliados à redução do volume e destruição de compostos tóxicos. Como limitantes, destacam-se os elevados custos de operação, necessidade de tratamento e disposição dos resíduos gerados (cinzas, emissões atmosféricas) (SPINOSA *et al.*, 2011). Tais técnicas, juntamente com usos na construção civil, ainda figuram como formas secundárias de disposição final do lodo (RIZZARDINI; GOI, 2014).

Uma alternativa à disposição em aterros sanitários consiste no aproveitamento do lodo de esgoto em áreas agrícolas, alternativa vantajosa sob diversas perspectivas – técnica, econômica, ambiental, legal e sociocultural, ainda que tais perspectivas e elementos que as compõem possam ser analisados de diferentes formas, a depender do contexto avaliado (BERTANZA; BARONI; CANATO, 2016). Dentre as vantagens associadas ao uso agrícola do lodo, destacam-se os benefícios ao solo associados à adição de matéria orgânica, o que proporciona aumento na superfície específica da fração sólida, estruturação e estabilização

dos agregados, retenção de água, melhoria da consistência, aumento na fertilidade, alteração favorável no pH, neutralização de elementos químicos tóxicos, adição de micronutrientes e melhoria na biota do solo (MATOS; MATOS, 2016). Outras vantagens associadas à essa prática são: maior parcelamento da adubação, evitando-se perdas e atendendo às necessidades das plantas nas diferentes etapas de desenvolvimento da cultura; e economia de insumos, com consequente economia de recursos financeiros (BASTOS, 2003).

Se por um lado o uso agrícola possui diversas vantagens, por outro, apresenta riscos associados, principalmente, ao conteúdo de metais pesados, à questão sanitária, à estabilidade bioquímica do material, ao conteúdo de nitrogênio e à interação do lodo com o meio ambiente (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014).

As justificativas para a não aplicação desta técnica podem estar fundamentadas nos riscos deste material em relação ao solo, culturas, animais, águas subterrâneas e superficiais – no caso de contato com estas, e aos seres humanos. Ademais, há que se considerar o receio dos agricultores (em muitos casos, o elo mais fraco da cadeia) em utilizar esse material, devido a diversos fatores, como os aspectos legais que, visando garantir a segurança na aplicação do lodo, pode representar um inibidor da técnica. Além da preocupação dos produtores rurais, há ainda a aceitação do público em geral, por exemplo, dos consumidores dos produtos obtidos a partir de uma adubação efetuada com lodo de esgoto. Jimenez *et al.* (2004) destacam que, nos países em desenvolvimento, as principais preocupações estão relacionadas aos riscos sanitários, devido à elevada concentração de patógenos, reflexo dos baixos níveis de saúde da população.

### **4.3 Potencial agrônômico do lodo de esgoto doméstico**

O agronegócio consiste em um importante setor da economia brasileira. Em 2016, 23% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro correspondeu às atividades de agricultura e pecuária (CNA, 2016). Somente no ano de 2016, foram consumidos mais de 15 milhões de toneladas de adubos nitrogenados, fosfatados e potássicos, constituindo 34 milhões de toneladas de fertilizantes, reforçando a tendência de crescimento no consumo desse insumo. Desse total, cerca de 70% compreendeu produtos importados. Os estados brasileiros em que o consumo de fertilizantes é mais intenso são: Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul, Minas Gerais e São Paulo, nesta ordem (IPNI, 2016).

Além da elevada demanda, destaca-se a finitude das jazidas naturais desses recursos. No caso do fósforo, as previsões indicam que, se for mantida a taxa atual de consumo as reservas naturais podem se extinguir em um horizonte de 100 anos (VAYENAS, 2017). Soma-se à depleção do recurso o fato de que as reservas de fósforo estão concentradas em pouco países, sendo que Marrocos e Saara Ocidental detêm 60% do total, enquanto EUA e China, com 11 e 3,6% das reservas mundiais, respectivamente, já reconheceram a importância estratégica das reservas do elemento químico, implementando medidas de restrição em relação à sua exportação (EVANS, 2016).

Tendo em vista a demanda por nutrientes e à já comentada finitude de recursos naturais, torna-se imperativo a busca por fontes alternativas de nutrientes. Dessa forma, no caso da cadeia de produtos agrícolas, uma das alternativas compreende a mudança de concepção linear de produção (extração de recursos, produção/beneficiamento, uso e disposição final), passando-se a considerar os princípios da economia circular, isto é, promoção do reuso, reciclagem ou recuperação de subprodutos em detrimento da disposição final (EVANS, 2016).

Nesse sentido, para o caso específico do potencial de aproveitamento de nutrientes presentes no lodo de esgoto, Bortolini et al (2017) estimaram que, em duas sub-bacias hidrográficas do Rio São Francisco, a oferta anual de nitrogênio e fósforo via esse subproduto gerado nas ETEs atualmente instaladas na região seria de, aproximadamente, 911 e 261 toneladas, respectivamente. De acordo com os autores, esta oferta seria suficiente para suprir a demanda por nitrogênio estimada para as lavouras permanentes cultivadas nessas sub-bacias.

Quando o foco do aproveitamento do lodo é o uso agrícola, este material deve ser tratado e processado como um insumo e, como tal, deve atender aos padrões de qualidade para esta atividade. Nesse caso, o lodo do esgoto é comumente denominado “biossólido”, de forma a enfatizar o valor nutricional do mesmo e agregar valor ao material beneficiado (COLÓN *et al.*, 2017).

Todos os tipos de lodo são potencialmente aplicáveis na agricultura se estiverem dentro dos limites de qualidade ambiental (no que se refere ao teor de metais pesados e outros poluentes, além de contagem de patógenos) e, geralmente, as quantidades aplicadas são limitadas pelas quantidades de nutrientes requeridas e disponibilizadas para as plantas. Quando caleados, a

dose limitante passa a ser a que proporcione aumento no pH do solo para, no máximo, 6,0 (MATOS, 2014).

As características dos lodos podem acarretar em dificuldades de sua aplicação no solo por equipamentos agrícolas, por essa razão, deve conter água em teor compatível com as características operacionais desses equipamentos (ISWA, 1997).

Neste contexto, o uso agrícola do lodo contribui para a minimização da dependência de fertilizantes minerais, não só dos tradicionais nitrogênio, fósforo e potássio bem como de micronutrientes. O teor de nutrientes no lodo pode variar de acordo com as características e do processo de tratamento do esgoto que lhe deu origem e do processo de seu próprio processo de tratamento (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014). Na Tabela 4.1 estão apresentados os valores de pH e de teores de nutrientes presentes no lodo, de acordo com diversos autores.

**Tabela 4.1** – Principais características agronômicas de diversos tipos de lodos (matéria seca).

Local	Tipo de lodo	pH	COT	N <sub>total</sub>	NTK	P <sub>total</sub>	K <sub>total</sub>	Ca	Fonte
MG	Lodo anaeróbio	4,7	27,6	-	2,9	0,6			Chamhum-Silva <i>et al.</i> (2017)
BA	Lodo anaeróbio	-	21,9	4,2	-	1,6	0,3	3,5	Santos <i>et al.</i> (2017)
PR	Lodo aeróbio	12,0	14,7	-	2,1	0,9	0,2	22,4	Bittencourt <i>et al.</i> (2014)
PR <sup>1</sup>	Lodo anaeróbio	12,0	11,7	-	1,2	0,4	0,1	13,4	Bittencourt <i>et al.</i> (2014)
DF	Lodo anaeróbio	6,6	29,3	5,4	-	-	0,1	-	Batista (2015)
DF	Lodo anaeróbio	7,5	27,9	6,1	-	-	0,2	-	Batista (2015)
DF	Lodo anaeróbio	5,8	23,5	4,1	-	-	0,1	-	Batista (2015)
DF	Lodo anaeróbio	7,1	30,1	4,4	-	3,2	0,1	0,6	Batista (2015)
SP	Lodo aeróbio	-	30,1	2,7	-	0,6	-	-	Carvalho <i>et al.</i> (2015)
SP	Lodo anaeróbio	-	13,5	1,8	-	0,9	-	-	Carvalho <i>et al.</i> (2015)
SP <sup>2</sup>	-	7,8	33,8	4,2	4,2	1,3	0,2	0,3	Nascimento (2016)
Espanha	Lodo aeróbio	9,5	34,6	1,8	-	1,7	0,8	-	Lloret <i>et al.</i> (2016)
Espanha	Lodo anaeróbio	7,8	31,5	1,3	-	1,4	0,8	-	Lloret <i>et al.</i> (2016)
Dinamarca	Lodo primário (digestão anaeróbia)	8,2	28,7	3,2	-	2,9	0,2	-	Debosz <i>et al.</i> (2002)
China	-	6,3	37,7	5,1	-	0,6	-	-	Bai <i>et al.</i> (2013)

1. Valores médios obtidos nos lodos de 3 ETES;
2. Valores médios obtidos nos lodos de 19 ETES.

Além de nutrientes, são reportados benefícios adicionais proporcionados pelo lodo de esgoto, relacionados à estruturação do solo e incremento na sua capacidade de troca catiônica, o que

contribui na retenção de nutrientes e água no solo (HEIMERSSON *et al.*, 2017; SINGH; AGRAWAL,2008). Heimersson *et al.* (2017) destacam, ainda, o papel do lodo de esgoto na contribuição para a fixação de carbono no solo, favorecendo a redução dos impactos climáticos globais, decorrentes da minimização de CO<sub>2</sub> que essa prática proporciona. Dadas estas características, destacam-se a potencialidade do uso desse subproduto em atividades agrossilvipastoris bem como na recuperação de áreas degradadas, as quais demandam, além dos nutrientes, matéria orgânica para reestruturação do solo e recuperação das atividades microbiológicas e cobertura vegetal.

Bai *et al.* (2013) desenvolveram um estudo na China visando avaliar os efeitos do lodo de esgoto sanitário sobre o crescimento (parte aérea e raiz), absorção de nutrientes e acúmulo de metais no cultivo de azevém, além das alterações químicas no solo em função da dose de lodo (0, 30, 75, 150 e 300 t ha<sup>-1</sup>). As análises indicaram redução benéfica no pH de um solo alcalino, partindo-se da condição inicial de 9 até atingir 8 (obtido com a maior dose de aplicação de lodo). Em relação à salinidade, o valor inicial era de 8,51‰ e decresceu gradativamente de acordo com o aumento da dose de lodo até atingir o valor de 1,50%. Já em relação ao teor de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, observou-se aumento diretamente proporcional ao da dose aplicada. Dos metais monitorados, apenas cobre e zinco apresentaram aumento significativo de concentração total no solo com o aumento das doses aplicadas. No que concerne ao desenvolvimento da planta, verificou-se o aumento da biomassa aérea e radicular com o aumento das doses. As concentrações de nitrogênio e fósforo no tecido vegetal do azevém nos tratamentos em que houve aplicação de lodo no solo foram superiores aos obtidos no controle (solo não receptor do lodo). Tal comportamento também foi observado em relação ao metais absorvidos, de forma que quanto maior a dose maior foi a concentração quantificada de cádmio, cromo, cobre, manganês, níquel e zinco.

Em trabalho desenvolvido por Nascimento *et al.* (2004), foi avaliado o efeito da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto produzido pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) sobre as características químicas de dois solos, quantidades de metais pesados absorvidas e crescimento de milho e de feijoeiro cultivados em casa de vegetação. Foram utilizados dois tipos de solos com diferentes teores de argila aos quais foram adicionadas seis doses de lodo de esgoto (equivalentes a 0, 10, 20, 30, 40 e 60 Mg ha<sup>-1</sup>). As aplicações promoveram diminuição no pH e aumento nos teores de matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo disponível, potássio disponível e sódio trocável em ambos os solos, exceção feita aos

teores de sódio e potássio de um deles. As doses de lodo de esgoto aumentaram a produção de matéria seca do milho e do feijoeiro. Os teores disponíveis dos metais Zn, Cu, Mn, Fe e Pb registrados no lodo e no solo foram inferiores aos limites estabelecidos para utilização agrícola, indicando sua aplicação sem maiores riscos ao ambiente. Nas plantas, os teores de metais pesados estiveram abaixo dos limites tóxicos, não sendo observados sintomas de fitotoxicidade.

Apesar dos benefícios em curto prazo, é imprescindível a avaliação dos efeitos da aplicação do lodo de esgoto sanitário no solo, em médio e longo prazos. Nesse sentido, El-Naim, El-Housseini e Naeem (2004) observaram que a aplicação por quatro safras consecutivas (2 anos de aplicação) de lodo de esgoto desaguado em uma mesma área, promoveu acúmulo de metais pesados no solo da ordem de 4 a 9 vezes superior ao observado em área onde foi aplicado uma única vez. Segundo os autores, no caso do tratamento do lodo por caleação e compostagem, os teores disponíveis de metais pesados foram inferiores se comparados aos da amostra de solo submetido ao tratamento com lodo apenas desaguado. Entretanto, os autores destacaram que, mesmo em aplicações consecutivas numa mesma área, em todas as amostras, os teores de metais pesados disponíveis no solo se mantiveram abaixo do limite estabelecido pelas legislações da comunidade europeia e norte-americana. Interessante notar, ainda, o efeito proporcionado pela paralisação da aplicação após quatro aplicações consecutivas (uma por safra) em relação à presença de metais pesados nos cultivos. Segundo os autores, ao se interromper a aplicação continuada por apenas uma safra, o conteúdo de metais pesados nas plantas reduz expressivamente (atingindo 100% de redução, a depender do metal e do cultivo), possivelmente associado à interação desses com o material orgânico do solo.

Complementarmente, estudo conduzido por Mantovi, Baldoni e Toderi (2005), durante 12 anos, na Itália, objetivou avaliar o efeito de três tipos de lodo de esgoto (lodo digerido, desaguado e compostado com palha de trigo) no solo e nas culturas, com taxas de aplicação de 5 e 10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Em relação às culturas, verificou-se que, no caso do lodo digerido e do lodo desaguado, a maior taxa de aplicação pode provocar efeitos negativos nos cultivos, enquanto que o lodo compostado podem ser aplicadas maiores doses sem causar efeitos prejudiciais às plantas. Em relação ao solo, a aplicação contínua de lodo proporcionou aumento no conteúdo de matéria orgânica e na concentração total de nitrogênio e concentração disponível de fósforo, além de reduzir sua alcalinidade. Notou-se, ainda, aumento na condutividade elétrica no extrato da pasta de saturação do solo, o que, acima de

determinados valores, pode provocar efeito negativo ao desenvolvimento das culturas. Em relação aos metais pesados, verificou-se acumulação significativa de zinco e cobre totais no *topsoil*, enquanto os demais (cromo, níquel, chumbo e cádmio) não sofreram variação significativa. Destaca-se ainda que, de forma geral, as concentrações totais de metais, após 12 anos de aplicações consecutivas do lodo de esgoto doméstico, estiveram bem abaixo do limite estabelecido na legislação ambiental pertinente.

Outra forma de poluição que tem despertado atenção é a que se refere à presença de fármacos nos subprodutos gerados nos sistemas de tratamento de efluente, especificamente quando esses são introduzidos em área agrícolas. Segundo Borgman e Chefetz (2013), a matéria orgânica atua como importante agente de retardamento e redução na mobilidade desses compostos orgânicos no solo. Assim, embora o lodo possa ser potencial fonte desses poluentes, também pode contribuir na diminuição da mobilidade de tais poluentes à medida em que fornece matéria orgânica ao meio. Em estudo conduzido pelos autores, em escala de laboratório, ficou demonstrado que a aplicação de lodo de esgoto em solos com baixa concentração de matéria orgânica reduz a mobilidade de compostos farmacêuticos, quando fertirrigado com esgoto tratado. Os autores destacaram, ainda, que as propriedades químicas da solução do solo (em especial o pH) são fatores determinantes nos processos de transporte de poluentes, mesmo quando constatada elevada concentração de matéria orgânica nesse meio.

No caso específico de recuperação de áreas degradadas (RAD), o principal objetivo da aplicação do lodo de esgoto sanitário refere-se à estruturação do solo, proporcionada pelo aporte da matéria orgânica constituinte desse subproduto (SAMPAIO *et al.*, 2012). Assim, enquanto no caso de aproveitamento do lodo em atividades agrossilvipastoris considera-se, em geral, a demanda por nutrientes (comumente o nitrogênio) de determinada cultura agrícola, para definição da dose de aplicação de lodo, no caso de RAD o referencial passa a ser a matéria orgânica. Dessa forma, a dose aplicada deverá ser função da quantidade de matéria orgânica necessária para se recuperar e aprimorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo degradado (por exemplo, áreas mineradas, erodidas ou submetidas a superpastoreio), e não apenas da demanda por nutrientes de um cultivo agrícola específico.

Essa diferença na forma de definição da dose de aplicação de lodo de esgoto implica no fato de que, para uma mesma área, a quantidade de lodo é, via de regra, superior para recuperação

de uma área degradada se comparada a de uma área agrícola, pastagem ou de silvicultura. Cabe destacar que, no caso de RAD, o lodo é aplicado, em geral, apenas uma vez durante o preparo do solo e não continuamente, como no caso de cultivo de uso agrícola intensivo. Apesar da dose de aplicação superior possibilitar, inicialmente, a incorporação de maior quantidade de substâncias potencialmente tóxicas ao solo, em longo prazo não tem sido verificados efeitos prejudiciais à microbiota do solo e às espécies vegetais plantadas (SAMPAIO *et al.*, 2012; MODESTO *et al.*, 2009).

#### **4.4 Principais leis acerca da utilização de lodo de esgoto sanitário em atividades agrossilvipastoris**

Considerando os riscos associados ao aproveitamento agrícola do lodo, faz-se necessário o estabelecimento de critérios a serem atendidos para utilização da técnica, o que é feito através de dispositivos legais, tanto no Brasil como em outros países em que se pratica essa forma de destinação final. Embora necessária, a regulação deve considerar as características do local de sua geração, como tipo de solo, fatores econômicos, tecnologias disponíveis e aspectos sanitários, evitando-se, assim, a proposição de critérios baseados na realidade de outras localidades, fato que pode configurar fator impeditivo de aplicação da técnica (JIMENEZ *et al.*, 2004; SILVA; MIKI, 2017).

No Brasil, o uso do lodo de esgoto é regulado por meio da Resolução CONAMA 375, de 2006, do Ministério do Meio Ambiente, a qual define os critérios e procedimentos para aplicação desse produto no solo com finalidade agrícola, em âmbito nacional (BRASIL, 2006). Entre as considerações que motivaram a elaboração desta resolução estão a tendência de aumento na geração do lodo em razão do crescimento populacional; potenciais riscos sanitários, devido à presença de organismos patogênicos, metais pesados, compostos orgânicos persistentes, entre outras substâncias, que podem estar presentes em concentrações nocivas à saúde pública e meio ambiente; além de incentivar o uso agrícola do lodo, por ser uma alternativa de disposição final vantajosa, quando comparado a outras práticas, tendo em vista que possibilita que se promova a reutilização de resíduos de forma ambientalmente adequada (BRASIL, 2006).

Destaca-se o fato de que, sob a ótica da CONAMA 375, o lodo é conceituado como resíduo, ao passo que em diversos países já é considerado um subproduto do tratamento de esgoto sanitário. Independentemente da concepção, observa-se que, no Brasil, há certa dificuldade de

se viabilizar o uso benéfico do lodo em solos (SILVA; MIKI, 2017; SAMPAIO, 2013), notadamente em virtude dos rigores estabelecidos na CONAMA 375 que, ao invés, de estimular, traz desestímulo à prática do aproveitamento agrícola do lodo de esgoto sanitário. Alguns autores e partes interessadas na promoção e difusão dessa técnica apontam a necessidade de revisão desta legislação, em virtude da defasagem e inadequação de alguns dos critérios estabelecidos, diante do aprimoramento das formas de beneficiamento do lodo e do melhor entendimento dos mecanismos de interação deste com o meio ambiente.

Consideradas todas as restrições impostas pela CONAMA 375, uma forma alternativa de regularização do uso do lodo de esgoto em atividades agrossilvipastoris é via o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), órgão responsável por licenciar a comercialização e o uso de insumos agrícolas, entre eles os fertilizantes orgânicos. Diferentemente da CONAMA 375, de acordo com o MAPA o lodo de esgoto é tratado como um insumo com valor agregado, seja ele fertilizante orgânico (BRASIL, 2009), seja condicionador de solo (BRASIL, 2006). Apesar das diferentes concepções em relação ao lodo de esgoto, ambas as instituições determinam os critérios de qualidade para que o material possa ser aplicado em solos, com fins benéficos.

Segundo consta na CONAMA 375, os critérios de qualidade compreendem a caracterização do material quanto ao potencial agronômico, substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas, indicadores bacteriológicos, agentes patogênicos e estabilidade bioquímica. No que se refere às culturas consideradas aptas a receberem o lodo, a resolução estabelece quais são e o período de tempo que deve ser transcorrido para utilização da área de cultivo, em cada caso. Complementarmente, devem ser observados critérios que dizem respeito à área de aplicação, como relevo, tipo de solo, localização e outros. Resumidamente, são dez aspectos locais que devem ser verificados, os quais são subdivididos em diversos critérios, os quais encontram-se apresentados e comentados, detalhadamente, no tópico Material e Métodos.

Na referida resolução estão estabelecidos, ainda, quais critérios de aplicação devem ser seguidos para o uso agrícola do lodo. O elemento químico referencial indicado é o nitrogênio, sendo o cálculo da taxa de aplicação baseado na quantidade de nitrogênio recomendado para a cultura e aquele presente no lodo, porém outros parâmetros devem ser considerados, como o pH e a concentração de substâncias inorgânicas. Além da avaliação do lodo antes da

aplicação, é necessário realizar a caracterização do solo da área proposta para o aproveitamento agrícola, sendo que, mesmo que atenda aos requisitos definidos, deve haver o monitoramento contínuo dos parâmetros indicados na resolução (BRASIL, 2006).

Dessa forma, em virtude da amplitude de critérios definidos, observa-se que o aproveitamento agrícola do lodo de esgoto ainda suscita amplas discussões envolvendo empresas de saneamento, órgãos ambientais, meio acadêmico e sociedade, de forma geral (BASTOS *et al*, 2013; SAMPAIO, 2013).

Como forma de otimizar o processo de planejamento do uso benéfico do lodo em solos, verifica-se a possibilidade de se analisar alguns dos critérios remotamente, por meio de bases de dados georreferenciadas. Esses recursos encontram grande aplicabilidade, especialmente, no que tange aos critérios locais, conforme demonstrado no item discutido a seguir. Nesse sentido, diante do desafio de avaliação de variados critérios locais, destaca-se o potencial do uso das geotecnologias para entrecruzar os dados e aplicá-los à análise do aproveitamento lodo proveniente das ETEs em solos. Ainda que o uso dessas ferramentas não dispense a análise de campo, representa importante economia de tempo, recursos pessoais e financeiros, possibilitando, ainda, maior assertividade no processo de tomada de decisão.

#### **4.5 Geotecnologias aplicadas ao gerenciamento do lodo**

Geotecnologias são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. Dentre as geotecnologias, podem ser destacadas: Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), cartografia digital, sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global (GPS, do inglês *Global Positioning System*) e a topografia (ROSA, 2005). Dentre a ampla gama de aplicações, podem ser citadas o planejamento urbano, a logística, a energia, o turismo, a agricultura, a pecuária, a silvicultura, o saneamento e o meio ambiente, salientando-se a multidisciplinaridade dessas análises.

No âmbito do presente trabalho, foi dado maior enfoque nos SIGs e ao sensoriamento remoto, entretanto, torna-se importante destacar que, de forma geral, há um fluxo intenso de dados entre as geotecnologias, de forma a se complementarem.

O Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa ao desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das

interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENESES; ALMEIDA, 2012). Essas imagens podem ser obtidas por meio de satélites, fotografias aéreas e sensores aerotransportados e, após serem captadas, são submetidas às técnicas de fotointerpretação e classificação (CÂMARA; QUEIROZ, 2001). O uso das imagens permite a identificação de alvos de interesse ao desenvolvimento de determinado estudo. Entre os principais produtos derivados do processamento de imagens estão os mapeamentos do uso e ocupação do solo, nos quais pode-se delimitar áreas urbanas, corpos d'água, áreas de vegetação natural, agricultura, pastagens, silvicultura, entre outros.

O Sistema de Informações Geográficas – SIG consiste em sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações, não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial. Faz-se necessário ressaltar que o SIG destina-se à manipulação computacional de dados obtidos por outras ferramentas, como os satélites e GPS, de tal sorte que a qualidade dos resultados alcançados está vinculada à escala dos dados inseridos no sistema (LIMA; NASCIMENTO; SAMPAIO, 2014). Dessa forma, objetiva-se tratar os dados levantados para que se tornem informações coerentes para a solução de problemas específicos, proporcionando, ainda, otimização de tempo e recursos.

Observa-se que o uso de geotecnologias aplicadas aos desafios do planejamento dos sistemas de esgotamento sanitário é relativamente recente. Ao longo desta revisão da literatura, verificou-se que um dos primeiros artigos científicos a explorar esse potencial foi aquele desenvolvido por Hendrix e Buckley (1992), no qual o SIG foi utilizado para seleção de áreas aptas ao tratamento de esgoto por meio de aplicação no solo. Entre as prerrogativas para este tipo de tratamento, estava a avaliação de fatores como topografia do local, uso do solo, tipo de solo, aceitação pública e atendimento aos critérios legais. Devido à diversidade de fatores, a seleção de áreas aptas ao propósito estabelecido era custosa e demandava longo tempo. Diante das dificuldades, os autores verificaram a possibilidade de otimizar essa etapa do planejamento por meio da aplicação das ferramentas computacionais de SIG, desde que houvesse conjunto de dados georreferenciados para tal, o que, na época, não era tão difundido como atualmente.

Desde a publicação desse artigo, há cerca de 26 anos, as ferramentas computacionais foram ampliadas, atualizadas, tornando-se cada vez mais robustas. Concomitantemente, houve

incremento na oferta de dados georreferenciados nas mais variadas áreas, contribuindo para integração e análise simultânea de diversos aspectos.

De forma a exemplificar a aplicabilidade das ferramentas de geoprocessamento, estudo conduzido por Lundin *et al.* (2004) indicou a distância média de transporte do lodo por cerca de 80 km para a disposição final do lodo em áreas agrícolas. Assim, dos custos totais relacionados ao aproveitamento agrícola do lodo, 50% compreendem apenas a etapa de transporte.

Conforme mencionado anteriormente, a distância de transporte do lodo de esgoto é um dos fatores a serem considerados na escolha da técnica de disposição final desse resíduo. Em alguns casos, as dificuldades de se encontrar áreas aptas e disponíveis para uso agrícola do lodo levam à necessidade de executar longos trajetos, acarretando em elevados custos de transporte ou mesmo inviabilizando a técnica. No Estado de São Paulo, algumas aplicações são realizadas em áreas distantes cerca de 170 km do local de geração (SAMPAIO, 2013). Neste sentido, o SIG constitui uma ferramenta de suporte à análises de viabilidade econômica do aproveitamento agrícola do lodo, ao passo que pode-se entrecruzar dados de áreas aptas ao recebimento do material, local de geração e rede de transporte, obtendo-se locais mais propícios e rotas mais adequadas de distribuição do referido subproduto.

Adicionalmente, considerando-se que efeitos negativos relacionados à aplicação do lodo de esgoto sanitário em áreas agrícolas podem ser potencializados ou mitigados, de acordo com o tipo de solo em que o material será disposto (MANTOVI; BALDONI; TODERI, 2005), a identificação do grau de sensibilidade de cada área favorece a prevenção de possíveis impactos associados à disponibilização de constituintes tóxicos ao meio ambiente e sua absorção pelas plantas e outros organismos vivos.

Assim, considerando a série de critérios locacionais definidos na resolução CONAMA 375 de 2006 e os inúmeros fatores que influenciam a seleção de áreas mais adequadas à disposição agrícola do lodo, o SIG apresenta-se como ferramenta capaz de integrar diversas bases de dados, analisando-as simultaneamente.

Um exemplo de integração de bases de dados é o trabalho desenvolvido por Albuquerque *et al.* (2015), que aplicou a análise multicritério baseada em SIG para seleção de áreas aptas à aplicação de efluente sanitário tratado e lodo de indústria de papel. Nesse trabalho os autores

consideraram aspectos como uso do solo, distâncias até corpos d'água, declividade do solo, demanda e oferta de nutrientes, distância máxima viável de transporte, entre outros. As características de cada aspecto foram classificadas como aptas ou não aptas para disposição dos subprodutos, obtendo-se, ao final, um mapa de áreas aptas em relação a todos os aspectos avaliados.

Uma das críticas ao trabalho citado anteriormente refere-se ao critério de classificação, uma vez que nele cada parcela de solo analisado seria necessariamente incluída ou excluída do mapa final. Porém, na prática, dificilmente haverá uma área perfeita para a disposição de resíduos/subprodutos considerando-se todos os critérios avaliados. Mesmo que haja, essas serão limitadas, o que pode comprometer a implementação da técnica. Ademais, em alguns casos pode ser que as características da região não sejam as ideais para a aplicação do lodo, mas também não apresentam caráter totalmente restritivo, ou seja, pode ser considerada uma área de aptidão moderada, por exemplo.

Nesse sentido, desenvolver técnicas que permitam classificar as áreas em mais níveis de aptidão pode contribuir para a sustentabilidade da técnica em longo prazo. Um exemplo prático dessa concepção seria a distância de transporte entre o ponto gerador do subproduto e a área receptora. Havendo uma distância máxima viável de transporte, qualquer distância superior a essa seria considerada inapta, ao passo que, conforme a distância reduzisse, maior seria a aptidão em relação a esse critério, visto que incorreria em menores custos de transporte do subproduto.

Trabalho desenvolvido por Souza *et al.* (2008), no estado do Paraná, explorou o uso do SIG a partir de um refinamento da classificação das áreas de disposição de lodo de esgoto, atribuindo aos aspectos avaliados 5 níveis de aptidão – aspectos estes definidos anteriormente por Souza *et al.* (1994 *apud* Souza *et al.*, 2008). No referido trabalho, os autores elaboraram o mapa de aptidão do solo para ser utilizado como ferramenta de gestão, em nível semi-detalhado, com aplicações em nível de campo, em propriedades rurais a serem receptoras de lodo de esgoto.

Similarmente, Urban e Isaac (2016) mapearam áreas aptas à aplicação de lodo de esgoto na bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. No estado de Goiás, Lessa (2010) aplicou a metodologia proposta por Souza *et al.* (2008) visando ao mapeamento de áreas aptas ao uso benéfico do lodo de esgoto em solos no entorno da ETE Goiânia, considerando duas

distâncias a partir da ETE, 20 e 46 km. No estado de Minas Gerais, pode-se constatar apenas um trabalho com concepção similar à proposta no presente estudo. No estudo, conduzido por Lima, Nascimento e Sampaio (2013), determinaram-se as áreas potenciais para aplicação de lodo de esgoto utilizando SIG no município de Montes Claros.

Um aspecto comum aos trabalhos citados refere-se à subjetividade do pesquisador na atribuição das classes aos critérios relacionados à cada aspecto, além do peso de determinado aspecto no mapeamento final. Exemplificando o problema, qual o aspecto é mais importante para a definição da aptidão do solo no que se refere ao aproveitamento do lodo de esgoto: textura do solo, tipo de relevo ou distância até áreas urbanas? A resposta a esse tipo de problema pode depender do respondente, de forma que a definição de um ponto de equilíbrio que reflita as opiniões dos diversos atores envolvidos no processo não é trivial.

Nesse sentido, Passuelo *et al.* (2011), mapearam as áreas aptas ao uso agrícola do lodo de esgoto sanitário na região da Catalunha (Espanha) baseando-se em análises multicritério (similar aos estudo citados anteriormente) e análise de sensibilidade. Segundo os autores, a segunda etapa, desenvolvida por uma série de especialistas no tema, foi de suma importância para avaliar as incertezas da classificação proposta e checar a adequabilidade do mapeamento em relação à solução do problema de seleção de áreas propícias ao aproveitamento do lodo no solo.

Mesmo com o elevado potencial de aplicação de geotecnologias ao planejamento na área de esgotamento sanitário e uso benéfico do lodo em solos, essas devem ser incorporadas ao processo como ferramenta de auxílio à tomada de decisão. De forma geral, os autores dos trabalhos mencionados anteriormente destacaram que as geotecnologias aceleram, complementam e subsidiam a etapa de planejamento dos projetos, mas não extinguem totalmente a verificação e análises de campo.

#### **4.6 Percepção social sobre o uso do lodo de esgoto sanitário nas atividades agrossilvipastoris**

Mesmo considerando os efeitos benéficos da aplicação do lodo na agricultura, não se pode dizer que haja consenso quanto à adoção espontânea da técnica por parte dos agentes envolvidos, sejam eles agricultores, órgãos ambientais ou sociedade (especialmente os residentes próximos à área de aplicação e consumidores finais dos produtos cultivados com

lodo de esgoto). É de se esperar que os responsáveis pela operação das ETEs sejam grandes interessados nessa forma de destinação, uma vez que a disponibilidade de áreas para aterramento do resíduo está reduzindo e os custos para tal são crescentes. Apesar do contexto, o uso agrícola do lodo não deve ser encarado como forma de despejo final de um resíduo no solo, mas sim como alternativa adequada de disposição final que possibilita o aproveitamento dos constituintes do lodo (SAMPAIO, 2013).

Conforme já citado, o uso do lodo em atividades agrossilvipastoris perpassa pela aceitação pública dessa alternativa. De fato, este é um dos principais aspectos a serem considerados, uma vez que, mesmo que o esgoto sanitário ou seu lodo derivado não seja exclusivamente composto por excreta humana, em geral, essa associação é feita (CHRISTODOULOU; STAMATELATOU, 2016), concorrendo para que haja rejeição desse subproduto para uso agrícola. Além do desconhecimento do que é o esgoto sanitário, muitos desconhecem os padrões de qualidade química e microbiológica dos subprodutos de uma ETE (BAGHAPOUR; SHOOSHTARIAN; DJAHED, 2017).

Segundo Lundin *et al.* (2004), a aceitação dos produtores rurais na aplicação do lodo de esgoto sanitário em áreas agrícolas deve ser fator de relevância a ser considerado quando da seleção da técnica de disposição final desse subproduto. De acordo com levantamento realizado na Suécia, cerca de 20% do custo de disposição do lodo em áreas agrícolas consistia no pagamento aos produtores para que estes recebessem e aplicassem o subproduto no solo.

Em visitas técnicas do autor desta pesquisa, realizadas no âmbito do projeto *Minas Gerais Sustainable Sewage Treatment*, pode-se observar que uma das formas de incentivo do uso agrícola do lodo na Inglaterra consiste na disponibilização, por parte da companhia de saneamento, de corpo técnico capacitado para acompanhamento e monitoramento da aplicação do lodo de esgoto sanitário nas propriedades rurais.

No cenário brasileiro, são escassas as pesquisas nas quais se avaliou a aceitação do lodo de esgoto sanitário pelos produtores rurais. Estudo realizado por Bittencourt *et al.* (2009) apresentou a experiência da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) na destinação agrícola do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto da Região Metropolitana de Curitiba, no ano de 2007. Foi observado que, em função dos efeitos benéficos ao solo e produtividade e redução nos custos de produção, houve ampla aceitação do lodo de esgoto sanitário pelos agricultores e o consequente aumento na sua demanda.

Verifica-se que não há uma regra no que se refere à aceitação ou rejeição da prática de aproveitamento agrícola do lodo de esgoto sanitário. Existem fatores que motivam, enquanto outros desestimulam, porém o peso que cada pessoa atribui aos fatores é muito variável. Entretanto, há indícios de quais fatores são os de maior preocupação social. Em geral, quanto maior a distância entre a área de aplicação do lodo de esgoto sanitário e as áreas residenciais, menor a rejeição. Ademais, os moradores de áreas próximas às áreas receptoras alegam maiores riscos à saúde e conseqüente rejeição, em situações de tratamento inadequado do lodo, além de emissão de maus odores (ROBINSON *et al.*, 2012).

Tais aspectos estão de acordo com o reportado por Case *et al.* (2017), que indicaram que as maiores barreiras ao uso de fertilizantes orgânicos, sob o ponto de vista dos agricultores, são: emissão de maus odores, incerteza quanto ao conteúdo de nutrientes (de certa forma um reflexo do grau de confiabilidade em relação à etapa de tratamento do subproduto) e dificuldade no planejamento e uso desse tipo de insumo. Apesar dos entraves, os autores indicam que os principais fatores motivadores ao uso destes fertilizantes estão relacionados aos efeitos benéficos na estrutura do solo, ao baixo custo de aquisição e disponibilidade e acessibilidade ao produto, que, de forma geral, contribui para redução dos custos de produção e aumento da renda do produtor.

Adicionalmente, em relação ao aproveitamento de subprodutos do tratamento de esgoto sanitário, a forma de contato com estes pode influenciar diretamente a aceitação, sendo que, em geral, há maior propensão ao uso em atividades em que não ocorra contato direto com o usuário (BAGHAPOUR; SHOOSHTARIAN; DJAHED, 2017) ou com o produto a ser colhido.

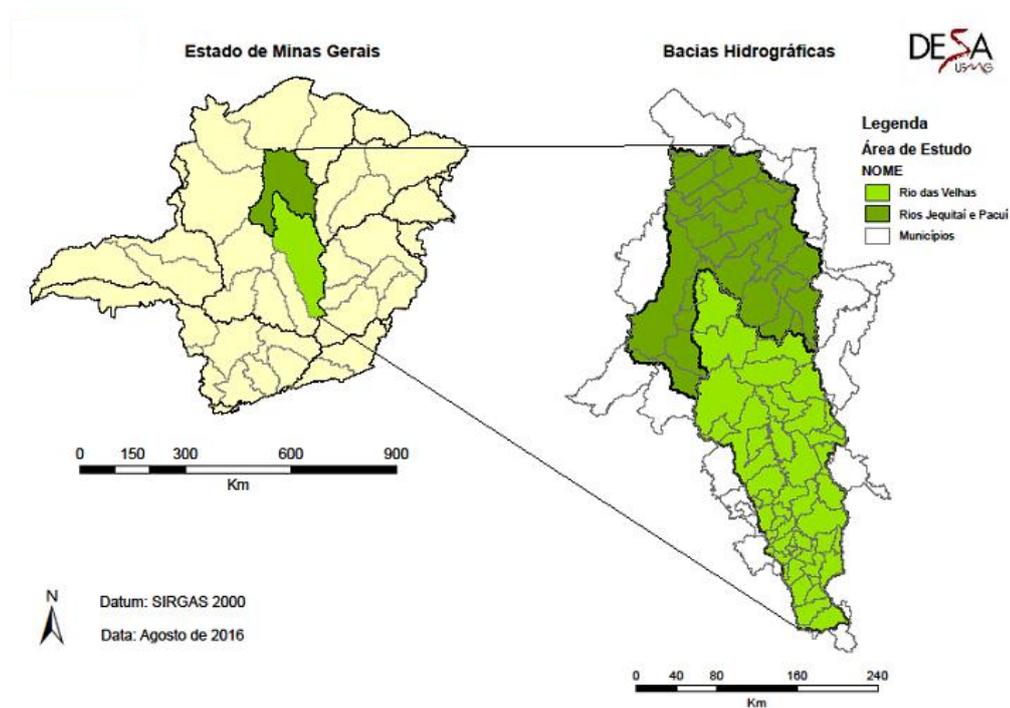
Diante do cenário diverso em relação ao aproveitamento do lodo de esgoto sanitário em atividades agrossilvipastoris ou recuperação de áreas degradadas, a comunicação e integração entre as partes interessadas e afetadas deve ser constante e eficiente. Assim, além dos critérios técnicos e econômicos, deve-se considerar também os aspectos sociais e culturais no processo de tomada de decisão, visando-se garantir o sucesso da técnica (ROBINSON *et al.*, 2012; CHRISTODOULOU; STAMATELATOU, 2016; BAGHAPOUR; SHOOSHTARIAN; DJAHED, 2017).

## 5 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1 Caracterização da área de estudo

A área de estudo compreende duas bacias hidrográficas localizadas no estado de Minas Gerais, a do Rio das Velhas e a dos rios Jequitaí, Pacuí e trecho do São Francisco, ambas sub-bacias da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, conforme ilustrado na Figura 5.1. Torna-se importante destacar que o presente estudo foi conduzido no âmbito do projeto *Capacity building for low-carbon sewage and waste management in the state of Minas Gerais*, projeto este desenvolvido com o intuito de gerar informações para que os prestadores de serviço de saneamento do estado de Minas Gerais aprimorassem os processos de tomada de decisão quanto à incorporação de estações de tratamento de esgoto existentes e futuras ao conceito de economia circular. Tendo em vista que, neste estudo, pautou-se o aproveitamento do lodo de esgoto em atividades agrossilvipastoris, temática associada ao referido conceito, optou-se por desenvolver o presente estudo na mesma área do projeto do qual foi derivado.

A área é composta por 73 municípios, sendo 55 totalmente inseridos nos limites das bacias e 5 com o território distribuídos em ambas as bacias. Considerando os portes populacionais dos municípios, verifica-se que 34 possuem menos de 10.000 habitantes, 31 entre 10.000 e 100.000 habitantes e 8 com população superior a 100.000, totalizando cerca de 5.967.700 habitantes, estando 87% deste na bacia do Rio das Velhas e 13% na bacia dos rios Jequitaí, Pacuí e trecho do São Francisco (IBGE, 2017). A seguir, estão apresentadas as características gerais de cada bacia hidrográfica avaliada, não sendo o foco do trabalho a discretização por município. Os municípios abrangidos na área de estudo, suas respectivas populações, assim como a distribuição espacial dos mesmos em ambas as bacias hidrográficas podem ser consultadas no Apêndices 1 e 2, respectivamente.



**Figura 5.1:** Localização das bacias hidrográficas dos Rios Velhas, Jequitai, Pacuí e trecho do São Francisco.

A bacia hidrográfica do Rio das Velhas, correspondente à Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – UPGRH SF5, ocupa uma área de drenagem de 29.173 km<sup>2</sup>, abrangendo 51 municípios, parcial ou totalmente inseridos nas delimitações da bacia hidrográfica. A nascente do Rio das Velhas está localizada no município de Ouro Preto, no trecho denominado Alto Rio das Velhas, a uma altitude aproximada de 1.500 m. Até sua foz, no município de Várzea da Palma – no trecho denominado Baixo Rio das Velhas, o rio percorre cerca de 807 km, desaguando no Rio São Francisco, a uma altitude de 478 m (CBH RIO DAS VELHAS, 2015). Em relação ao clima, conforme a classificação de Köppen, predominam dos tipos, sendo eles: subtropical úmido com inverno seco e verão quente (Cwa) e subtropical úmido com inverno seco e verão ameno (Cwb), nas áreas de maior altitude. Menos expressivo, porém concentrado no trecho Baixo Velhas, destaca-se o clima tropical com inverno seco (Aw), nas áreas de menor altitude da bacia, com menores índices de pluviosidade. De forma geral, nos municípios desta bacia o acumulado anual de chuvas varia entre 1575 e 1215 mm (ALVARES *et al.*, 2013).

Inserida nas mesorregiões, Central, Metropolitana, Jequitinhonha e Norte do Estado de Minas Gerais, a bacia hidrográfica SF5, especificamente os trechos Alto e Médio-Alto Rio das Velhas, compõe parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), a 3ª região

metropolitana mais populosa do país. Dos 34 municípios que constituem a RMBH, 21 fazem parte da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, dos quais 19 estão totalmente inseridos na mesma, representando cerca de 60% da área total da RMBH. Além da localização estratégica, os 19 municípios da bacia hidrográfica que fazem parte da região metropolitana são responsáveis por cerca de 73% da população total da bacia. A elevada concentração populacional, predominantemente urbana (97,4% da população total) e o notório desenvolvimento econômico são características inerentes ao trecho Alto Rio das Velhas e à área de transição para o Médio-Alto Rio das Velhas (CBH RIO DAS VELHAS, 2015).

Se, por um lado, os trechos do Alto Rio das Velhas e porção sul do Médio-Alto concentram as atividades industriais da bacia, por outro, as atividades agrossilvipastoris ocupam cerca de 45% da área total da bacia, distribuídos majoritariamente nos trechos Baixo, Médio-Baixo e parte do Médio-Alto. Além da diferenciação econômica, o segundo grupo de sub-regiões também destoa do primeiro devido à menor densidade demográfica (CBH RIO DAS VELHAS, 2015).

A UPGRH SF6 é composta pelas bacias hidrográficas do Rio Jequitaiá, do Rio Pacuí e pela bacia hidrográfica correspondente a um trecho do Rio São Francisco. Neste trabalho, tais bacias são tratadas como apenas uma unidade territorial, denominada bacia hidrográfica dos Rios Jequitaiá, Pacuí e trecho do São Francisco, ou simplesmente UPGRH SF6. Previamente à caracterização desta bacia hidrográfica, cumpre ressaltar a escassez de informações acerca da mesma, fato que impossibilitou o detalhamento de alguns aspectos abordados na caracterização da bacia hidrográfica do Rio das Velhas.

Esta bacia hidrográfica está inserida, predominantemente, na mesorregião Norte de Minas, com uma pequena área na mesorregião Central do estado. O clima da região é essencialmente tropical com verão seco (As) e tropical com inverno seco (Aw), segundo a classificação de Köppen. De forma geral, os municípios desta bacia apresentam índices pluviométricos anuais entre 1435 e 1010 mm, valores inferiores aos registrados para a bacia SF5 (ALVARES *et al.*, 2013).

Com área total de 25.129 km<sup>2</sup>, a bacia hidrográfica SF6 é responsável pela drenagem de 27 municípios, total ou parcialmente inseridos na bacia (IGAM, 2016). Embora a população da bacia esteja distribuída majoritariamente em áreas urbanas, cerca de 17% desta ainda vive em zonas rurais, valor expressivamente superior ao constatado para a bacia hidrográfica do Rio

das Velhas (IBGE, 2010). A distribuição demográfica corrobora o perfil econômico da bacia, baseado, essencialmente, nas atividades agrossilvipastoris e afins (reflorestamento, lavouras, criação de gado de leite e de corte e laticínios) (CBH JEQUITAÍ E PACUÍ, 2011)

Assim, a seleção destas bacias hidrográficas para o presente estudo abrange dois cenários distintos, porém recorrentes em Minas Gerais e até mesmo no Brasil. Isto é, a bacia hidrográfica do Rio das Velhas, em função da ocupação predominantemente urbana e do grande contingente populacional, possui elevado potencial de geração de lodo, tornando o seu gerenciamento sustentável um desafio aos gestores dos serviços de esgotamento sanitário, sejam eles públicos ou privados. Ressalvadas as características de cada região, este cenário se assemelharia ao de outros centros urbanos de grande porte do país.

No caso da bacia hidrográfica dos Rios Jequitaí, Pacuí e trecho do São Francisco, existe, *a priori*, potencial considerável de utilização do lodo de esgoto como insumo agrícola devido à relevância do setor agrossilvipastoril e, conseqüentemente, demanda por nutrientes nesta bacia hidrográfica. Entretanto, mesmo que haja a demanda, é fundamental a avaliação da oferta de lodo de esgoto sanitário, visto que a geração pode ser pulverizada em sistemas individuais ou de pequeno porte, fato que pode dificultar a gestão desse subproduto. Novamente, ressalvadas as particularidades das diversas regiões do país, esse cenário se estenderia por inúmeros municípios brasileiros.

A partir das razões mencionadas anteriormente, ambas as bacias foram escolhidas para a condução do presente estudo. Cabe enfatizar que, independentemente do cenário, caso se almeje realizar a incorporação benéfica do lodo de esgoto sanitário no solo, é fundamental avaliar a sua geração e a existência de áreas disponíveis nas proximidades dos centros geradores capazes de absorver a sua oferta. Ambos os aspectos são abordados a seguir.

## **5.2 Gerenciamento do lodo de esgoto sanitário**

Na etapa de gerenciamento do lodo de esgoto avaliou-se tanto o quantitativo gerado quanto a forma de sua destinação final, praticada quando da coleta dos dados, nos anos de 2016 e 2017.

### **5.2.1 Geração de lodo de esgoto doméstico na área de estudo**

Os dados de geração de lodo de esgoto sanitário foram obtidos para cada ETE de forma direta ou indireta. A forma direta contemplou duas abordagens: i) solicitação dos dados referentes à

cada ETE aos responsáveis pela operação do sistema de esgotamento sanitário e; ii) visitas de campo às ETEs, acompanhados dos responsáveis pela operação do sistema. Em virtude da extensão da área de estudo, número de municípios e limitações de prazo e financeiras, priorizou-se a visita de campo nos sistemas de esgotamento sanitário geridos pelas autarquias municipais e por administração direta. Dentre os dados levantados estão localização da ETE, fluxograma de tratamento da fase líquida, vazão média de operação, produção de lodo desaguado e método de desaguamento do lodo.

Na forma indireta, os dados de cada ETE foram obtidos, parcialmente ou integralmente, a partir de dados secundários, como: relatórios ambientais, projetos das ETEs, estudos ambientais, processos de licenciamento ambiental e imagens de satélite, no caso específico da localização das ETEs. Esta complementação de informações se fez necessária nos casos em que o operador do sistema de esgotamento sanitário não possuía os dados solicitados. Nesses casos, a geração de lodo foi calculada a partir de coeficientes de produção de lodo seco *per capita*, de acordo com o fluxograma de tratamento da fase líquida (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014), e equivalente populacional – este por sua vez calculado conforme Equação 5.1.

$$EP \text{ (habitantes)} = \frac{\text{Vazão de esgoto (L/dia)}}{\text{Consumo de água per capita } \left(\frac{L}{\text{hab. dia}}\right) * 0,8} \quad (5.1)$$

Para consolidação dos dados de geração de lodo de esgoto sanitário, realizou-se, quando necessário, a conversão do quantitativo de lodo seco em lodo desaguado, e vice-versa. Para tal, foram adotados valores típicos de teor de sólidos de acordo com as tecnologias de desaguamento de lodo gerados nas ETEs analisadas, a saber, leito de secagem, 35%, e centrífuga, 25% (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014).

A título de organização e comparação dos resultados, as ETEs identificadas foram classificadas de acordo com a tipologia de tratamento e equivalente populacional. Na primeira clivagem, as ETEs foram agrupadas de acordo com a principal unidade de tratamento do sistema, sendo:

- Lagoas de estabilização: neste grupo estão representados os sistemas que utilizam lagoas como principal unidade de tratamento do esgoto. Em sistemas em que as lagoas são

empregadas como pós-tratamento de outras unidades, que não outras lagoas, foram agrupadas na classe correspondente à principal unidade de tratamento;

- Lodos ativados: este grupo compreende tanto os sistemas de lodos ativados convencional quanto os de aeração prolongada;
- Reatores UASB: neste grupo estão representados os sistemas compostos por reatores anaeróbios, notadamente os reatores UASB, seguidos ou não de pós-tratamento. Reatores anaeróbios de fluxo ascendente e reatores anaeróbios de leito fluidificado, apesar da nomenclatura distinta, também compõem este grupo por se tratarem de reatores anaeróbios com aspectos similares aos reatores UASB.
- Tanques sépticos seguidos de filtro anaeróbio: este grupo compreende as ETEs que operam com tanque séptico seguido de filtro anaeróbio.

Na segunda classificação, as ETEs foram segregadas de acordo com seu equivalente populacional (EP). Este corresponde ao número de habitantes atendidos por determinada ETE, calculado conforme a Equação 5.1.

A vazão de esgoto utilizada correspondeu à vazão de operação informada pelo operador da estação ou, quando esta informação não estava disponível, à vazão de projeto da ETE. O consumo médio de água foi obtido em consulta ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2017) e multiplicado pelo coeficiente de retorno água/esgoto de 0,8 (VON SPERLING, 2014). Os resultados foram enquadrados nas seguintes classes:

- $EP \leq 10.000$ : ETE de pequeno porte;
- $10.000 < EP \leq 100.000$ : ETE de médio porte;
- $EP > 100.000$ : ETE de grande porte.

Por fim, como se pode observar, os resultados obtidos englobaram, parcialmente, estimativas para alguns sistemas. Buscou-se minimizar tais incertezas a partir do nível de detalhamento descrito anteriormente. Assim, na apresentação e discussão dos resultados, ao se mencionar vazão de esgoto tratado e geração de lodo de esgoto estão implícitas as simplificações assumidas para os casos em que não se conhecia, efetivamente, a real vazão de operação.

## 5.2.2 Destinação atual do lodo de esgoto sanitário

Assim como na etapa anterior, em alguns casos a forma de destinação do lodo de esgoto foi indicada diretamente pelo responsável pela operação do sistema de esgotamento sanitário, enquanto em outros, acessou-se a informação de forma indireta, por meio de consulta a diversas bases de dados. Em casos específicos, mesmo as informações prestadas diretamente pelo operador do sistema passaram por um processo de conferência, em virtude da divergência de informações ou informações incompletas. Exemplificando, houve situações em que foi informado apenas “destinação do lodo em aterro”, não distinguindo entre controlado ou sanitário, o que tornou necessária a verificação da tipologia deste. Além dessas situações, houve caso do aterro sanitário informado não estar em operação e ainda, casos em que a destinação era desconhecida.

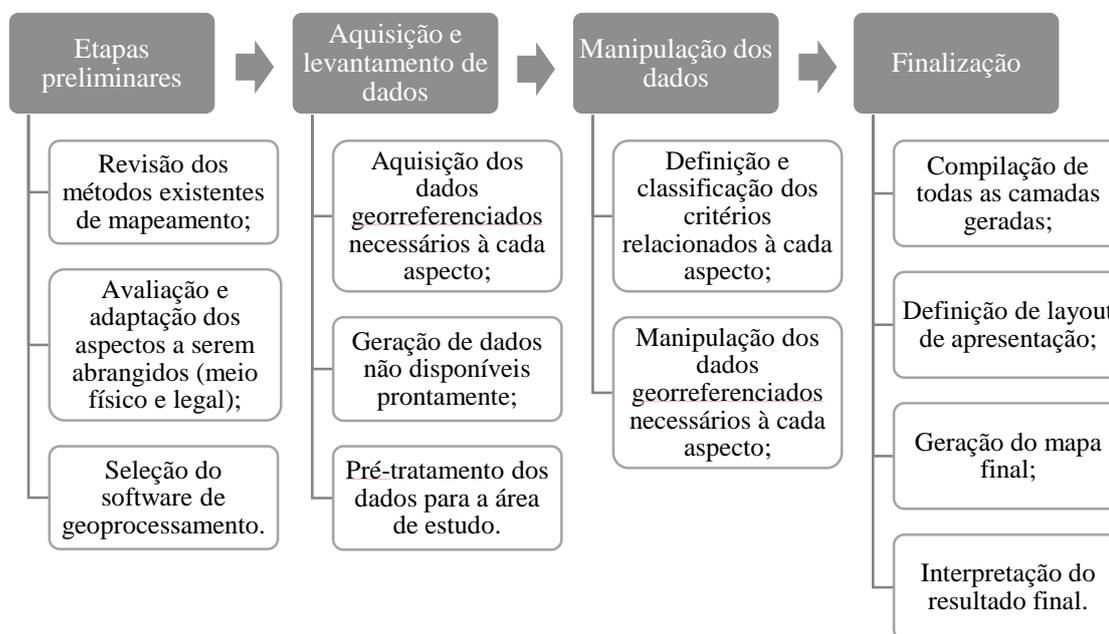
Após a coleta de dados, consolidaram-se os resultados acerca da destinação do subproduto em cinco categorias: “aterro sanitário”, “aterro controlado”, “aterro na própria ETE”, “desconhecido” e “não considerado”. A categoria “desconhecido” compreende as seguintes situações relacionadas à disposição final do lodo de esgoto sanitário: i) informação não fornecida pelo prestador; ii) informação indisponíveis ou inexistente nos dados secundários consultados e; iii) incoerência entre o informado/consultado e a realidade (como no caso do aterro sanitário informado não estar em operação). Já a categoria “não considerado” foi estabelecida para as ETEs em que são adotadas lagoas para o tratamento do esgoto. Como a remoção do lodo nestas unidades ocorre em longos intervalos de tempo e, em geral, de forma não sistematizada, os operadores do sistema não souberam informar qual a destinação do lodo quando da sua remoção das lagoas.

Destaca-se que o aterro controlado não constitui forma de destinação ambiental e legalmente adequada e os aspectos operacionais para se aterrar, adequadamente, o lodo na própria ETE pode inviabilizar essa prática. Ademais, tendo-se constatado casos de destinação de lodo de esgoto desconhecida, realizou-se uma etapa complementar ao diagnóstico, identificando-se os possíveis locais de destinação final do lodo gerado, notadamente, os aterros sanitários licenciados pelo órgão ambiental competente. Para isso, acessou-se o Sistema Integrado de Informação Ambiental (SIAM), portal público de consulta a processos ambientais, especificamente na seção de acervo de processos de licenciamento ambiental (SEMAD, 2017). Entretanto, como nem todos os processos referentes aos aterros sanitários consultados estavam disponíveis, solicitou-se à Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) a listagem

dos aterros sanitários licenciados em MG e suas respectivas coordenadas geográficas. De posse da listagem dos aterros sanitários aptos ao recebimento do lodo de esgoto, essa informação contribuiu na avaliação das alternativas potenciais de destinação desse subproduto.

### 5.3 Mapeamento de áreas aptas ao aproveitamento agrícola do lodo de esgoto sanitário

O aproveitamento benéfico do lodo de esgoto sanitário no solo consiste em técnica de destinação que, além de promover a disposição final, permite a recuperação de nutrientes e matéria orgânica. Apesar de consolidada e amplamente difundida, não pode ser encarada como o simples despejo do lodo em áreas afastadas. Nesse sentido, a identificação de áreas aptas à disposição do lodo de esgoto no solo, com vistas ao seu aproveitamento em atividades agrossilvipastoris, perpassa por diversos aspectos relacionados às características do meio físico, assim como a observância aos critérios legais. Uma vez que o objetivo desta etapa consiste no desenvolvimento de um mapa de aptidão do solo para o aproveitamento do lodo, quanto mais critérios puderem ser avaliados, mais refinado e robusto será o produto final obtido. A sequência metodológica empregada nesta etapa segue apresentada no fluxograma da Figura 5.2.



**Figura 5.2** - Delineamento metodológico da etapa de mapeamento de áreas aptas ao uso do lodo de esgoto em atividades agrossilvipastoris.

### 5.3.1 Embasamento metodológico e aquisição dos dados georreferenciados

As principais metodologias utilizadas para a integração e avaliação dos aspectos que compõem o meio físico foram descritos no item revisão da literatura. Dentre elas, elencou-se aquela proposta por Souza *et al.* (2008) como a mais apropriada, visto que foi desenvolvida para o território brasileiro, aplicada em uma área superior à do presente estudo – Estado do Paraná e, ainda, foi corroborada por outros autores em situações diversas. Segundo esta metodologia, cada aspecto avaliado é classificado em uma das cinco classes estabelecidas, sendo I a classe de maior aptidão e V a classe de inaptidão.

Destaca-se que para as condições e propósito do presente estudo foram necessárias algumas adaptações, especificamente devido às características das bases de dados disponíveis para o Estado de Minas Gerais e aspectos legais não abordados na metodologia original. Tais adaptações estão descritas, detalhadamente, nos tópicos seguintes.

Os dados georreferenciados foram obtidos a partir de ampla gama de bases de dados, entre os anos de 2016 a 2017. Os formatos consistem em arquivos tipo matriz (*raster*) e vetor (*shapefile*), compatíveis com o *software* de manipulação empregado no estudo, o *ArcGIS 10.4.1*. Para os casos em que determinado dado não se encontrava disponível, foi necessário o levantamento, como no caso de núcleos populacionais. Neste levantamento, utilizou-se técnicas de interpretação de imagens obtidas por sensores remotos e digitalização em tela, sendo que as imagens utilizadas foram as disponibilizadas pelo *software Google Earth Pro 7.1*.

Posteriormente, realizou-se um pré-tratamento dos dados, cuja primeira etapa consistiu na transformação dos referenciais geodésicos e sistemas de projeção, conforme parâmetros oficiais adotados no Brasil (UFRGS, 2005). Assim, todas as bases foram padronizadas para o Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS 2000), projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), fuso 23, zona K. Em seguida, todas as bases de dados foram delimitadas para área de estudo. Em alguns casos, mais de uma base compuseram determinado aspecto, o que exigiu ferramentas de união e exclusão de feições repetidas. Ao final, para cada aspecto foram selecionadas as bases necessárias ao mapeamento.

### **5.3.2 Aspectos legais abrangidos no mapeamento**

A referência normativa para o aproveitamento de lodo de esgoto em atividades agrossilvipastoris é a resolução CONAMA 375, de 2006, que define os critérios e procedimentos para tal (BRASIL, 2006). Conforme descrito na revisão bibliográfica, diversos são os requisitos legais para a aplicação do lodo de esgoto sanitário. Dentre eles, o foco do presente trabalho são as restrições locacionais e de aptidão do solo das áreas de aplicação, relacionados na seção V, artigo 15, visto que, salvo algumas limitações, são passíveis de avaliação por meio de dados georreferenciados. A seguir, estão descritos, brevemente, os aspectos locacionais relacionados na resolução, assim como os procedimentos metodológicos adotados.

#### 5.3.2.1 Unidades de Conservação

Conforme o Inciso I, artigo 15, não é permitida a aplicação do lodo de esgoto sanitário em Unidades de Conservação (UC), com exceção das Áreas de Proteção Ambiental (APAs). A base de dados para este aspecto foi obtida junto ao Instituto Estadual de Florestas (IEF, 2017), referente ao ano de 2017. Foram selecionadas apenas as UCs de proteção integral, sendo atribuído a classe V a essas, enquanto às demais, classe I.

#### 5.3.2.2 Áreas de Preservação Permanente

De acordo com o Inciso II, artigo 15, não é permitida a aplicação do lodo de esgoto sanitário em Áreas de Preservação Permanente (APPs). Tais áreas são definidas conforme a Lei Federal 12.651, de 2012, conhecida como Código Florestal. Sucintamente, as APPs são áreas urbanas ou rurais, protegidas por lei, cobertas ou não por vegetação nativa, com função ambiental de preservar e proteger os recursos hídricos, o solo, a paisagem e biodiversidade (BRASIL, 2012). Nem todas as classes de APP foram aplicáveis à área de estudo. Além disso, foram adotadas algumas simplificações para sua delimitação em função da ausência de detalhamento da base de dados.

Para as nascentes e cursos d'água, utilizou-se a base hidrográfica disponibilizada pelo IBGE (2015). Considerou-se “nascente” cada ponto a partir do qual se iniciava um curso d'água, sendo a APP delimitada pelo raio de 50 m a partir dessa nascente. Já para os cursos d'água, a APP é proporcional à largura dos mesmos. Como não havia essa informação na base consultada e não seria viável seu levantamento para cada curso d'água, realizou-se uma inspeção visual dos maiores cursos d'água da área de estudo a partir de imagens de satélite e

verificou-se que apenas o Rio São Francisco possui, em alguns trechos, largura superior a 200 m. Assim, para o Rio São Francisco considerou-se a APP de 200 m, enquanto nos demais, mesmo aqueles de largura inferior a 10 m (cuja APP seria de 30 m), adotou-se a APP de 100 m.

No caso dos lagos e lagoas naturais, a APP é proporcional à área e localização do espelho d'água, sendo que em áreas rurais a APP é de 100 m, para espelhos d'água com área superior a 20 ha, e 50 m, para os demais. Para os espelhos d'água localizados em áreas urbanas, sua respectiva APP é de 30 m, independentemente de sua área. Ademais, de acordo com o Código Florestal, as APPs no entorno de reservatórios artificiais são aquelas definidas pelo órgão ambiental no ato do licenciamento da obra/empreendimento. Como o critério de urbanização é dinâmico, não se dispunha desta informação e não seria viável a análise do licenciamento de cada reservatório (mesmo que existisse para todos os reservatórios artificiais), assumiu-se apenas o critério de área, tanto para áreas rurais quanto urbanas. Como as bases de dados empregadas nesta fase (IEDE, 2014; ANA, 2016), não discernem a tipologia (lagoa, lago ou reservatório), este critério também não foi considerado.

A definição de APP de topo de morros, montes, montanhas e serras seguiu a metodologia proposta por Oliveira e Fernandes Filho (2016), utilizando-se a ferramenta de delimitação automática *TopoMAPP*, disponibilizada pelos referidos autores. O parâmetro de entrada para a ferramenta foi o Modelo Digital de Elevação (MDE) *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), fornecido pelo *U.S. Geological Survey* (USGS, 2014). Trata-se de uma base gratuita de dados altimétricos com resolução espacial de 30 m. Esta mesma base de dados foi utilizada para a delimitação do último tipo de APP considerado neste trabalho, as áreas de altitude. Nesta categoria, são consideradas de preservação permanente as áreas de altitude superior a 1.800 m.

Assim, para todas as categorias de APPs abrangidas no presente estudo foi realizado o enquadramento de aptidão do solo, sendo que as APPs foram classificadas como classe V, enquanto as demais áreas, como classe I.

#### 5.3.2.3 Áreas de Proteção aos Mananciais

Segundo Inciso III, artigo 15, as Áreas de Proteção aos Mananciais (APMs) são definidas por legislações estaduais e municipais. Na mesma base de dados empregada no mapeamento das UCs (IEF, 2017), havia esta categoria de áreas protegidas. Porém, como a aplicação do lodo

de esgoto nestas áreas fica a critério do órgão ambiental competente, não foi possível defini-las como aptas ou não, ficando, assim, à margem do mapeamento realizado.

#### 5.3.2.4 Fontes de águas minerais, balneários e estâncias de águas minerais e potáveis

Está estabelecido, conforme Inciso IV, artigo 15, que no interior da zona de transporte para fontes de águas minerais, balneários e estâncias de águas minerais e potáveis, definidos na Portaria 31 do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), de 1998, não é permitida a aplicação de lodo de esgoto. Zona de transporte é definida como a aquela entre a área de recarga do aquífero e o ponto de captação e que determina o intervalo de tempo para que uma contaminação, ocorrida na área de recarga, atinja o ponto de captação. Como não foram encontradas informações georreferenciadas que fazem menção à zona de transporte, utilizou-se a base de dados com as fontes de águas minerais e de mesa, disponibilizada pelo Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE) (DNPM, 2017). Os dados obtidos foram organizados e filtrados, selecionando-se apenas os polígonos referentes às áreas de exploração de água mineral que estavam ativos quando do desenvolvimento do trabalho.

#### 5.3.2.5 Áreas próximas a poços rasos e residências

No Inciso V, artigo 15, está estabelecido que o lodo de esgoto sanitário não pode ser aplicado em áreas com distância inferior a 100 m de poços rasos e residências. Este é um importante aspecto a ser considerado, haja vista os possíveis incômodos que podem causar à vizinhança advindos da aplicação do lodo. Em que pese a sua relevância, não foi encontrada base de dados com poços rasos e residências mapeadas. Assim, realizou-se o mapeamento de núcleos populacionais, uma vez que a delimitação de cada residência não seria possível em função da dimensão da área de estudo e do caráter dinâmico das ocupações humanas. Neste trabalho, entende-se que núcleos populacionais são aglomerados de residências, em área rural ou urbana, passíveis de serem identificadas através de interpretação visual de imagens de satélites, disponibilizadas por meio do *software Google Earth Pro 7.1*. Apesar da subjetividade do operador nesse tipo de técnica, em geral, os aglomerados consistiram no agrupamento superior a 10 edificações (aparentemente residenciais) distribuídas em áreas superiores a 2 ha.

#### 5.3.2.6 Áreas próximas a vias e drenos de água

De acordo com o que está estabelecido no Inciso VI, artigo 15, não é permitida aplicação de lodo de esgoto sanitário a uma distância mínima de 15 m de vias de domínio público e de

drenos de água. No caso deste, não foi encontrada base de dados georreferenciada, enquanto para aquele, utilizou-se duas bases complementares. Por meio do portal VGEO (Visualizador de Informações Geográficas), do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2016), foram acessadas as rodovias estaduais e federais de MG. Concomitantemente, foi solicitada ao Departamento de Estrada e Rodagem de MG (DER) uma listagem mais recente das rodovias cadastradas no sistema estadual (DER, 2017). Assim, ambas as bases compuseram a camada final de vias públicas empregadas neste estudo.

#### 5.3.2.7 Limitações conforme declividade da área agrícola

Na resolução, no Inciso VII, artigo 15, definem-se as áreas aptas à aplicação do lodo de esgoto sanitário conforme a declividade da área e o método de sua disposição no solo. Apesar de ser um critério importante a ser seguido, entende-se que essa indicação deve ser contemplada no planejamento e no preparo da área, que dependerá, além da declividade, do manejo do solo, do tipo de cultura, possibilidade de mecanização, entre outros fatores. Dessa forma, não cabe indicar a possibilidade ou não de aplicação de lodo de esgoto sanitário no solo no mapeamento ora proposto, ficando essa decisão a cargo do proprietário rural e responsável técnico habilitado.

#### 5.3.2.8 Parcelas representativas de solos rasos

Segundo consta no Inciso VIII, artigo 15, em parcelas de solos com menos de 50 cm de espessura até o horizonte C não é permitida a aplicação de lodo de esgoto sanitário. Não foi encontrada base de dados que indicasse a profundidade do solo na área em estudo. Como alternativa, utilizou-se o mapa de solos de MG (FEAM; UFV, 2010), no qual estão indicados os tipos de solos rasos. Embora esta base de dados não informe a profundidade do solo até o horizonte C, estabeleceu-se que os solos rasos seriam classificados como inaptos (classe V) e os demais aptos (classe I). Ressalta-se que essa foi uma adaptação para atendimento ao critério definido na legislação, porém outras características relativas ao solo e relevo foram incorporadas no mapeamento, sendo descritas no tópico seguinte.

#### 5.3.2.9 Profundidade do lençol freático

O lodo de esgoto sanitário não poderá ser aplicado em áreas cuja profundidade até o lençol freático seja inferior a 1,5 m, na cota mais baixa do terreno (Inciso IX, artigo 15). Este é um critério de suma relevância para o planejamento da aplicação do lodo de esgoto sanitário. Contudo, uma vez que essa distância (superfície – nível d'água subterrânea) pode se alterar ao

longo do tempo, devido, por exemplo, à sazonalidade do regime hídrico e demanda por água no entorno da área, entende-se que este é um critério que deva ser verificado localmente antes da aplicação do lodo. Como forma de auxílio à identificação de áreas potencialmente inaptas à disposição de lodo, utilizou-se o mapa de solos de MG (FEAM; UFV, 2010) como indicativo desse critério. Nesse caso, os solos com características hidromórficas foram classificados como inaptos (classe V) e os demais como aptos (classe I).

#### 5.3.2.10 Restrições determinadas por órgãos ambientais e de agricultura competentes

De acordo com o Inciso X, artigo 15, em áreas agrícolas definidas como não adequadas por decisão motivada dos órgãos ambientais e de agricultura competentes não é permitida a aplicação de lodo de esgoto sanitário. Não foi encontrada base de dados correspondente a essa restrição, logo a mesma não foi contemplada no mapeamento final.

### **5.3.3 Características geomorfológicas incorporadas ao mapeamento**

Até a etapa anterior, a classificação dos solos da área de estudo seguiu-se um critério dicotômico, ou seja, sem restrição legal, portanto totalmente apto (classe I), ou inapto (classe V) devido a impedimentos relacionados na CONAMA 375. Entretanto, além dos critérios legais, outros aspectos influenciam a aptidão do solo para a aplicação do lodo de esgoto sanitário, aspectos esses que, para serem incorporados ao mapeamento, devem estar disponíveis por meio de dados georreferenciados. Assim, os fatores considerados neste trabalho foram aqueles elencados por Souza *et al.* (2008), com exceção da drenagem e fertilidade, visto que essas informações não estavam disponíveis para o Estado de Minas Gerais. As bases de dados utilizadas nesta etapa foram o mapa de solos de MG (FEAM; UFV, 2010) e o MDE SRTM (USGS, 2014). Em virtude da escala adotada na base de dados (1:600.00), foi comum que determinada unidade de mapeamento fosse composta por mais de um tipo de solo. Nesses casos, a classificação foi baseada nos solos mais representativos daquela unidade de mapeamento e não somente no tipo de solo predominante de determinada unidade.

A listagem dos fatores, os critérios adotados e a classe atribuída conforme o grau de limitação são apresentados na Tabela 5.1.

**Tabela 5.1** – Aspectos e respectivos critérios e limitações para aplicação de lodo de esgoto sanitário no solo.

<b>Aspecto</b>	<b>Critério</b>	<b>Grau de limitação</b>	<b>Classe</b>
Profundidade	Latossolo, cambissolo ou argissolos profundos	Nulo	I
	Cambissolos ou argissolos pouco profundos	Moderado	III
	Neossolos litólicos ou outras unidades de solos rasos	Forte	IV
Textura	Textura argilosa (35-60 % de argila)	Nulo	I
	Textura muito argilosa (> 60 % de argila)	Ligeiro	II
	Textura média (15-35 % de argila)	Moderado	III
	Textura siltosa (< 35 % de argila e < 15 % de areia)	Forte	IV
	Textura arenosa (< 15 % de argila)	Muito forte	V
Susceptibilidade à erosão	Solos em relevo plano ou latossolos argilosos em relevo ondulado	Nulo	I
	Outros solos em relevo suave ondulado	Ligeiro	II
	Solos textura média ou siltosa em relevo suave ondulado. Solos com textura argilosa em relevo ondulado	Moderado	III
	Solos de textura média ou arenosa e/ou caráter abrupto em relevo ondulado. Solos de textura muito argilosa em relevo forte ondulado	Forte	IV
	Solos de textura média em relevo forte ondulado. Relevo montanhoso ou escarpado independente da classe textural	Muito forte	V
Relevo	Relevo plano (0-3 %)	Nulo	I
	Relevo suave ondulado (3-8 %)	Ligeiro	I
	Relevo ondulado (8-20 %)	Moderado	III
	Relevo forte ondulado (20-45 %)	Forte	IV
	Montanhoso ou escarpado (> 45 %)	Muito forte	V
Pedregosidade	Solos sem fase pedregosa	Nulo	I
	Solos sem fase pedregosa com presença de cascalho	Moderado	III
	Solos com citação de pedregosidade	Muito forte	V
Hidromorfismo	Solos sem indicação de hidromorfismo	Nulo	I
	Solos com indicação de hidromorfismo	Muito forte	V

Fonte: Adaptado de Souza et al. (2008).

Como pode-se observar, as características do solo e do relevo podem influenciar de maneira mais ou menos acentuada a aptidão da área ao aproveitamento do lodo de esgoto sanitário. Por essa razão, nesta etapa foram adotados mais níveis de classificação, de acordo com o grau de limitação relacionado a cada critério.

### 5.3.4 Compilação dos dados e geração do mapa final de aptidão do solo ao aproveitamento do lodo de esgoto sanitário

Nas etapas anteriores foram geradas quinze camadas, ou mapas, que poderiam ser consultadas de forma independente, cada uma correspondendo a um dos aspectos avaliados e com aptidão do solo à aplicação do lodo variando de I (mais apto) a V (inapto). Contudo, avaliar cada camada separadamente seria trabalhoso e com maior probabilidade de se incorrer em erros. Logo, foi realizada a sobreposição de todas as camadas geradas, de forma que o valor de cada *pixel* do mapa final de aptidão do solo ao aproveitamento do lodo correspondeu ao valor da camada mais restritiva. Na Tabela 5.2 estão sintetizados todos os aspectos avaliados com seus respectivos critérios, classes e bases de dados utilizadas no estudo.

**Tabela 5.2:** Listagem de aspectos, critérios e base de dados utilizados para a classificação da aptidão do solo ao uso do lodo de esgoto sanitário.

Aspecto	Critério	Classe	Fonte
Distância até cursos d'água <sup>1</sup>	Área não restrita por lei	I	IBGE, 2015
	Área restrita por lei	V	
Distância até nascentes <sup>1</sup>	> 50 m	I	IBGE, 2015
	< 50 m	V	
Lagos e reservatórios <sup>1</sup>	Área não restrita por lei	I	IEDE, 2014; ANA, 2016
	Área restrita por lei	V	
Altitude <sup>1</sup>	< 1.800 m	I	USGS, 2014
	> 1.800 m	V	
Topo de morros <sup>1</sup>	Área não restrita por lei	I	USGS, 2014
	Área restrita por lei	V	
Unidades de Conservação	Dentro da unidade	V	IEF, 2017
	Fora da unidade	I	
Extração de água mineral	Área declarada	V	DNPM, 2017
	Área não declarada	I	
Distância até vias	< 15 m	V	DNIT, 2016
	> 15 m	I	
Distância até núcleos populacionais	< 100 m	V	Imagens Google Earth <sup>2</sup>
	> 100 m	I	
Profundidade	Latossolo, cambissolo ou argissolos profundos	I	FEAM; UFV, 2010
	Cambissolos ou argissolos pouco profundos	III	
	Neossolos litólicos ou outras unidades de solos rasos	IV	

Aspecto	Critério	Classe	Fonte
Textura	Textura argilosa (35-60 % de argila)	I	FEAM; UFV, 2010
	Textura muito argilosa (> 60 % de argila)	II	
	Textura média (15-35 % de argila)	III	
	Textura siltosa (< 35 % de argila e < 15 % de areia)	IV	
	Textura arenosa (< 15 % de argila)	V	
Susceptibilidade à erosão	Solos em relevo plano ou latossolos argilosos em relevo ondulado	I	FEAM; UFV, 2010
	Outros solos em relevo suave ondulado	II	
	Solos textura média ou siltosa em relevo suave ondulado. Solos com textura argilosa em relevo ondulado	III	
	Solos de textura média ou arenosa e/ou caráter abrupto em relevo ondulado. Solos de textura muito argilosa em relevo forte ondulado	IV	
	Solos de textura média em relevo forte ondulado. Relevo montanhoso ou escarpado independente da classe textural	V	
Relevo	Relevo plano (0-3 %)	I	USGS, 2014
	Relevo suave ondulado (3-8 %)	I	
	Relevo ondulado (8-20 %)	III	
	Relevo forte ondulado (20-45 %)	IV	
	Montanhoso ou escarpado (> 45 %)	V	
Pedregosidade	Solos sem fase pedregosa	I	FEAM; UFV, 2010
	Solos sem fase pedregosa com presença de cascalho	III	
	Solos com citação de pedregosidade	V	
Hidromorfismo	Solos sem indicação de hidromorfismo	I	FEAM; UFV, 2010
	Solos com indicação de hidromorfismo	V	

3. Área de Preservação Permanente, delimitada de acordo com o Código Florestal Federal, Lei 12.651, de 2012 (BRASIL, 2012)

4. Polígonos de delimitação dos núcleos populacionais obtidos por meio de digitalização em tela das imagens disponibilizadas pelo software *Google Earth Pro*.

Fonte: Adaptado de Brasil (2006) e Souza et al. (2008)

Assim, o resultado final e os aspectos relacionados ao aproveitamento do lodo foram distribuídos nas seguintes classes:

- Classe I: áreas de aptidão muito alta, sem restrições ao uso do lodo;
- Classe II: áreas de alta aptidão, sem restrições ao uso do lodo;
- Classe III: áreas de aptidão regular, sem restrição ao uso do lodo;
- Classe IV: áreas de uso restrito de lodo. Aplicação poderá ser realizada desde que adotadas medidas de controle e mitigação de riscos;

- Classe V: áreas inaptas à aplicação de lodo.

#### **5.4 Percepção dos produtores rurais em relação ao lodo de esgoto**

Uma vez que inúmeros fatores podem influenciar, positiva ou negativamente, a percepção dos produtores rurais em relação ao lodo e que o peso de cada fator pode variar de acordo com a região, tipo de manejo do solo e de cultivo, e mesmo de acordo com as experiências e convicções de cada indivíduo, verificou-se a necessidade utilização métodos qualitativos, visando a explorar as subjetividades acerca do tema.

##### **5.4.1 Planejamento da pesquisa qualitativa**

Esta etapa da pesquisa foi realizada em conjunto com a equipe do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (DESA/UFMG) e uma consultora, cientista social, com *expertise* na área de pesquisas qualitativas. Já nas primeiras reuniões, durante o planejamento da pesquisa, ficou clara a opção pelo método de Grupo Focal. Chegou-se a aventar a possibilidade de realização de entrevistas individuais em profundidade, porém algumas particularidades penderam para os grupos focais. Inicialmente, a percepção em relação ao lodo de esgoto sanitário é um tema pouco explorado, especialmente na área de estudo. Ademais, não seria incomum que algum dos produtores não soubesse do que se trata lodo de esgoto sanitário, haja vista que este é um subproduto mais notável em áreas urbanas devido à elevada geração – no meio rural predominam soluções individuais de esgotamento. Nesse sentido, o entendimento foi de que a discussão em grupo estimularia a troca de informações entre os participantes, contribuindo para a emergência de temas não rastreados inicialmente pelos pesquisadores e, por fim, para a própria dinâmica da discussão.

Assim, selecionada a metodologia, foram definidos o escopo da pesquisa e o local de realização do grupo focal piloto. O grupo focal foi considerado piloto devido ao caráter exploratório da pesquisa. Uma vez que não foi encontrada na literatura experiência similar à desta proposta, o grupo focal piloto permitiu aferir se a metodologia desenvolvida cumpriu o propósito da pesquisa, possibilitando ajustes para futuros estudos, conforme as necessidades. Neste ponto, cabe um adendo ao fato de que no planejamento inicial estavam previstos quatro grupos focais, dois em cada bacia hidrográfica analisada. Por questões relacionadas à obtenção da listagem de produtores, logística e prazo, não foi possível a execução dos quatro grupos inicialmente previstos.

Logo após a definição do escopo da pesquisa iniciou-se o processo de avaliação dos aspectos éticos da pesquisa, haja vista que a mesma previa o envolvimento de seres humanos. Nesta etapa, foi necessário o registro eletrônico da pesquisa na Plataforma Brasil, base nacional e unificada de registros de pesquisas envolvendo seres humanos, para que o Comitê de Ética em Pesquisa pudesse acompanhar o estudo em seus diferentes estágios – desde sua submissão até a aprovação final. Toda a etapa qualitativa da pesquisa foi conduzida conforme a Resolução 466/2012, do Conselho Nacional de Saúde (DOU, 2013) e orientações indicadas na Plataforma Brasil (2015). A submissão inicial da pesquisa foi realizada em 20/09/2017, sendo necessários os seguintes documentos: i) termo de compromisso; ii) folha de rosto preenchida; iii) parecer consubstanciado do DESA/UFMG; iv) termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) e v) escopo do estudo. Após uma rodada de revisão e adequações, o projeto foi aprovado em 09/11/2017, conforme indicado no parecer consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa número 2.373.974 (Apêndice 3).

#### **5.4.2 O grupo focal**

##### **5.4.2.1 Local**

Após o planejamento inicial, decidiu-se, pela realização de apenas um grupo focal junto a produtores de municípios da região metropolitana de Belo Horizonte, componentes da Bacia do Rio das Velhas, sendo eles: Nova Lima (município polo), Sabará, Rio Acima e Raposos. A seleção dos municípios baseou-se nos seguintes critérios: i) presença de ETEs e consequente geração de lodo de esgoto nos municípios selecionados; ii) relevância do setor agrossilvipastoril na economia do município, que reflete na demanda por nutrientes (IBGE, 2016) e; iii) distância entre o município de realização do grupo focal (município polo) e municípios vizinhos.

##### **5.4.2.2 Recrutamento**

A listagem de produtores rurais foi obtida por meio da parceria estabelecida com a EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais). Por não se conhecer as dinâmicas das diferentes áreas rurais, essa parceria foi de suma importância, dado o conhecimento dos técnicos sobre a realidade de cada localidade. Dessa forma, contatou-se, inicialmente, os técnicos das unidades locais da EMATER para que esses pudessem indicar os nomes e contatos de alguns dos produtores rurais vinculados às suas respectivas unidades. Nesse ponto, cumpre ressaltar que os técnicos, pela atuação direta com os produtores, detinham conhecimento daqueles mais presentes nas reuniões de associações ou eventos da

própria instituição. Uma pré-seleção dos produtores mais participativos foi solicitada para aumentar a assertividade na etapa de recrutamento. Apesar dessa pré-seleção, priorizou-se a diversidade de perfis de produtores, visando trazer à tona pontos de vista de diferentes participantes. Assim, além da variabilidade local, evitou-se, na medida do possível, clivagens quanto ao porte do produtor, manejo do solo ou culturas, além de características socioeconômicas, como renda e gênero. A princípio, tais clivagens podem redundar em posicionamentos distintos dos participantes quanto ao uso do lodo como insumo para atividades agrossilvipastoris. Essas possibilidades foram discutidas no âmbito de cada temática.

Destaca-se que no município de Raposos não havia escritório local da EMATER, o que tornou inviável o contato junto aos produtores rurais do município, motivo pelo qual o mesmo foi posteriormente excluído da pesquisa. Assim, nos demais municípios, os técnicos acompanharam e intermediaram, gentilmente, a relação entre a equipe de pesquisa e os produtores.

A partir da lista de produtores, a consultora realizou o contato telefônico com cada produtor em duas etapas. Na primeira, a consultora se apresentou, explicou o motivo da ligação e importância da participação na pesquisa. Destaca-se que, neste ponto, não foi abordado, especificamente, o uso agrícola do lodo de esgoto sanitário, de forma a evitar que os produtores se preparassem previamente para a discussão e buscando captar com naturalidade as reais e legítimas reações dos produtores à ideia de se utilizar esse lodo como insumo agrícola. Na segunda, houve confirmação e lembrete da data, local e horário. Enfatizou-se aos convidados que sua participação seria voluntária, uma vez que não seria possível uma compensação financeira – estratégia adotada em outros campos de utilização de grupos focais, como as pesquisas de mercado e pesquisas de opinião pública eleitoral, por exemplo. Entretanto, como forma de agradecimento pelo tempo e disposição em participar, foi distribuída um brinde simbólico para cada participante.

Dos 25 nomes da lista, não foi possível realizar o contato com 6 produtores, outros 5 afirmaram que não poderiam participar e 14 confirmaram presença. Torna-se importante destacar que praticamente todos os produtores cujo contato foi bem-sucedido receberam muito bem o convite, o que está, possivelmente, relacionado à pré-seleção realizada pelos técnicos da EMATER e ao interesse prévio dos produtores na discussão. Em relação aos casos

de insucesso no contato, a consultora ressalta que este tipo de ocorrência é esperado, uma vez que muitas pessoas costumam trocar de número de telefone frequentemente. Ademais, por se tratar de pessoas que residem em área rural, o sinal de telefonia móvel nessas regiões é, geralmente, restrito, o que também dificulta o contato.

#### 5.4.2.3 Roteiro

Concomitantemente à elaboração da lista de produtores rurais, foi desenvolvido o roteiro de perguntas. Este roteiro é fundamental nas técnicas de pesquisa qualitativa, pois funciona como um “guia” para o trabalho do moderador. A partir do roteiro, o moderador tem consciência de qual é o caminho que o debate deve seguir. Apesar de nortear a discussão, não há necessidade de segui-lo estritamente na ordem proposta, uma vez que determinado aspecto de interesse pode vir à tona em momento distinto do previsto. Deve-se observar que não há nem mesmo a obrigatoriedade de se aplicar todas as questões do roteiro, visto que, em uma técnica semiestruturada, como é o caso dos Grupos Focais e das Entrevistas em Profundidade, o mediador/entrevistador conduz a conversa de acordo com o que entrevistado informa. Isso confere dinamicidade e aderência às respostas e garante que perguntas que não expressem relação própria com a discussão sejam feitas.

No presente estudo, foi elaborado um roteiro extenso, dividido em blocos temáticos, que tinham a função de afunilar gradativamente a discussão e estimular o raciocínio dos participantes do grupo. Verificou-se, na prática, que muitas questões inseridas no roteiro foram sendo antecipadas e respondidas previamente pelos entrevistados, o que facilitou a passagem por todos os pontos importantes do instrumento. Também buscou-se aplicar técnicas projetivas e experiências sensoriais (visuais, olfativas etc.), de modo a quebrar a formalidade do momento e oferecer novos insumos para a discussão que se seguiu.

O roteiro foi elaborado a partir de pesquisas bibliográficas que abordaram possíveis entraves ao uso agrícola do lodo, assim como outros aspectos importantes levantados pela equipe de pesquisa. Visando ao seu aperfeiçoamento, esta ferramenta sofreu algumas alterações no decorrer de sua elaboração, até convergir para a versão que os pesquisadores consideraram ideal. O roteiro pode ser consultado, na íntegra, no Apêndice 4.

#### 5.4.2.4 Execução

O grupo focal ocorreu no dia 08 de janeiro de 2018, entre as 14:30 h e as 18:00 h, na sala de capacitações da EMATER, no Centro de Convivência de Nova Lima. Destaca-se que, apesar

de 14 confirmados previamente, participaram da dinâmica de grupo 07 produtores rurais, sendo: 01 de Sabará, 03 de Rio Acima e 03 de Nova Lima. A desistência de participantes confirmados é comum em reuniões e estava previsto, motivo pelo qual foi selecionado um número superior de participantes.

Não existe uma regra quanto aos limites máximos e mínimos de participantes por grupo, porém, é comum o grupo focal contar com 6 a 12 pessoas (MALHOTRA, 2011). Ao se realizar um grupo focal com menos de 6 participantes há o risco da reunião se tornar cansativa, além da possibilidade de emergirem papéis sociais como o do “líder” ou do “sabe-tudo”. Por outro lado, caso haja mais de 10 participantes no grupo, a participação efetiva de todos em todas as discussões pode ser inviabilizada ou delongar demasiadamente a duração da reunião, além de tornar mais difícil a tarefa do moderador de mediar e controlar o debate. Logo, mesmo com a desistência de metade dos confirmados, a composição do grupo focal não ficou comprometida.

Seguindo a metodologia de grupo focal, a sala foi organizada com mesas em formato de U, para facilitar a visualização de todos os participantes e evitar a percepção de hierarquias entre os presentes. Desde o início da reunião foi disposto, no centro da sala, um lanche para que os participantes pudessem se servir durante a discussão. A organização da sala e disposição dos lugares pode ser visualizada na Figura 5.3.



**Figura 5.3** – Organização da sala, participantes do grupo focal e moderadora (à esquerda, ao fundo).

O grupo focal foi conduzido por uma moderadora que, apesar de não ter formação relacionada ao tema investigado, possui vasta experiência no desempenho dessa função. Ao longo do grupo focal, foram utilizados recursos para facilitar a compreensão, tanto dos participantes quanto da equipe de pesquisa, assim como estimular as discussões. Dentre os utilizados estão: i) apresentação com o fluxograma de geração e disposição do lodo de esgoto sanitário; ii) uma amostra de lodo de esgoto desaguado e uma amostra de lodo compostado com casca de café; iii) vídeo com depoimento de produtores rurais do Paraná sobre o aproveitamento do lodo de esgoto sanitário nas culturas agrícolas, gentilmente cedido por profissionais da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e; iv) metodologia simplificada de *canvas*, ferramenta de planejamento estratégico que permite identificar recursos chave para o desenvolvimento de negócios, muito utilizada em projetos de análise de viabilização de negócios e consagrada no Brasil por seu uso pelo SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio ao Micro e Pequeno Empreendedor).

O registro das opiniões dos participantes foi realizado por meio de dois gravadores dispostos no centro da sala. Além dos gravadores, dois assistentes, ficaram responsáveis pelas anotações das manifestações verbais e corporais dos participantes. Destaca-se que os dois assistentes mencionados são pesquisadores com conhecimento relacionado ao tema abordado (uso agrícola do lodo de esgoto sanitário) e participaram em momentos estratégicos da discussão, quando acionados pela moderadora. Logo, além de ter contribuído para sanar dúvidas técnicas, a presença dos assistentes conferiu dinamicidade, leveza e confiabilidade aos participantes de que a pesquisa estava sendo conduzida por profissionais da área.

#### **5.4.3 Transcrição e análise do material**

Ao final do grupo focal, realizou-se a consolidação das anotações e transcrição de todo o material. O *software* utilizado para transcrição foi o *InqScribe* versão 2.2.3.258, modo gratuito. Destaca-se que mesmo utilizando dois gravadores, em determinados momentos, como na sobreposição de falas entre participantes, não foi possível transcrever o conteúdo em sua totalidade. Este tipo de intercorrência é comum ao método, porém não prejudicou a compreensão e análise do conteúdo.

Obtidos os dados, os mesmos foram analisados, uma das principais etapas da pesquisa qualitativa. Uma das alternativas consolidadas e amplamente utilizada para este propósito é o método de análise de conteúdo. Segundo Caregnato e Mutti (2006), essa técnica pode ser

aplicada tanto em pesquisa qualitativa quanto quantitativa. Enquanto na primeira o foco é sobre a presença ou ausência de determinada característica do conteúdo, na segunda tal característica é reportada de acordo com frequência em que é expressada. Em outros termos, enquanto na pesquisa qualitativa interessa mais ao pesquisador compreender a profundidade das motivações, crenças e opiniões expressadas pelos participantes, na pesquisa quantitativa o foco é na forma com que essas opiniões se distribuem.

Ainda que não seja possível extrapolar os resultados para o segmento estudado, ou mesmo região avaliada, a análise de conteúdo contribui para a descoberta de aspectos até então inéditos, balizamento das hipóteses ou pressupostos inicialmente levantados, além de aprofundar o entendimento acerca de determinado elemento (BARDIN, 1988 *apud* RUBINGER, 2008). Diante do exposto, elencou-se a análise de conteúdo como método mais apropriado no contexto da pesquisa.

A análise do material qualitativo seguiu a abordagem por categorias temáticas, cujos procedimentos são indicados por Minayo (2007 *apud* RUBINGER (2008)). As categorias foram definidas em consonância com aquelas adotadas anteriormente, utilizadas para a elaboração do roteiro – embora não necessariamente idênticas. Essas categorias são critérios segundo os quais as informações foram organizadas, de modo a fazê-las “conversar” e a explorar pontos convergentes e divergentes. O trabalho com estas categorias possibilitou uma análise mais completa, aproveitando melhor o volume de dados.

Ainda durante a transcrição, nas pausas e repetições das falas, iniciou-se o processo de sedimentação do conteúdo, tal como se o pesquisador imergisse no emaranhado de opiniões dos participantes. Esse processo é corroborado nas leituras que seguem à transcrição dos dados. Conjuntamente a este processo, houve a ordenação e classificação do conteúdo. Em seguida, agrupou-se o conteúdo conforme os tópicos, seguido da síntese das falas associadas ao tópico. Em alguns casos, incorporou-se informações relacionadas à frequência de determinado conteúdo (a partir de relatos como: a maioria dos presentes, apenas dois produtores etc.) e/ou exposição da fala do participante, de forma a tornar a interpretação mais palpável e facilitar a compreensão do leitor.

A análise de conteúdo foi guiada também pelas possíveis clivagens que poderiam emergir da discussão. Verificou-se, na prática, algumas, sendo as principais as clivagens socioeconômicas e de acesso à informação. A partir delas, foi sendo explorado o conjunto de

dados, possibilitando transcender a mera descrição da discussão mas caminhar para uma real interpretação da discussão.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

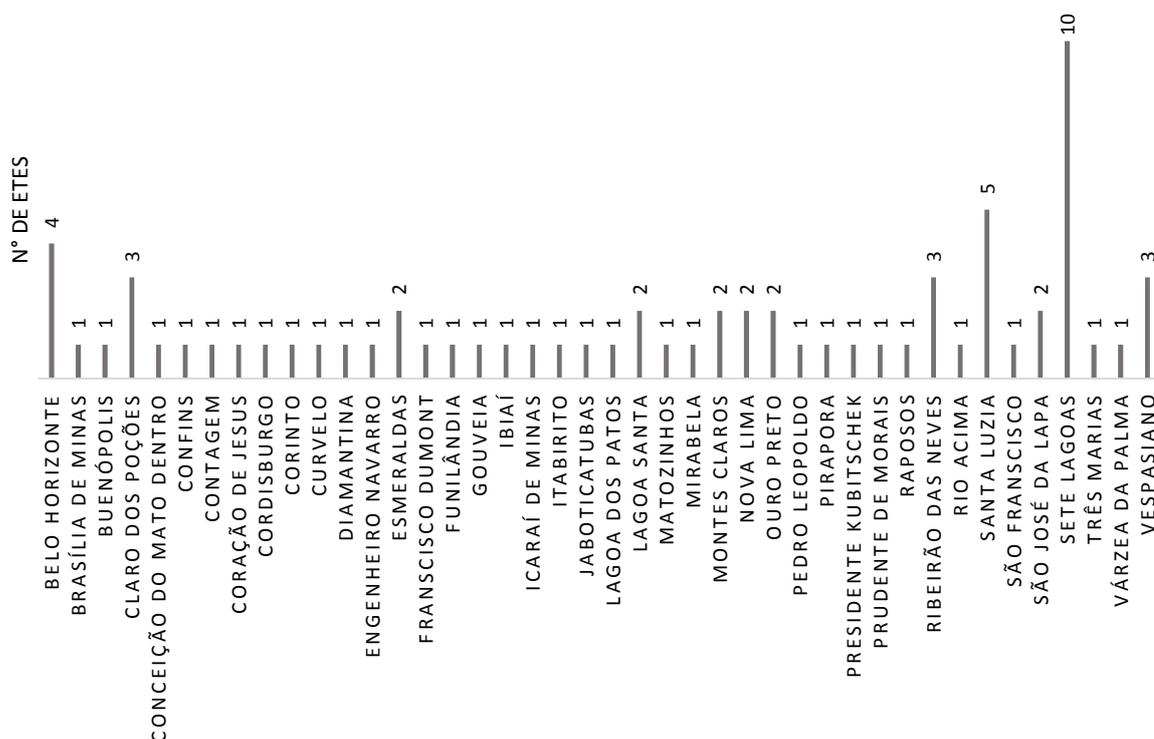
Os resultados obtidos foram distribuídos em três tópicos, separados de forma a facilitar a organização dos mesmos, embora tenha havido um intercâmbio de informações entre eles para subsidiar as discussões. O primeiro foi dedicado à etapa de identificação das ETEs e avaliação da geração e disposição final de lodo de esgoto sanitário. O segundo correspondeu ao mapeamento da aptidão do solo ao aproveitamento agrícola desse lodo. No terceiro foram abordadas as percepções dos produtores rurais acerca do uso desse lodo em atividades agrossilvipastoris e potenciais fatores que influenciam a utilização da técnica.

### **6.1 Gerenciamento do lodo de esgoto sanitário**

O presente tópico foi subdividido em outros dois, o de geração de lodo de esgoto sanitário e o de sua disposição final. Cumpre destacar que no primeiro houve uma etapa preliminar de avaliação do sistema de esgotamento sanitário na área de estudo, uma vez que os resultados de tal etapa subsidiaram a análise da geração de lodo, propriamente dita. Entretanto, considerando-se a relação intrínseca entre esgotamento sanitário e geração de lodo, a abordagem de ambos foi realizada no mesmo tópico.

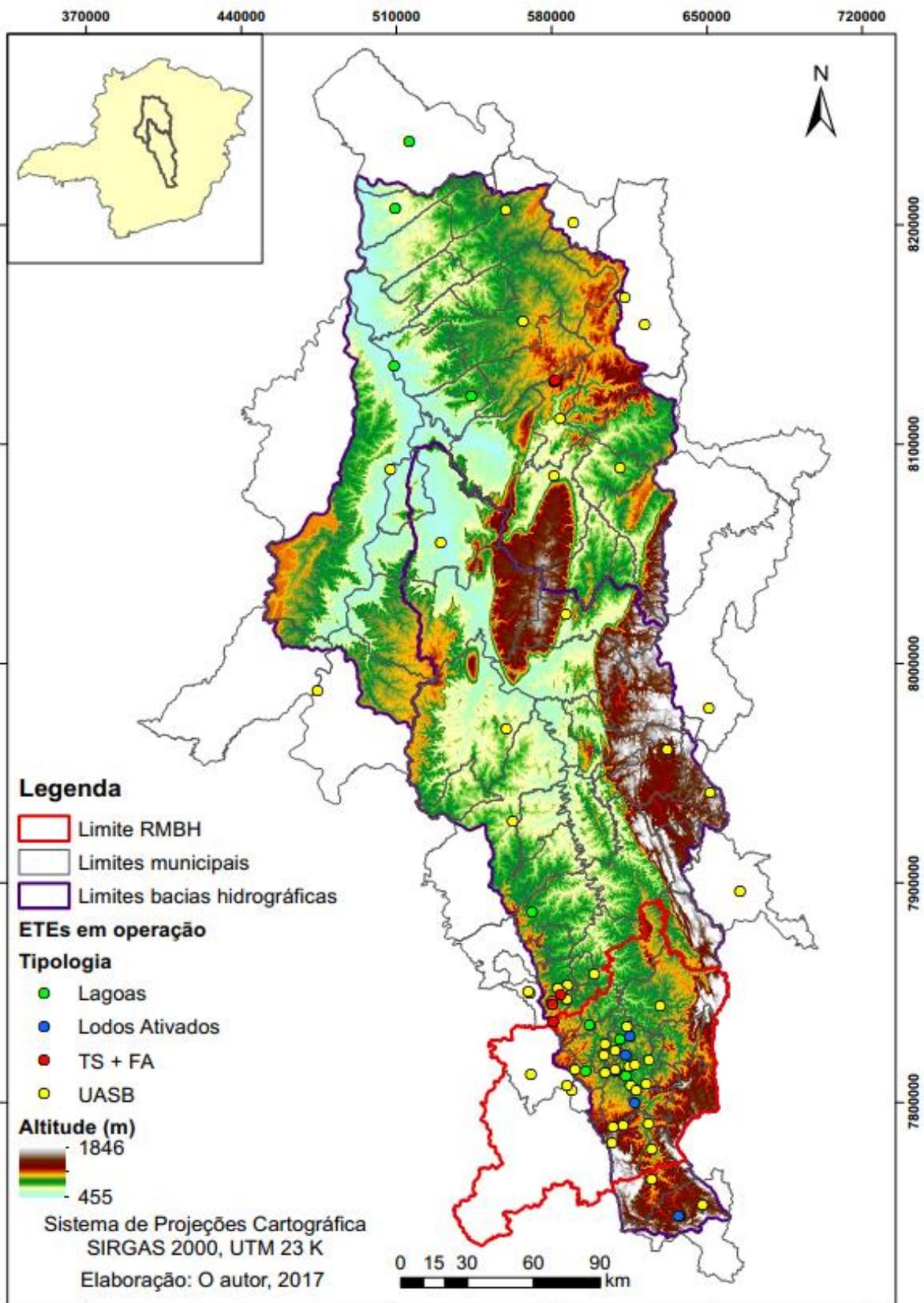
#### **6.1.1 Geração de lodo de esgoto sanitário**

Dentre os municípios da área de estudo, 42 possuem pelo menos uma ETE, sendo no total 70 ETEs em operação, cuja distribuição por município segue apresentada na Figura 6.1. Destas, 16 estão nos municípios da bacia hidrográfica dos rios Jequitaí, Pacuí e trecho do São Francisco (11 nos limites da bacia e 5 fora), enquanto 54 estão nos municípios da bacia hidrográfica do Rio das Velhas (46 nos limites da bacia e 8 fora). Ainda em relação à localização das ETEs, foram identificadas 30 ETEs na RMBH, que corresponde a 43% do total de estações. A distribuição espacial das ETEs está representada na Figura 6.2.



**Figura 6.1** – Distribuição das ETEs em operação por município da área de estudo.

Em termos da vazão de esgoto sanitário tratado no ano de 2016, o equivalente populacional foi de 3.532.594 e 510.739 habitantes nas bacias SF5 e SF6, respectivamente. Em relação à primeira, o valor corresponde a 68% da população total dos municípios da bacia, enquanto que, para a segunda, essa relação é de 64%. De acordo com ANA (2017), o percentual da população atendida com tratamento de esgoto sanitário no Brasil e em Minas Gerais é de 43 e 44%, respectivamente. Apesar da metodologia de cálculo ser distinta – o levantamento da ANA baseia-se na contagem da população efetivamente atendida ou estimada a partir do número de economias de esgoto, multiplicado pela taxa média de habitantes por domicílio, verifica-se que ambas as bacias hidrográficas analisadas encontram-se em situação melhor que a média do estado e do país.



**Figura 6.2** – Distribuição das ETEs ao longo da área de estudo conforme tipologia de tratamento da fase líquida.

Se, por um lado, as bacias se assemelham no que tange à relação apresentada, por outro, analisando-se apenas o equivalente populacional, é notória a diferença entre ambas. A concentração de ETEs é ainda mais perceptível ao se analisar apenas a RMBH. Esse fato está relacionado à maior concentração populacional, predominantemente urbana (taxa de urbanização de 97,4%), que, por sua vez, está associada à disponibilidade de serviços, infraestrutura, logística e outros elementos que privilegiam o desenvolvimento de todos os tipos de atividades nessas regiões. Tanto a concentração populacional como as atividades econômicas diversificadas são apontados como principais fontes de lançamento de esgoto sanitário na bacia, em especial no Alto Rio das Velhas e na área de transição para o Médio-Alto Rio das Velhas (CBH RIO DAS VELHAS, 2015). De acordo com ANA (2017), esta é uma situação típica observada nos principais aglomerados urbanos do país.

Em relação ao porte, as ETEs foram segregadas de acordo com o equivalente populacional atendido, nas categorias até 10.000 habitantes (pequeno porte), entre 10.000 e 100.000 (médio porte) e maior que 100.000 (grande porte). Na primeira categoria foram enquadradas 41 ETEs, enquanto na segunda e terceira, foram 25 e 4 ETEs, respectivamente. Dos 12 municípios que possuem mais de uma ETE, apenas um possui população total inferior a 10.000 habitantes, sendo que este possui 3 ETEs. Por outro lado, nestes mesmos municípios foram identificadas 24 ETEs com equivalente populacional inferior a 10.000 habitantes. Observa-se então, a expressividade das ETEs de pequeno porte em municípios de médio e grande portes. Ora, essa divergência entre as classes de população residente nos municípios e as classes de equivalente populacional das ETEs sinaliza que, pelo menos nestes municípios, houve tendência de descentralização no tratamento de esgoto sanitário. Consequentemente, nestes municípios a geração de lodo também será descentralizada. Do ponto de vista do gerenciamento do lodo de esgoto com vistas ao aproveitamento agrícola, esse aspecto apresenta vantagens e desvantagens, as quais devem ser consideradas para cada sistema.

Um principais desafios em relação à geração pulverizada de lodo está relacionado ao seu tratamento para posterior aplicação no solo. Caso o tratamento seja realizado em cada ETE, será necessário dispor de infraestrutura e corpo técnico para tal em cada unidade, o que pode ser inviável, dependendo do quantitativo de lodo gerado. Esse fato se baseia nas dificuldades relatadas em ETEs de operação simplificada (usualmente de pequeno porte) para se atingir os padrões de qualidade do efluente (OLIVEIRA; VON SPERLING, 2008). Ora, se o tratamento apropriado da fase líquida nestas unidades já é um desafio, é de se esperar que o

gerenciamento de lodo também o seja, uma vez que esta etapa é, geralmente, negligenciada nas estações de tratamento (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014). Por outro lado, uma vantagem relacionada a essa concepção seria o fato de maximizar as possibilidades de se encontrarem áreas aptas no entorno de cada ETE. Uma vez que a geração de lodo seria baixa, não seria necessário áreas extensas, culminando na minimização dos custos de transporte até seu destino final.

Contraopondo esse cenário, ou seja, centralização do lodo em uma unidade de gerenciamento de lodo (UGL), o aspecto operacional seria otimizado, porém, o quantitativo mais elevado de lodo exigiria áreas mais extensas no entorno de um único ponto gerador. Esse fato poderia dificultar a identificação de áreas aptas ao uso agrícola, sendo necessário dispor o lodo em locais mais distantes, que, por sua vez, aumentaria os custos de transporte do material. Haveria, ainda, o custo de transporte do lodo das ETEs até a UGL. Do ponto de vista econômico, a centralização do beneficiamento do lodo requer investimentos iniciais mais elevados, dado o porte da estrutura necessária, enquanto em sistemas de pequeno porte esses investimentos poderiam ocorrer de forma gradativa. Pode-se perceber que o processo de tomada de decisão é complexo e envolve diversos fatores, inclusive outros não citados. Logo, essa é uma avaliação que deve ser realizada individualmente para cada sistema, o que está além dos propósitos do presente estudo.

Em relação à tipologia do tratamento de esgoto sanitário, verifica-se a predominância dos reatores UASB, em ambas as bacias, conforme indicado na Figura 6.3.

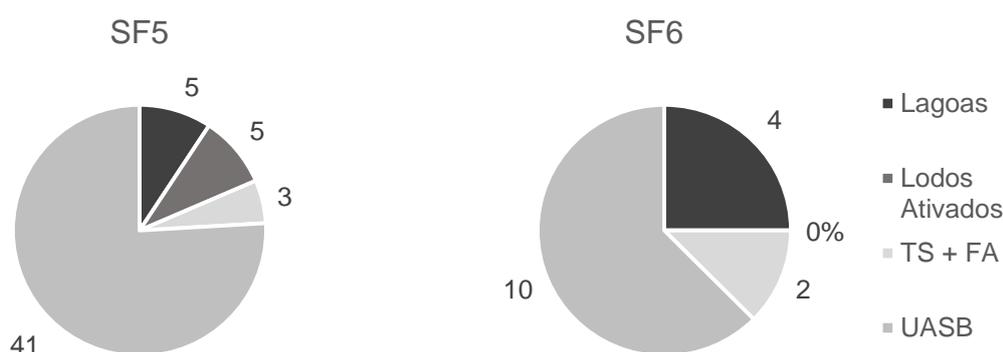


Figura 6.3 – Distribuição do número de ETEs nas bacias hidrográficas do Rio das Velhas (SF5) e Rios Jequitaí-Pacuí (SF6), conforme a tipologia de tratamento.

Em relação ao número de ETEs, das 54 identificadas na bacia hidrográfica SF5, 41 possuem essa unidade no fluxograma de tratamento, enquanto na bacia SF6, 10 das 16 estações utilizam essa unidade. Nessa contagem, estão indicados tanto os sistemas compostos apenas pelos reatores UASB (13) como os que possuem pós-tratamento (38). No segundo grupo, destacam-se os filtros biológicos percoladores como unidade posterior ao reator UASB, presentes em 24 sistemas. Além dos filtros biológicos percoladores, disposição no solo, filtro anaeróbio, lodos ativados, flotação e lagoas são outras unidades empregadas para o pós-tratamento. Além da predominância, em termos de unidades instaladas, observa-se a aplicabilidade dos reatores UASB para os três portes analisados, sendo 30 unidades de pequeno porte, 18 de médio e 3 de grande. Somadas, estas unidades são responsáveis pelo tratamento de 2.897 L de esgoto por segundo, correspondente a 53% do total de esgoto sanitário coletado e tratado na área de estudo.

Em sequência aos reatores UASB estão as lagoas de estabilização, principal unidade de tratamento de esgoto em 9 sistemas avaliados, cuja vazão de esgoto tratado é em torno de 123 L/s (2% do total). Nesta classe encontram-se as lagoas anaeróbias, facultativas, aeradas facultativas e de maturação. No presente estudo, verificou-se o uso desta alternativa de tratamento em sistemas de pequeno e médio portes, sendo que para a ETE com maior equivalente populacional estimou-se o atendimento de cerca de 58.000 pessoas (vazão de 59 L/s). A utilização de lagoas nessa escala populacional está associada aos requisitos de projeto do sistema, geralmente distribuído em extensas áreas planas (NOYOLA *et al.*, 2012). Em relação ao lodo gerado nas lagoas, como a remoção é realizada após longos intervalos de tempo (da ordem de anos) e sem rotina sistematizada, verifica-se que o aproveitamento agrícola do lodo, nesses casos, ocorreria de forma pontual e sem frequência definida (BATISTA, 2015). Essas peculiaridades tornam o planejamento de aplicação desse tipo de lodo no solo mais complexo, o que pode inviabilizar a adoção da prática de destinação final do subproduto em ETEs que utilizam essa forma de tratamento do esgoto doméstico. Por esta razão, nos casos em que se dispunha apenas de lagoas de estabilização como forma de tratamento do esgoto sanitário, não foi considerado o potencial de utilização do lodo gerado nessas unidades.

A relevância desses dois sistemas, reatores UASB e lagoas de estabilização, está alinhado com levantamento realizado por ANA (2017). Neste estudo, verificou-se que, no Brasil, de forma geral, predominam as lagoas de estabilização, seguidas dos reatores anaeróbios, como

forma de tratamento do esgoto sanitário. Em um contexto mais amplo, Noyola *et al.* (2012) investigaram as principais tipologias de tratamento de esgoto em seis países da América Latina e Caribe (dentre eles, o Brasil). Segundo os autores, das 2.734 ETEs amostradas, 38% dispunham de lagoas de estabilização, 26% lodos ativados e 17% reatores UASB. A predominância desses sistemas pode ser avaliada sob a ótica dos aspectos econômicos e técnicos, embora não devam ser os únicos a serem considerados quando do planejamento dos sistemas de esgotamento sanitário. No caso das lagoas de estabilização, sua ampla difusão pode estar associada à sua operação simples e ao de baixo custo de operação (VON SPERLING, 2017), ainda que pese a maior demanda por área. Já os sistemas anaeróbios, além de requererem menores áreas, também possuem operação relativamente simples e condições ambientais propícias à sua implantação. No entanto, apesar do grande potencial para sua aplicação, especialmente no Brasil, dificilmente essa unidade isoladamente alcança os requisitos mínimos de qualidade do efluente, o que demanda um pós-tratamento, conforme observado em diversos sistemas da área de estudo (CHERNICHARO, 2016).

Com menor número de unidades instaladas na área de estudo estão os sistemas compostos por lodos ativados (convencional e aeração prolongada) e tanque séptico seguido de filtro anaeróbio, cada um com 5 unidades. No caso dos tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios, verifica-se sua utilização para equivalentes populacionais de até 3.000 habitantes, aproximadamente. Em relação aos sistemas de lodos ativados, identificou-se 4 ETEs com aeração prolongada e apenas 1 com sistema convencional. Em relação aos equivalentes populacionais, constatou-se o uso destes sistemas nos três segmentos considerados, sendo 1 para pequeno porte, 3 de médio porte e 1 de grande porte. Apesar do baixo número de unidades existentes, o que destoava do cenário reportado para a América Latina e Caribe, é que estes sistemas são responsáveis pelo tratamento de 2.463 L/s, equivalente a 45% de todo o esgoto sanitário coletado e tratado nessa região. Por essa perspectiva, os sistemas de lodos ativados demonstram sua relevância, assim como destacado por Noyola *et al.* (2012) e ANA (2017).

A análise pormenorizada da geração de lodo foi realizada levando-se em consideração os dados de monitoramento repassados pelos responsáveis pelas ETEs e/ou estimativas com base na tipologia de tratamento do esgoto, equivalente populacional e forma de desagüamento, conforme elucidado na metodologia. Apesar de se ter avaliado cada ETE, o volume de lodo

desaguado produzido foi agrupado de acordo com as tipologias descritas anteriormente, conforme apresentado na Tabela 6.1.

**Tabela 6.1-** Produção anual de lodo desaguado nas ETEs, por bacia hidrográfica, agrupadas conforme fluxograma de tratamento do esgoto sanitário.

Fluxograma de tratamento	Produção de lodo desaguado (m <sup>3</sup> .ano <sup>-1</sup> )		
	Rio das Velhas	Rios Jequitáí, Pacuí e trecho São Francisco	Total
UASB seguido ou não de pós-tratamento	38.661	15.488	54.149
Lodos ativados	24.239	0	24.239
Lagoas de estabilização	1.831	515	2.345
Tanque Séptico + Filtro Anaeróbio	170	34	204
<b>Total</b>	<b>64.902</b>	<b>16.036</b>	<b>80.938</b>

Com base na geração de lodo desaguado, observa-se que os sistemas constituídos por reator UASB, seguido ou não de pós-tratamento, é o mais representativo em ambas as bacias hidrográficas, totalizando cerca de 54.149 m<sup>3</sup> por ano. Do ponto de vista do gerenciamento de lodo, a utilização do reator UASB é atrativa, uma vez que nele ocorre a estabilização e o adensamento do material. Além de contribuir para a redução na massa e no volume do lodo, dispensa a realização dessas etapas em outras unidades, as quais são comumente requeridas antes do aproveitamento agrícola do mesmo (CHERNICHARO, 2016).

Na sequência, nota-se a elevada produção de lodo de esgoto nos sistemas de lodos ativados, em torno de 24.239 m<sup>3</sup> anuais, gerados exclusivamente na bacia hidrográfica do Rio das Velhas. Cumpre destacar que mesmo com o baixo número de ETEs instaladas cujo tratamento secundário seja o de lodos ativados, sob a ótica da geração de lodo, esta tecnologia ainda pode ser considerada relevante, impulsionada pela existência da ETE de grande porte, que utiliza o sistema de lodos ativados convencional. Nesta estação, a elevada geração de lodo, em torno de 23.400 m<sup>3</sup> por ano, está relacionada com a expressiva vazão de esgoto tratado (2340 L/s), capaz de atender cerca 1.600.000 habitantes. Retornando à Figura 6.2, é possível observar que 4 das 5 ETEs instaladas com o sistema de lodos ativados estão localizadas na RMBH, região mais populosa e urbanizada da área em estudo. Soma-se ao grande equivalente populacional a considerável geração de lodo *per capita*, chegando-se a ter 80 e 45 g.(hab.d)<sup>-1</sup>, respectivamente para os sistemas convencional e de aeração prolongada. Destaca-se, ainda, que nos sistemas de lodos ativados a remoção de lodo é realizada continuamente. Ademais, especificamente no lodo ativado convencional, o lodo gerado ainda demanda etapas

complementares de estabilização e adensamento (ANDREOLI, VON SPERLING, FERNANDES, 2014). A necessidade de outras unidades para estas duas etapas, representam uma desvantagem dos lodos ativados frente aos reatores UASB. No entanto, como dito, estes demandam pós-tratamento na fase líquida, ao passo que aqueles atingem elevados níveis de remoção de matéria orgânica.

No caso das lagoas de estabilização, a geração estimada de lodo é baixa, justificada pelo baixo equivalente populacional atendido e pela menor produção de lodo *per capita* (exceto o fluxograma lagoa anaeróbia + lagoa facultativa), se comparado aos demais sistemas (ANDREOLI, VON SPERLING, FERNANDES, 2014). Com a menor geração de lodo estão os sistemas compostos por tanque séptico e filtro anaeróbio, cuja produção anual foi estimada em 204 m<sup>3</sup>. Assim como nas lagoas e reatores UASB, no sistema tanque séptico e filtro anaeróbio há baixa a geração média de 33 g.(hab.d)<sup>-1</sup> de lodo *per capita*, uma vez que este sofre estabilização e adensamento na própria unidade. Porém, diferentemente das lagoas de estabilização, a remoção de lodo ocorre com maior frequência, da ordem de meses (ANDREOLI, VON SPERLING, FERNANDES, 2014).

Como pode ser observado, os resultados foram apresentados conforme a tipologia de tratamento da fase líquida. No entanto, mesmo ETEs constituídas por sistemas de tratamento semelhantes apresentam suas particularidades, seja devido às características do efluente bruto distintas, os detalhes operacionais peculiares e as técnicas de tratamento de lodo que não puderam ser levantadas. Essas particularidades, restringiram a avaliação, sob o ponto de vista quantitativo, recomendando-se a análise qualitativa do lodo em cada ETE. Porém, uma das informações obtidas foi a técnica de desaguamento do lodo, a qual permitiu inferir em relação à produção do lodo nas ETEs em que essa operação unitária é executada. Nesse sentido, cabe destacar que em todas as ETEs identificadas constatou-se apenas duas técnicas de desaguamento do lodo, a saber, centrífuga e leito de secagem. Ambas possuem a mesma finalidade, remoção de água em excesso, para redução da massa e volume do lodo a ser tratado posteriormente e, ou, descartado da ETE.

O leito de secagem consiste em um processo natural de desaguamento do lodo regido por mecanismos de evaporação e percolação da água. Segundo Andreoli, von Sperling e Fernandes (2014), essa alternativa é indicada para ETEs com equivalente populacional de até cerca de 20.000 habitantes, devido a fatores como elevada demanda por área, remoção lenta e

operacionalmente desgastante do lodo desaguado e ciclo longo de desaguamento (cerca de 20 dias ou mais, dependendo do caso). Das 62 ETEs instaladas com leitos de secagem, 41 são de pequeno porte, 20 de médio e 1 de grande. Analisando-as, com base no limite indicado pelos autores (20.000 habitantes), 13 ETEs da área de estudo ultrapassam esse valor, chegando ao equivalente populacional de 124.000 habitantes. Novamente, como cada ETE possui suas especificidades, não cabe julgar se a concepção foi correta ou equivocada. No entanto, as justificativas para essa tendência podem estar relacionadas ao baixo custo de implantação, simplicidade operacional e características climáticas dos municípios em que os leitos de secagem estão instalados. Em tais municípios, predominam os climas tropical de verão seco e tropical de inverno seco, com temperaturas elevadas e pluviosidade relativamente baixa, em torno de 1000 a 1300 mm ao ano (ALVARES *et al.*, 2013).

A centrifugação, por sua vez, é um processo mecanizado de remoção de água do lodo, que permite acelerar o desaguamento do lodo independentemente das condições ambientais, resultando em unidades mais compactas (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014). Segundo os autores, apesar das vantagens deste processo, há que se considerar o maior custo de implantação e manutenção, além da complexidade operacional, quando comparado ao método natural. Tais características tornam esta alternativa mais atrativa em sistemas de médio a grande porte, como observado no presente estudo. Das 8 ETEs instaladas contendo centrífugas, 5 correspondem a sistemas de médio porte e 3 de grande porte.

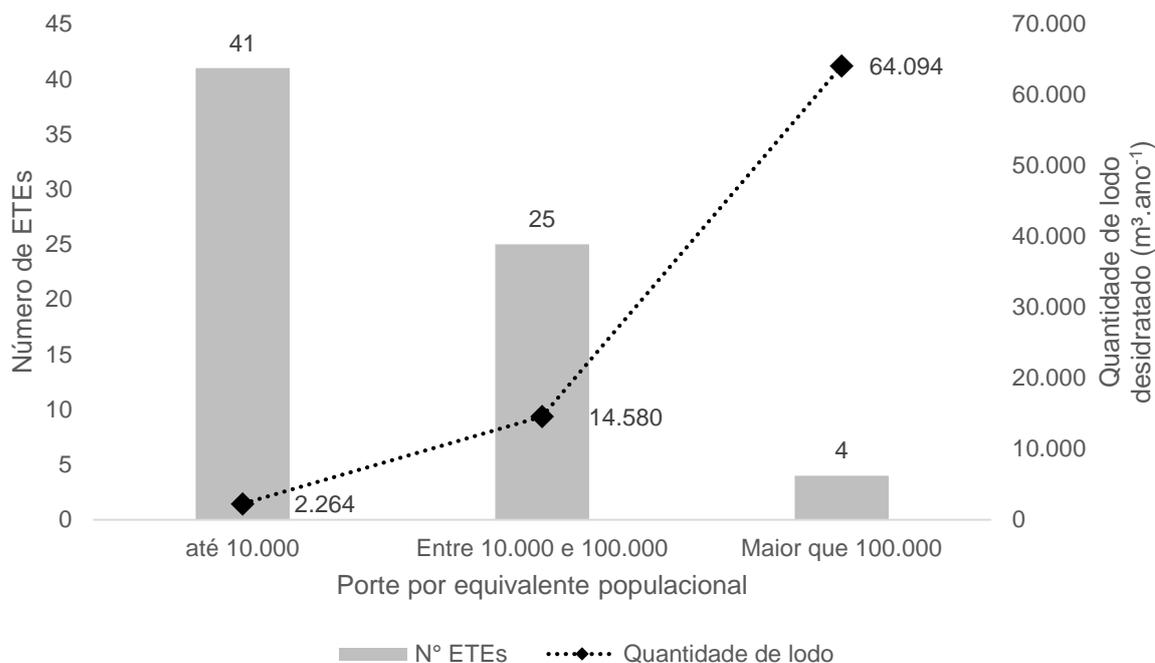
Postas as características gerais de cada alternativa, cumpre mencionar a capacidade de remoção de água de ambas. A centrifugação possibilita que se atinja teor médio de sólidos em torno de 25%, enquanto o leito de secagem, 35% (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2014). Nas duas, o lodo afluyente possui aspecto líquido a pastoso e, ao ser removido, apresenta aparência sólida, tal qual uma torta ou solo úmido. Embora similares, essa diferença no teor de sólidos é de extrema relevância nas etapas posteriores ao desaguamento. Isto porque, mesmo que o material seja enviado para um aterro, o que dispensaria maior rigor em relação à qualidade do mesmo, quanto maior o teor de sólidos, menor o custo de transporte do material até o destino final e menor o volume a ser ocupado no aterro. Por outro lado, caso se enseje promover o aproveitamento do material, por exemplo em atividades agrossilvipastoris, posterior ao desaguamento haverá outras etapas, como higienização e acondicionamento. Nesses casos, quanto maior o volume de material, maior a estrutura necessária para o tratamento e também mais dispendiosa sua manipulação.

Adicionalmente, outras alternativas de destinação final também demandarão transporte, logo, a mesma lógica descrita para o aterro se aplicará às demais.

A remoção de água do lodo torna-se tão relevante quando se planeja o uso agrícola do lodo, que Ihlenfeld, Pegorini e Andreoli (1999) indicaram que a distância máxima viável para se transportar o lodo está diretamente relacionada ao teor de sólidos do mesmo. Baseando-se no teor de nutrientes presentes no lodo (NPK), os autores verificaram a quantidade de nutrientes possivelmente aportada via lodo. Em seguida, considerando-se os custos associados à aquisição de fertilizantes minerais, os autores determinaram o valor da tonelada do lodo com base na quantidade de nutriente presente na mesma, compararam-no com o preço do frete e concluíram que o raio máximo de transporte do lodo da ETE até a área de aplicação seria equivalente à do dobro do teor de sólidos no lodo. Ou seja, para o lodo com 100% de teor de sólidos o raio máximo de transporte seria de 200 km; para o lodo com 50% de sólidos, a distância seria reduzida para 100 km, enquanto que para o lodo com apenas 2% de sólidos, a distância não deveria ultrapassar 4 km.

Logicamente, esta não deve ser considerada uma fórmula rígida para tomada de decisão e sim um direcionamento, visto que esta relação foi sugerida no ano de 1999 e diversos outros fatores influenciam a viabilidade de transporte do lodo até as áreas agrossilvipastoris. Oferta de nutrientes no lodo, tipo de veículo e sua capacidade de carga, preço do frete, condições da malha viária, disponibilidade de áreas aptas à aplicação do lodo, assim como a existência de outras alternativas de destinação final do lodo, são alguns dos exemplos. Ademais, os valores de distância viável de transporte podem ser alterados em função do caráter dinâmico e regional das variáveis incorporadas à simulação, o que reforça a necessidade de um acompanhamento efetivo e sistematizado do gerenciamento do lodo. Exemplificando essas variações, Bittencourt *et al.* (2009), em estudo conduzido no Paraná, observaram a necessidade de se transportar lodo de esgoto sanitário com teor de sólidos de 36% por uma distância mínima de 33 km e máxima de 180 km. No mesmo estado, Bittencourt, Aisse e Serrat (2017), reportaram distâncias máxima e mínima entre a UGL e área agrícola de 140 e 2 km, respectivamente.

Na consolidação dos resultados, verifica-se a geração anual de 80.938 m<sup>3</sup> de lodo de esgoto desaguado. A geração de lodo e número de ETEs por porte podem ser observados na Figura 6.4.



**Figura 6.4 -** Geração anual de lodo desidratado e número de ETEs por porte, conforme o equivalente populacional.

Verifica-se que apesar do grande número de ETEs de pequeno porte, a geração de lodo nesta classe é irrisória, próxima a 3% do total. Já nas 25 ETEs classificadas como de médio porte, a geração de lodo atinge cerca de 18% do total. Finalmente, cerca de 79% do total de lodo gerado é oriundo das 4 ETEs de grande porte, sendo uma fora do limite das bacias hidrográficas. Assim como destacado anteriormente, a geração de lodo tanto nos pequenos sistemas de tratamento de esgoto sanitário quanto nos maiores apresenta vantagens e desvantagens, do ponto de vista de seu aproveitamento em atividades agrossilvipastoris. No presente trabalho, não coube apontar qual a melhor alternativa de disposição do lodo gerado em cada um dos sistemas de tratamento de esgoto sanitário, uma vez que diversos fatores influenciam esta questão.

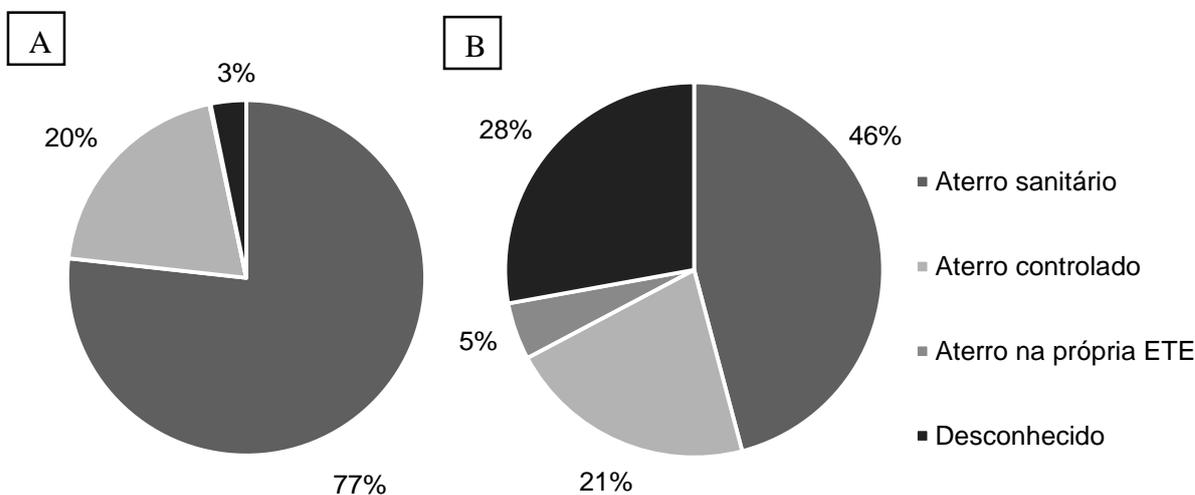
Entretanto, considerando as 3 ETEs de grande porte inseridas nas bacias hidrográficas, todas estão localizadas na região do Alto Rio das Velhas, subdivisão mais populosa desta bacia. Ora, se a maior geração de lodo encontra-se nessa região, é de se esperar que ao redor destas ETEs as áreas disponíveis para fins agrossilvipastoris não comportem todo o volume de lodo disponibilizado, visto que se trata de uma região mais urbanizada. Essa foi a lógica verificada no caso da Região Metropolitana de Curitiba, onde predominam propriedades rurais menores, se comparadas às do interior do estado, com produção voltada para o setor olerícola, cujos

cultivos não podem receber lodo de esgoto sanitário. Esse cenário fez com que a distância de transporte entre as ETEs da região metropolitana e as áreas aplicação do lodo fosse maior que a distância entre as ETEs do interior e suas respectivas áreas de aplicação (BITTENCOURT; AISSE; SERRAT, 2017).

Assim, observa-se que o fator distância de transporte e disponibilidade de área, são importantes aspectos a serem considerados em regiões mais povoadas. Embora não se tenha avaliado, especificamente, essa relação, estes podem ser elementos motivadores para adoção do modelo atual de destinação do lodo, o qual é discutido a seguir.

### 6.1.2 Disposição de lodo de esgoto sanitário

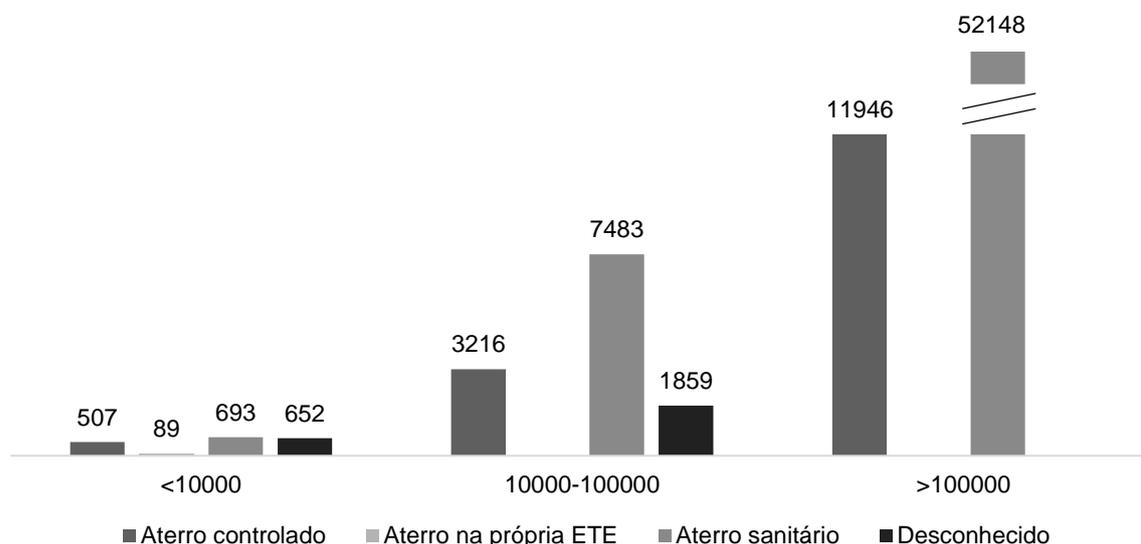
No que concerne à destinação do lodo de esgoto sanitário, os resultados obtidos foram classificados em quatro grupos: aterro sanitário, aterro controlado, aterro na própria ETE e desconhecido. O percentual da disposição de lodo por cada classe foi analisado tanto pelo total de lodo produzido quanto pelo número de ETEs em que se pratica determinada forma de destinação, conforme ilustrado na Figura 6.5. Como mencionado anteriormente, nesta análise, não foram contempladas ETEs cuja forma de tratamento da fase líquida consistia em lagoas de estabilização (representadas na Figura 6.7 como “Não considerado”).



**Figura 6.5** – Percentual do total de lodo de esgoto desaguado gerado por tipo de disposição final (A) e percentual em relação ao número de ETEs em que se pratica determinado tipo de disposição final (B).

Embora 77% do total de lodo de esgoto produzido seja disposto em aterros sanitários, em apenas 46% das ETEs se realiza tal destinação. Considerando que as demais formas de

destinação não consistem em práticas adequadas ou consolidadas (caso de aterramento do lodo na própria ETE), verifica-se o desafio em se nivelar a qualidade no gerenciamento do lodo para as ETEs da área de estudo, especialmente no que diz respeito à sua disposição final. Na Figura 6.6 está apresentado o total de lodo disposto por classe observada separado pelos portes associados ao equivalente populacional.



**Figura 6.6** – Quantitativo de lodo desidratado, em  $m^3 \cdot ano^{-1}$ , por tipo de disposição conforme o porte das ETEs.

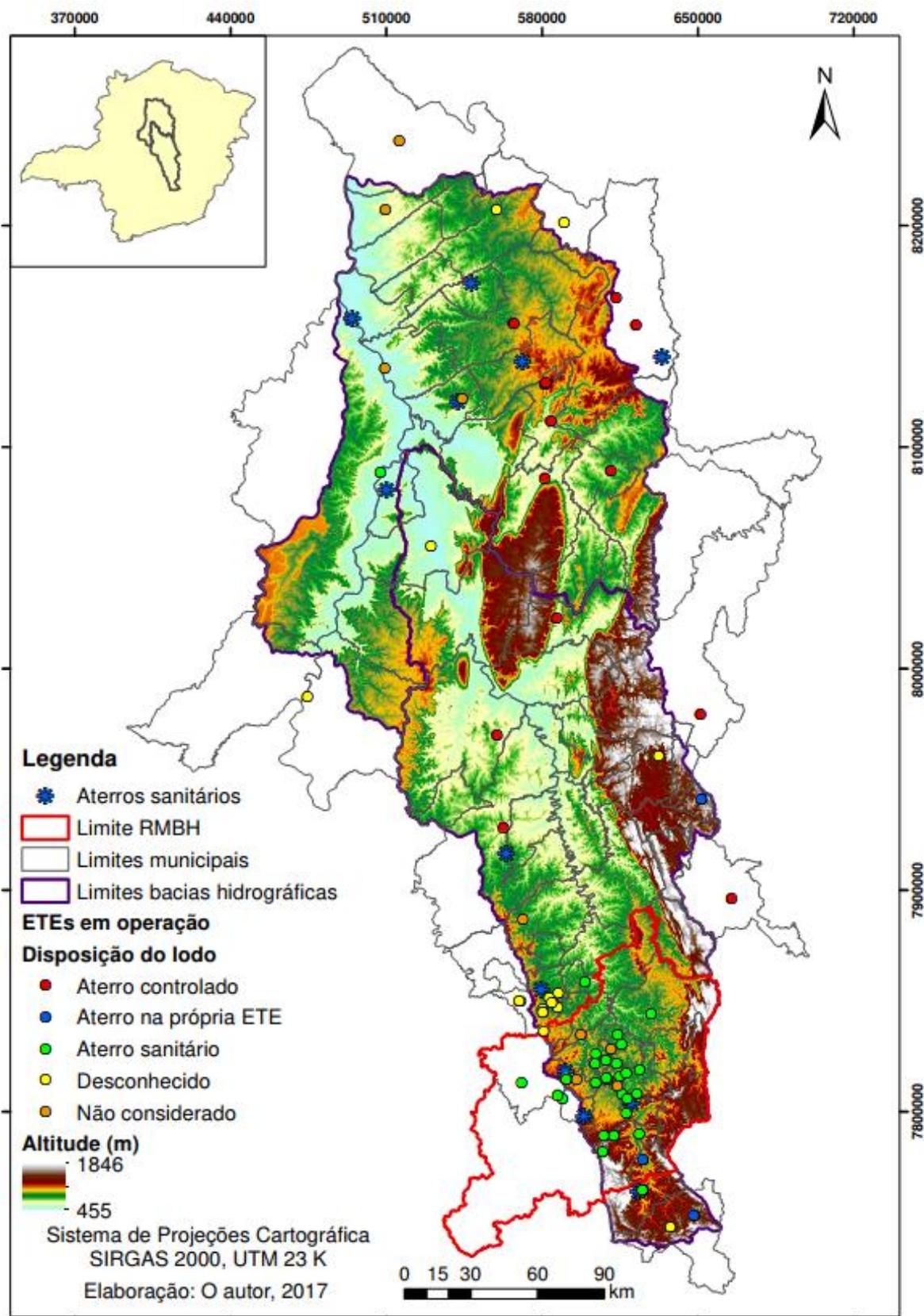
Nota-se que a prática de aterramento do lodo na própria ETE ocorre somente naquelas de pequeno porte, cujo volume corresponde a 0,1% do total de lodo gerado. De todo o lodo gerado nessa categoria, apenas 36% é disposto adequadamente, isto é, em aterros sanitários. Para os portes médio e grande, esse percentual se mostra mais avançado, atingindo 60 e 81%, respectivamente, seguido da disposição em aterro controlado e formas desconhecidas, para o caso da categoria de médio porte.

A preferência por disposição em aterros está alinhada com reportado por outros autores para o contexto brasileiro (GODOY, 2013; SAMPAIO, 2013). Apesar de difundido, muitos países, em especial os mais desenvolvidos, já reconheceram que a disposição em aterros não consiste em prática sustentável, o que pode ser confirmado com a redução paulatina da destinação de lodo em aterros (EUROSTAT, 2017). Limitações de área, restrições legais e impossibilidade de recuperação de subprodutos podem ser elencados como motivadores desta redução (CHRISTODOULOU; STAMATELATOU, 2016).

Uma vertente alternativa de disposição do lodo de esgotos sanitário consiste no seu uso benéfico em solos, amplamente difundida no mundo e, no cenário nacional, comumente praticada no estado do Paraná e no Distrito Federal ( BITTENCOURT; AISSE; SERRAT, 2017; BATISTA, 2015). Na área em estudo, não houve indicação direta da prática de aproveitamento do lodo de esgoto sanitário em atividades agrossilvipastoris, embora esta possa estar englobada na classe "Desconhecido". Nesse ponto, cabe ressaltar que em uma das ETEs visitadas o responsável pelo sistema afirmou que há o aproveitamento esporádico do lodo na produção de mudas de plantas. Porém, como este procedimento não é estruturado e regular, não havia registro da quantidade efetivamente destinada a este fim.

Conforme observado, cerca de 23% do total de lodo gerado, aproximadamente 18.300 m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>, carecem de disposição final adequada. Dentre as alternativas, podem ser citados os aterros sanitários, uso benéfico em solos (atividades agrossilvipastoris e RAD), incineração, processos termais (pirólise, gaseificação, oxidação úmida, combustão, co-processamento), uso na construção civil, entre outros. Afora as duas primeiras, as demais são alternativas reconhecidamente mais complexas e custosas, conduzidas de forma pontual e incipiente no Brasil, não sendo reportadas na a área em estudo. Logo, no presente trabalho considerou-se que as principais alternativas, pelo menos em curto prazo, seriam os aterros sanitários ou o uso benéfico em solos.

No caso dos aterros sanitários, realizou-se um levantamento de quais unidades estariam aptas ao recebimento do lodo, ou seja, unidades licenciadas pelo órgão ambiental competente. Na Figura 6.7 estão representados os aterros sanitários mapeados e as ETEs, indicadas segundo a destinação final do lodo. Foram identificados 12 aterros sanitários, sendo 1 além dos limites das bacias hidrográficas. Esta alternativa, apesar de tecnicamente e ambientalmente adequadas para a disposição final, trata o lodo sob a concepção de resíduo. Tal fato vai de encontro às tendências mundiais de aproveitamento de subprodutos e reciclagem de nutrientes, princípios do emergente conceito de economia circular. Uma vez disposto em aterro, os recursos presentes no lodo tornam-se, se não indisponíveis, menos acessíveis.



**Figura 6.7** – Distribuição dos aterros sanitários e das ETEs, segundo a forma de disposição do lodo de esgoto, ao longo da área de estudo.

Remetendo à Figura 6.7, verifica-se que, em alguns casos a distância de transporte chegaria até 100 km, sendo esta a distância linear até o aterro mais próximo. Na realidade, há que se considerar o traçado da malha viária e situações em que determinada ETE dispõem o lodo em um aterro que não o mais próximo, por questões comerciais, geográficas e técnicas, por exemplo. Entre as questões técnicas, destaca-se que esses são aterros de resíduos sólidos urbanos, sendo que não foi possível verificar se todos estão aptos a receberem lodo de esgoto sanitário e qual a vida útil dos mesmos. Ademais, nos casos em que o aterro foi concebido para o atendimento de apenas um município, cuja operação seria de responsabilidade da própria prefeitura ou autarquia municipal, não foi verificado se o mesmo poderia receber o resíduo de ETE de outro município, mesmo que este seja o ponto de destinação mais próximo ao de determinada ETE. Dessa forma, considerando-se as questões mencionadas, é de se esperar que a distância de transporte, na realidade, seja substancialmente superior à indicada.

Adicionalmente, há o custo de transporte e disposição do lodo em aterro. Apesar de ser uma alternativa de disposição de custo relativamente baixo, se comparado a processo térmicos, por exemplo, é possível que, ainda assim, seja um entrave à destinação final adequada, principalmente em ETEs de pequeno porte e administração direta. Em geral, nesses casos, não há um recurso destinado especificamente ao sistema de esgotamento sanitário, o que torna a disposição final adequada um desafio ainda maior. Embora não contemplado no âmbito do presente estudo, o custo associado à disposição em aterros sanitários pode ser uma das justificativas para o baixo índice de disposição adequada do lodo pelas ETEs de pequeno porte.

De forma geral, comparando-se as formas de disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário e no solo, verifica-se que a etapa de transporte é inerente a ambas. Entretanto, quando destinado à aterro sanitário, há o custo relacionado ao aterramento do resíduo, enquanto no seu aproveitamento agrícola incorrem os custos associados às etapas complementares de tratamento do lodo, como higienização e armazenagem. Porém, há de se considerar que a disposição no solo propicia a economia de recursos financeiros com a adubação convencional das lavouras, fator que deverá abater os custos da disposição final desse subproduto.

Embora o comparativo econômico deva abarcar todos os aspectos relacionados à determinada forma de disposição – o que não é objetivo do trabalho, destaca-se uma informação relevante: em três dos aterros sanitários identificados o custo de aterramento por tonelada foi de R\$

63,00, R\$ 93,00 e R\$ 100,00. Os valores são inferiores ao praticado no estado de São Paulo, R\$ 130,00 por tonelada, conforme reportado por Martins (2016).

A mesma autora, que comparou os custos relacionados à compostagem, com e sem material estruturante e disposição em aterro sanitários, indicou os seguintes valores de disposição final por tonelada: R\$ 96,88, para compostagem de lodo com material estruturante; R\$ 63,41, para compostagem do lodo sem material estruturante e; R\$ 259,54, para disposição em aterro sanitário. Destaca-se que estes valores englobam possíveis receitas advindas da venda do composto gerado e despreza os custos de transporte do composto (incorporado apenas no custo de disposição em aterro). Porém, ainda que se desconsidere possíveis receitas, o custo final por tonelada seria de R\$ 71,13, sem material estruturante – incorporado com o objetivo de incrementar o teor de nutrientes e agregar valor ao produto final para comercialização. Em relação ao transporte, não foi encontrado na literatura recente essa informação específica para o lodo. Entretanto, para o transporte de fertilizantes agrícolas, verifica-se que o custo médio de frete é proporcional à distância percorrida, conforme apresentado na Tabela 6.2.

**Tabela 6.2** – Custo médio do frete rodoviário correspondente ao transporte de fertilizantes agrícolas.

Distância	Custo de transporte <sup>1</sup>	
	R\$.t <sup>-1</sup>	R\$.(t.km) <sup>-1</sup>
até 50 km	31,9	0,64
50 a 200 km	42,7	0,21
200 a 400 km	57,1	0,14

<sup>1</sup> Valores referentes a Julho/2017  
Fonte: SIFRECA, ESALQ-LOG, 2017.

Nos valores indicados estão implícitos elementos como tipo de veículo, sua capacidade, custo de combustível e manutenção, entre outros, que denotam volatilidade ao indicador. Entretanto, de forma geral, observa-se que quanto maior a distância, menor o custo unitário de transporte.

Diante dos custos e desafios apresentados, uma alternativa aos aterros sanitários seria o aproveitamento do lodo em atividades agrossilvipastoris. Esta consiste em técnica relativamente simples e ambientalmente adequada (quando realizada de acordo com os parâmetros exigidos por lei). Diferentemente do aterro sanitário, esta opção permite a recuperação de nutrientes e matéria orgânica, objetivo cada vez mais almejado e valorizado. Ao encontro dessa concepção, está a demanda por nitrogênio e fósforo pelas atividades

agrossilvipastoris desenvolvidas na área em estudo, da ordem  $12 \times 10^4$  e  $35 \times 10^3$  t.ano<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo que cerca de 59% da demanda total está concentrada na UPGRH SF6 (BORTOLINI *et al.*, 2017). Ademais, apenas 5% da área total das bacias hidrográficas apresentam solos eutróficos, característica atribuída a solos de alta fertilidade natural (FEAM; UFV, 2010). Assim, verifica-se a necessidade de incorporação de fertilizantes e matéria orgânica no solo para a manutenção das atividades agrossilvipastoris.

Ora, considerando-se a demanda por nutrientes na área de estudo; o potencial de recuperação desses a partir do lodo de esgoto sanitário; os aspectos técnicos acerca do aproveitamento do lodo em atividades agrossilvipastoris – discutidos anteriormente; e a dificuldade de se promover a disposição adequada do mesmo, em especial nas ETEs de pequeno porte, cabe investigar possíveis razões para não se empregar tal prática na área em estudo.

Nos itens a seguir, são apresentados subsídios à compreensão da influência de determinados critérios técnicos e legais no aproveitamento do lodo de esgoto sanitário em atividades agrossilvipastoris, notadamente os relacionados ao local de aplicação, além de fatores potencialmente intervenientes na aceitação deste subproduto por parte dos produtores rurais.

## **6.2 Mapeamento de áreas aptas ao aproveitamento do lodo de esgoto sanitário em atividades agrossilvipastoris**

Importante etapa do planejamento quando se almeja dispor o lodo de esgoto sanitário no solo, com vistas ao aproveitamento agrícola do mesmo, é verificar a disponibilidade de áreas e o potencial dessas áreas em assimilar esse lodo. Os principais critérios que definem o potencial estão relacionados às características dos solos, ao seu uso e forma de ocupação, além do relevo, sendo observados em função de restrições legais ou devido à recomendações consolidadas de boas-práticas agrícolas. Os critérios avaliados estão descritos ao longo da metodologia do trabalho, sendo que no presente tópico são apresentados e discutidos fatores limitantes e potenciais de aproveitamento do lodo em relação a tais critérios.

Em relação aos tipos de solo, foram identificadas 64 unidades de mapeamento (FEAM; UFV, 2010). Em função da diversidade, não foi possível especificar cada uma delas, porém as unidades mais representativas na área de estudo foram: i) Neossolo litólico + Afloramento rochoso, presente em 11,7% da área total; ii) Cambissolo háplico + Neossolo litólico, em 10,7% da área total; iii) Latossolo vermelho-amarelo + Neossolo quartzarênico órtico, em

10,6% da área total; iv) Latossolo vermelho + Latossolo vermelho-amarelo, compreendendo 7,1% da área total e; v) Latossolo vermelho-amarelo + Latossolo vermelho + cambissolo háplico, representando 5,2% da área total. Além dessas, destaca-se a presença dos argissolos e suas variações, compondo de forma majoritária ou não outras unidades de mapeamento.

Os afloramentos rochosos são áreas desprovidas de solo sobre a rocha matriz, ou seja, essa encontra-se exposta à intempéries, sendo inaptas à aplicação do lodo. Os Neossolos possuem características de solos rasos, pouco desenvolvidos, cuja aptidão ao uso do lodo é baixa. Em geral, a ocorrência deste tipo de solo está associado às áreas de relevo ondulado, montanhoso ou escarpado, caracterizando o subgrupo dos Neossolos litólicos. Observa-se, também, a presença do subgrupo Neossolos quartzarênicos, em geral em solos menos acidentados, porém com textura arenosa, o que inviabiliza a aplicação do lodo.

A textura está, normalmente, relacionada ao potencial de agregação das partículas do solo e, conseqüentemente, capacidade de retenção dos componentes presentes no lodo. Normalmente, solos arenosos possuem pequena estruturação, o que lhe confere elevada condutividade hidráulica, tornando suas camadas inferiores e águas subterrâneas vulneráveis à contaminação advinda de solutos provenientes do lodo. Solos muito argilosos, quando não apresentam estrutura granular, dificultam a infiltração e percolação da água ao longo do seu perfil, característica que, pode ser considerada indesejável devido à maior possibilidade de transporte, por escoamento superficial, da água acumulada, juntamente com o lodo aplicado, para corpos d'água ou outras áreas suscetíveis à contaminação pelo material.

Nas unidades de mapeamento com predominância dos Neossolos, além da restrição da profundidade e textura, há implicações relacionadas à susceptibilidade à erosão e relevo. O relevo é importante aspecto uma vez que influencia diretamente a velocidade de escoamento das águas e, conseqüentemente, a susceptibilidade à erosão (SOUZA *et al.*, 2008). Quanto maior a declividade, maior deve ser o rigor em relação à forma de aplicação do material – devendo ser priorizados métodos de incorporação do mesmo no solo, conforme abordado na CONAMA 375, de 2006. O aspecto susceptibilidade à erosão, além de sofrer influência do relevo, também é reflexo das características físicas do solo, como textura e agregação. Logo, quanto maior a susceptibilidade à erosão, maior o potencial de arraste do lodo disposto superficialmente, podendo atingir os corpos d'água (SOUZA *et al.*, 2008).

Os Cambissolos háplicos são um tipo de solo comumente encontrados na área em estudo, geralmente observados em regiões de relevo ondulado a fortemente ondulado. Em função do relevo, apresenta, geralmente, horizonte A fraco a moderado, o que implica em restrição moderada ao uso agrícola em relação à sua profundidade. Verificou-se que, na área em estudo, a maior restrição ao uso agrícola do lodo neste tipo de solo, está associada à pedregosidade. Quando não pedregoso, a unidade de mapeamento apresenta características cascalhentas, o que também dificulta (em nível moderado) a aplicação do lodo. A pedregosidade, assim como a textura, afeta a retenção do subproduto no solo. Solos pedregosos ou cascalhentos favorecem a percolação dos componentes do lodo no perfil do solo, além de reduzirem a penetração das raízes no solo. Do ponto de vista da incorporação do lodo, estas características dificultam a introdução de implementos agrícolas no solo, inviabilizando o manejo mecanizado da área.

Já os Latossolos estão entre os tipos de solos mais recorrentes no Brasil, sendo subdivididos em diversas categorias. Nas unidades de mapeamento reportadas, verificou-se duas subordens, referentes à cor da matriz, sendo Latossolo Vermelho e Vermelho-Amarelo. Estes são solos bem estruturados, desenvolvidos, comumente denominados solos “velhos”, sendo profundos e com horizonte A moderado. Embora predominante em regiões de relevo plano e suave ondulado, o Latossolo também é encontrado em áreas mais acidentadas, de relevo ondulado a montanhoso. Em relação à textura, é usualmente argilosa, constatando-se, no entanto, unidades de mapeamento com textura média/argilosa e muito argilosa. Não houve indicativo de pedregosidade neste tipo de solo, apenas áreas pontuais com sinalização de ocorrência de cascalhos. Baseado nas características mencionadas, é um tipo de solo propício à utilização do lodo de esgoto. Ademais, são solos intemperizados, dispendo de baixa reserva natural de nutrientes para as plantas. Tal fato incorre na demanda por fontes externas de fertilizantes, dentre as quais o lodo se apresenta com elevado potencial de utilização, por prover, além de nutrientes, matéria orgânica ao solo. Como, em geral, são solos bem drenados, a matéria orgânica contribui na retenção de água e nutrientes nas camadas superficiais do solo, tornando-os mais disponíveis às culturas e reduzindo o potencial de contaminação de água subterrâneas.

Os Argissolos encontrados na área de estudo pertencem à subordem vermelho-amarelo. Em geral, apresentam textura argilosa e horizonte A moderado. Tais características indicam bom potencial para utilização do lodo no que tange à profundidade e textura. Nas unidades de

mapeamento identificadas, observou-se que a maior limitação à aplicação de lodo neste tipo de solo está associada à susceptibilidade à erosão. Este fato se deve à sinergia entre os aspectos textura e relevo, uma vez que a textura por si só não promoveu limitações expressivas. Em relação ao relevo, verificou-se a predominância dos Argissolos em área de relevo suavemente ondulado, ondulado e montanhoso.

O que se observa é que os aspectos que influenciam a aplicação do lodo no solo estão intimamente relacionados. Contudo, cabe identificar os fatores limitantes e qual o grau de limitação para a proposição das técnicas de aplicação do lodo no solo e adoção de medidas conservacionistas. Em determinadas áreas, mesmo adotando-se medidas de conservação do solo não é possível a aplicação do lodo de esgoto, ou seja, são áreas inaptas ao aproveitamento do lodo em solos. Na Tabela 6.3 está apresentado o total de áreas inaptas em decorrência de cada aspecto avaliado.

**Tabela 6.3** – Indicativo de áreas inaptas em decorrência de cada aspecto avaliado e proporção de área limitada em relação à área total em estudo.

<b>Aspecto</b>	<b>Áreas inaptas (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Proporção em relação à área total (%)</b>
Pedregosidade	18.744,1	35,5%
Susceptibilidade à erosão	10.054,4	19,0%
Textura	6.301,1	11,9%
Cursos d'água e nascentes	5.956,8	11,3%
Hidromorfismo	2.468,8	4,7%
Unidades de Conservação	1.488,6	2,8%
Núcleos populacionais	1.451,7	2,7%
Relevo	672,6	1,3%
Lagos e reservatórios	156,6	0,3%
Vias	102,9	0,2%
Topo de morros	27,4	0,1%
Extração de água mineral	1,5	0,0%
Altitude	0,2	0,0%

O aspecto pedregosidade foi o que promoveu maiores restrições à aplicação do lodo de esgoto no solo, com área total de 18.744 km<sup>2</sup>, sendo que deste total 71% encontram-se na bacia hidrográfica do Rio das Velhas. Em seguida, o aspecto suscetibilidade à erosão foi responsável por restringir cerca de 10.054 km<sup>2</sup>, sendo 73% deste na bacia hidrográfica do Rio das Velhas. Os aspectos textura e APPs de nascentes e cursos d'água, restringiram 6.301 e

5.957 km<sup>2</sup>, respectivamente. Em relação aos demais aspectos, as limitações não se estenderam por amplas áreas, porém cabem algumas ressalvas pontuais.

As áreas hidromórficas concentraram-se majoritariamente nas áreas baixas da área de estudo, isto é, nas planícies distribuídas às margens do trecho do Rio São Francisco e Baixo Velhas. Estas são áreas constantemente encharcadas ou passíveis de alagamentos recorrentes. A drenagem limitada favorece a manutenção da umidade excessiva nesse tipo de solo. Tal característica é indesejável do ponto de vista de aplicação do lodo de esgoto, pois contribui para a persistência de patógenos no solo, além de apresentar maior risco de contaminação dos corpos hídricos, superficiais e subterrâneos.

Cerca de 69% das áreas restritas em decorrência da proximidade aos núcleos populacionais estão inseridas na RMBH, conforme ilustrado na Figura 6.8. Tal fato converge com o elevado número de habitantes e o adensamento das ocupações nessa área da bacia hidrográfica do Rio das Velhas. Em relação à este aspecto, a expectativa é de que, na realidade, as limitações sejam superiores às indicadas, posto que não foi possível identificar todas as residências, em especial aquelas isoladas em áreas rurais. Ademais, o processo de conferência da aptidão em campo é essencial para compreensão da dinâmica das ocupações humanas. Se as ETEs são destinadas ao tratamento do esgoto gerado por populações humanas, estas são instaladas, via de regra, em áreas, mesmo que afastadas, relativamente próximas aos núcleos populacionais. À medida que se propõem o uso agrícola do lodo, é possível que áreas mais próximas das ETEs sejam priorizadas, devido ao custo de transporte. Porém, do ponto de vista do planejamento urbano, essas áreas podem ser as mais susceptíveis à expansão urbana, ou seja, é possível que uma área inicialmente apta à disposição do lodo tornar-se-á inapta pelo critério de proximidade aos núcleos populacionais. Assim, o planejamento da aplicação do lodo no solo deve estar em sintonia com planejamento urbano, visando a manter a sustentabilidade do processo sustentável também em longo prazo.

Em relação à impossibilidade de aplicação de lodo em UCs, verifica-se que 1.489 km<sup>2</sup> estão situados nessas áreas, distribuídas ao longo de 46 unidades. Apesar da restrição ser relativamente pequena, 2,8% da área total, nota-se a presença de 34 unidades inseridas total ou parcialmente na RMBH e somente 3 em toda a bacia SF6. A concentração das UCs na RMBH promove restrições em áreas próximas aos centros geradores, áreas que, se aptas a receberem o lodo, demandariam baixo custo de transporte e disposição final. Em trabalho

similar desenvolvido por Urban e Isaac (2016), os autores verificaram que as áreas de proteção ambiental são os principais motivadores de restrição à aplicação do lodo na área avaliada (bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, em São Paulo). As APAs são passíveis de aplicação de lodo, porém os autores justificam a exclusão para se evitarem riscos ambientais.

A adoção de critérios mais conservadores são válidos, visto que estas são áreas dedicadas à manutenção do equilíbrio natural, portanto, o lodo, mesmo considerado um subproduto com valor agregado, pode promover perturbações no ambiente. Entretanto, cabe um contraponto em defesa da utilização criteriosa do lodo em APAs ou UCs. Devido à sua proximidade à zona urbana, são áreas vulneráveis à diversas perturbações e degradações do solo, vegetação e recursos hídricos. Exemplificando, não são raras as constatações de incêndios em áreas inseridas em UCs ou APAs, ou, ainda, ocasiões em que as áreas protegidas são utilizadas como pastagem para animais, especialmente nas bordas das unidades, que por vezes não são cercadas. Em ambas as situações há elevado potencial de degradação da vegetação natural, que por sua vez expõe o solo a agentes erosivos, tornando, também degradado.

A recomposição vegetal em solos degradados é mais lenta, devido às condições adversas à regeneração, como déficit de matéria orgânica e nutrientes. Sob estas condições, o solo continua exposto e cada vez mais sujeito à degradação. Isso se torna um ciclo, que mesmo interrompido, demandará tempo para regeneração natural e reestabelecimento do equilíbrio. Nesse sentido, o lodo de esgoto, se utilizado de forma criteriosa, figura como insumo atrativo no processo de recuperação destas áreas. Naturalmente, cada UC ou APA possui suas particularidades (de gestão, visitação, geográficas etc.), o que demonstra ser inviável o detalhamento de critérios, em nível nacional, para a determinação da aptidão da área ao uso do lodo. Entende-se que, atendidos os demais critérios técnicos de uso benéfico do lodo em solos, essa análise poderia ficar a cargo do órgão gestor de cada unidade.

As restrições advindas da presença de lagos e reservatórios foi pequena, em torno de 156 km<sup>2</sup>. Conforme descrito na metodologia, para a base de dados utilizada, adotou-se um critério mais conservador de delimitação das APPs no entorno destes corpos d'água lênticos. Se, por um lado, as áreas delimitadas foram superiores às definidas pela legislação, por outro, destaca-se que na base de dados não estão mapeados todos os ambientes lênticos da área em estudo, em especial os de menores dimensões. Assim, espera-se que, na realidade, as áreas restritas em

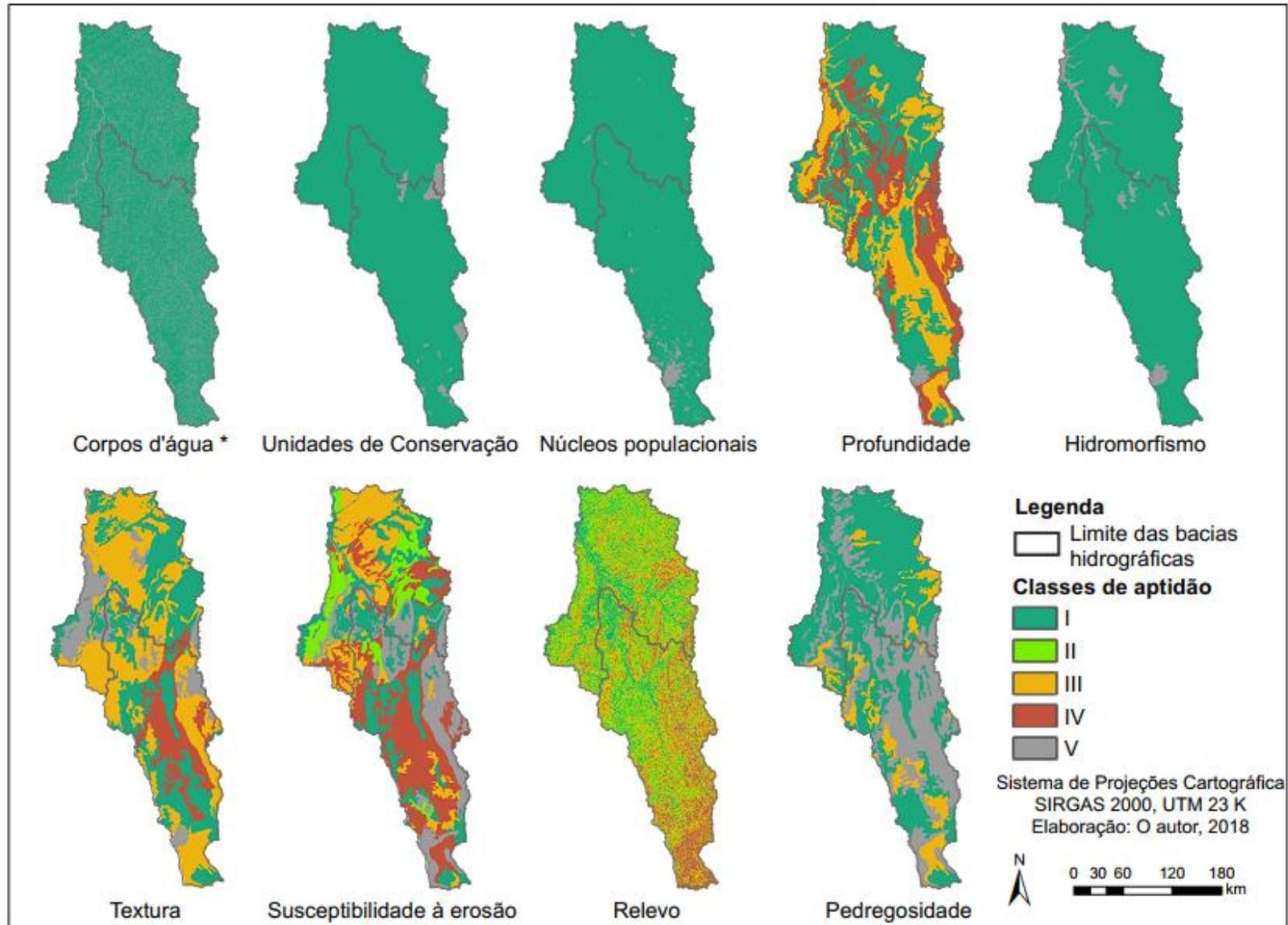
função das APPs associadas a esses corpos d'água sejam superiores às indicadas. Mais uma vez, o refinamento da avaliação e assertividade quanto aptidão deverá ser acompanhada de verificação em condições de campo.

Em relação às áreas limitadas à disposição do lodo no solo em função da proximidade das rodovias, observa-se que as mesmas totalizam 103 km<sup>2</sup>, aproximadamente. Embora distribuídas em toda a área de estudo, há um adensamento maior de vias na RMBH, pelos mesmos motivos mencionados para a maior concentração de ETEs na região. As rodovias identificadas consistem nas vias públicas de maior importância na área de estudo e, possivelmente, de maior fluxo de veículos. Contudo, cumpre ressaltar que na base de dados empregada não estão incorporadas as vias municipais e diversas vias localizadas em zona rural, em geral, não pavimentadas. Essa afirmação se fundamenta no fato de que, durante o levantamento dos núcleos populacionais (por interpretação visual de imagens de satélite), foram observadas inúmeras vias não indicadas na coleção de rodovias georreferenciadas, especialmente em áreas rurais. Na CONAMA 375 está definido que não é permitida a aplicação de lodo em vias de domínio público, porém, por meio de imagens de satélite, não é possível atestar se determinada via é pública ou não. Ademais, considerando o tempo necessário à delimitação de vias, concluiu-se que tal atividade seria intangível no âmbito desse estudo. Assim, na prática, a área total de vias de domínio público será superior ao reportado, demandando uma verificação complementar de campo, quando da seleção de áreas visando ao uso do lodo em solos.

Já as áreas de topo de morros e de elevadas altitudes somaram 27 e 0,2 km<sup>2</sup>, respectivamente. Além de reduzidas, são áreas de acesso mais limitado, o que desestimula a aplicação do lodo nas mesmas. Em relação às áreas de extração de água mineral, foram encontradas apenas 4 áreas restritas, totalizando 1,5 km<sup>2</sup>.

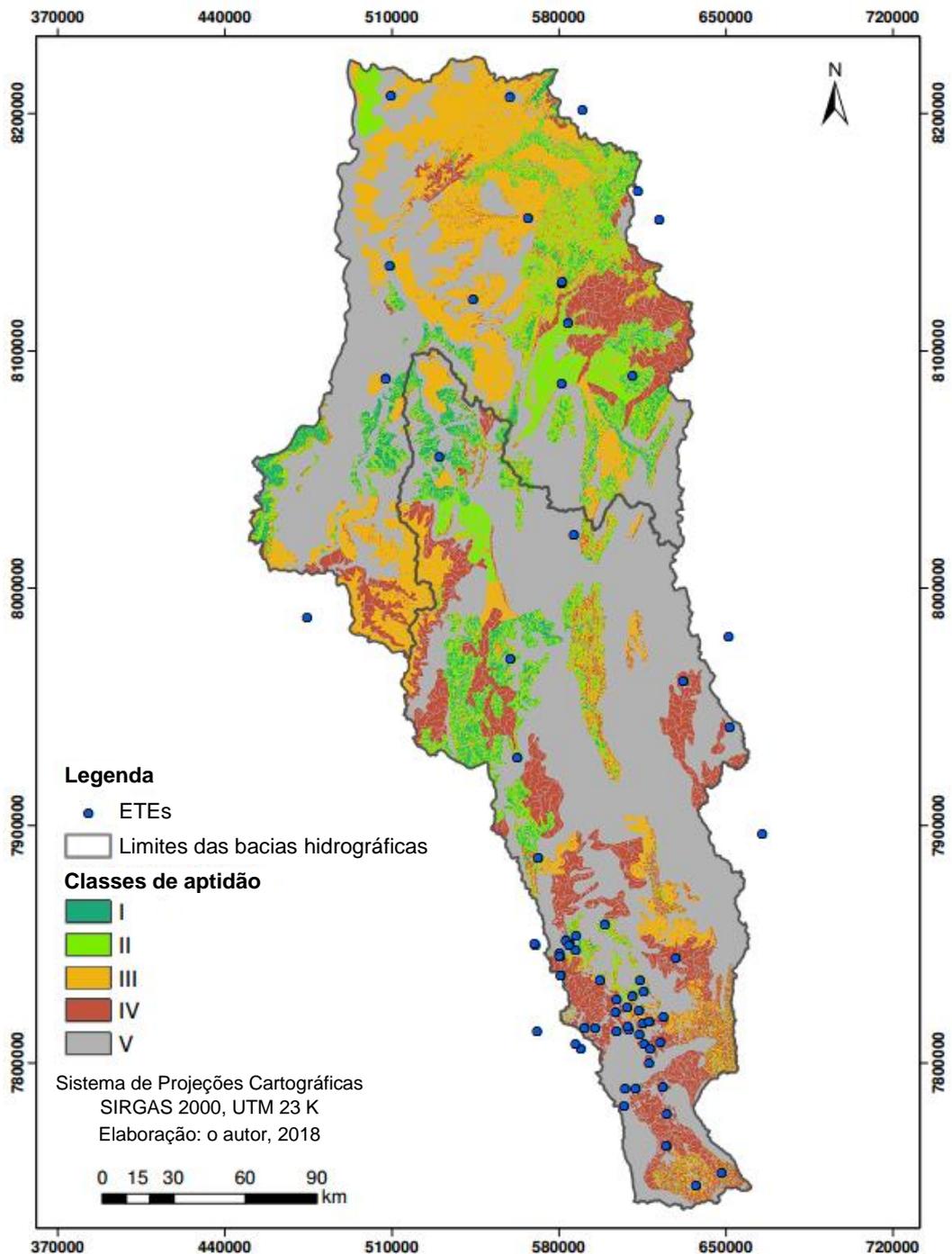
Nota-se que o aspecto profundidade não foi apresentado na Tabela 6.3, pois não foi atribuído a ele nenhum critério correspondente ao da classe V (áreas inaptas). Esta limitação se deve ao fato da CONAMA 375 determinar a profundidade mínima de 50 cm até o horizonte C do solo. Como na base de dados não havia a medição deste critério específico, optou-se por indicar como classe IV os solos mais rasos, os quais deverão ser averiguados em campo quanto ao atendimento ou não ao critério de profundidade mínima.

As restrições associadas a cada aspecto estão distribuídas espacialmente na Figura 6.8. Pode-se observar que alguns dos aspectos foram suprimidos, quais sejam: topo de morros, áreas de altitude superior a 1.800 m, áreas de extração de água mineral e áreas próximas a vias. Isto se deve à dimensão dessas áreas, demasiadamente pequenas para a escala adotada, que não permite a visualização dos polígonos. Apesar da limitação, trata-se apenas de aspecto visual, uma vez que, na prática, é mais adequado a visualização via arquivo digital, em detrimento do arquivo impresso – mais sujeito a erros e subjetividades do usuário.



**Figura 6.8** – Aptidão do solo no que se refere à aplicação do lodo de esgoto sanitário, de acordo com cada aspecto avaliado.

Apesar das limitações indicadas por camada, destaca-se que o total de áreas restritas não corresponde ao somatório das restrições associadas à cada aspecto, visto que uma mesma parcela de solo pode apresentar restrições em mais de um aspecto. Dessa forma, sobrepondo-se as camadas geradas e mantendo-se, para cada parcela de solo (cada *pixel*), o valor relativo à camada mais restritiva, obteve-se a classificação final de aptidão do solo à aplicação do lodo de esgoto sanitário, conforme ilustrado na Figura 6.9.



**Figura 6.9** - Classificação de aptidão do solo com vistas ao aproveitamento do lodo de esgoto sanitário em atividades agrossilvipastoris.

A partir de uma breve inspeção visual, é possível notar que a classe V (inapta) é predominante na área de estudo. Ademais, na região com maior número de ETEs (trecho Alto e Médio-Alto Rio das Velhas), onde a produção de lodo é mais representativa, os solos são majoritariamente inaptos ou possuem restrições para a aplicação de lodo de esgoto sanitário. Este fato está de acordo com os resultados obtidos por Urban e Isaac (2016), que apontaram a presença de núcleos urbanos e APAs como principais limitantes à aplicação de lodo nas áreas adjacentes às ETEs. Na Tabela 6.4 estão indicadas as áreas restritas em cada bacia hidrográfica, conforme as classes definidas.

**Tabela 6.4 – Total de área restrita por classe nas bacias hidrográficas do rio das Velhas (SF5) e dos rios Jequitaiá, Pacuí e trecho do São Francisco (SF6).**

Classe	SF5		SF6		Total	
	Área (km <sup>2</sup> )	Proporção em relação à área da bacia (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Proporção em relação à área da bacia (%)	Área (km <sup>2</sup> )	Proporção em relação à área total (%)
I	1099	3,9%	1236	4,9%	2336	4,4%
II	2054	7,4%	3279	13,1%	5333	10,1%
III	2843	10,2%	7754	31,0%	10597	20,0%
IV	4866	17,5%	2243	9,0%	7109	13,4%
V	16975	61,0%	10510	42,0%	27486	52,0%

Considerando a aptidão do solo por bacia hidrográfica, verifica-se que apenas 4% do total da área da bacia SF5 foi classificada como classe I, enquanto para as classes II e III o valor foi de 7 e 10%, respectivamente. Apesar dos baixos valores percentuais, em termos absolutos, as três classes compreendem uma área de 6.000 km<sup>2</sup>, aproximadamente, áreas em que o uso do lodo para fins agrícolas poderia ser priorizado. Cerca de 4.870 km<sup>2</sup> foi classificado como classe IV, correspondendo a 18% da área total da bacia. Nas áreas enquadradas nesta classe, o controle sobre a forma de aplicação do lodo e o manejo do solo deve ser mais rigoroso, visando à minimização dos riscos associados à aplicação desse material. As áreas inaptas, classe V, corresponderam a 61% da área total da bacia, equivalente a 16.980 km<sup>2</sup>, nas quais o uso do lodo não é permitido.

Em relação à bacia SF6, observou-se maior disponibilidade de áreas aptas ao aproveitamento do lodo, com 5, 13 e 31% da área total da bacia enquadradas como classes I, II e III, respectivamente, totalizando 12.270 km<sup>2</sup>. Cerca de 2.250 km<sup>2</sup> foi classificado como classe IV, representando 9% da área total. Por fim, 42% da área total, aproximadamente 10.510 km<sup>2</sup> foi mapeado como classe V, ou seja, áreas em que o uso de lodo não é permitido. Em trabalho semelhante, desenvolvido por Lima, Nascimento e Sampaio (2013) no município de Montes

Claros (parcialmente inserido na bacia hidrográfica SF6), concluiu-se que as áreas com alto e médio potencial para recepção de lodo representavam 28,7 e 50,6%, respectivamente. Embora o sistema de classificação tenha sido distinto (alto, médio e baixo potencial), os resultados obtidos estão relativamente alinhados, considerando-se que o potencial alto represente as classes I, II e III, o potencial médio represente a classe IV e o potencial baixo represente a classe V. Destaca-se a diferença encontrada na classe V, pois, enquanto os autores obtiveram restrições da ordem de 21%, no presente estudo este valor foi de 42%. Acredita-se que esta diferença possa ser atribuída, primeiramente, aos aspectos avaliados em cada trabalho, uma vez que para o município de Montes Claros foram considerados 7 aspectos, ao passo que no presente estudo foram avaliados 15. Adicionalmente, há que se considerar o nível de detalhamento, atualidade e acurácia da base de dados empregada.

De forma geral, observa-se que mais da metade da área de estudo é inapta à aplicação do lodo no solo. Cerca de 35% da área total compreende as classes I, II e III, ou seja, áreas aptas ao recebimento do lodo, sem restrições severas quanto ao manejo do solo e aplicação do lodo. Este resultado é consideravelmente superior ao reportado para a bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá – aproximadamente 17% (URBAN; ISASC, 2016), e inferior ao indicado para as áreas circunscritas em um raio de 46 km da ETE Goiânia, na região de Goiânia/GO – cerca de 51% (LESSA, 2010). Apesar do valor relativamente baixo, em comparação às inaptas, estas áreas somam 18.270 km<sup>2</sup>.

Tornando a análise mais palpável, nessas áreas (classes I, II e III) seria possível dispor cerca 9.150.000 toneladas de lodo seco ao ano, considerando-se uma taxa de aplicação de 5 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de matéria seca. Destaca-se que a geração de lodo seco em toda a área de estudo foi estimada em 21.700 toneladas, isto é, 0,24% da capacidade de recepção dos solos. Trata-se de uma estimativa conservadora e segura, baseada nos resultados obtidos por Mantovi, Baldoni e Toderi (2005), que monitoraram os efeitos do uso de lodo no solo sob a taxa de aplicação indicada durante longo prazo (12 anos). Na prática, acredita-se que a taxa de aplicação seja superior, devido às características do solo e do lodo gerado na área de estudo, as quais devem ser analisadas previamente à aplicação do lodo para verificação do atendimento aos critérios estabelecidos na CONAMA 375, de 2006. Cabe mencionar, ainda, o potencial extra de aplicação de lodo em áreas classificadas no nível IV, não consideradas na estimativa anterior.

Uma vez que os dados empregados apresentam suas limitações, como defasagem temporal entre a data de coleta dos dados e a de desenvolvimento do mapeamento e escala de cada base de dados, destaca-se que os valores de área apresentados são referenciais para o gerenciamento de lodo. Mesmo considerando estas ressalvas, no geral, a metodologia empregada foi conservadora em diversos aspectos, o que pode ter superestimado as áreas restritas ao uso do lodo. Assim, o mapa desenvolvido não dispensa uma avaliação *in loco* das condições da área para aplicação do lodo de esgoto sanitário com fins agrícolas, devendo esta avaliação ser conduzida por profissional habilitado.

### **6.3 Percepção dos produtores rurais acerca do uso do lodo de esgoto em atividades agrossilvipastoris**

Conforme mencionado, esta etapa da pesquisa foi explorada por meio de um grupo focal com sete produtores rurais. A reunião teve duração de 2 horas e 30 minutos, aproximadamente. Por se tratar de um método flexível, no qual os participantes discutem de uma forma relativamente livre dentro de um contexto proposto, durante as discussões alguns assuntos podem ser eventualmente antecipados em relação ao previsto no roteiro. Diante da diversidade de opiniões e riqueza de detalhes, após o grupo focal foi realizada a transcrição dos áudios gravados e avaliação das informações registradas durante a reunião pelos auxiliares. Assim, de posse dos dados coletados procedeu-se à organização dos resultados, os quais foram apresentados de acordo com a temática a que se refere.

#### **6.3.1 Contextualização dos perfis e breve histórico da vivência no meio rural**

O grupo focal foi iniciado com uma breve rodada de apresentações com o intuito de se romper possíveis barreiras e iniciar a integração dos participantes. Constatou-se que alguns dos presentes já se conheciam, o que era de se esperar, uma vez que pertencem a um grupo social em comum (produtores rurais) e alguns deles residem no mesmo município. A homogeneidade em relação ao grupo social e aspecto regional contribuiu para que estes conseguissem dialogar (RUBINGER, 2008). Devido a estas semelhanças, o relato de um participante ecoava nas experiências de outros, o que facilitou a compreensão e complementação dos temas pelos participantes.

Apesar de compartilharem semelhanças, as diferenças foram notadas em relação a outros aspectos, como porte, gênero, idade, instrução, local de residência (urbano ou rural), fato que enriqueceu o debate. Dentre os participantes presentes, três possuem propriedades em Nova

Lima, três em Rio Acima e um em Sabará. Em relação ao gênero, havia somente uma mulher, que informou ter ido à reunião representando seu marido, uma vez que compartilham as responsabilidades da lavoura. Todos os participantes têm idade superior a 40 anos, sendo a maioria casada. Apenas um declarou ter ensino superior completo.

Em relação ao histórico no meio rural, todos os participantes são produtores há mais de uma década, e afirmaram ter vínculos de longo prazo com atividade agropecuária. Observou-se grande variedade em relação ao porte das propriedades, variando de 4 a 180 ha. Nesse quesito, dois participantes destoaram dos demais, visto que cada um possui duas propriedades, totalizando 190 e 330 ha. Cumpre ressaltar que extrapolou-se o porte da propriedade para a caracterização do porte do produtor. Apesar da simplificação, sabe-se que a produção não é diretamente proporcional ao tamanho da propriedade. Ao contrário, dependendo das características locais (por exemplo, baixo potencial de mecanização), é possível que menores propriedades apresentem maior produtividade. Porém, como não foi possível obter outro indicador (como renda, item abordado nos tópicos a seguir) para caracterização quanto ao porte de cada produtor, assumiu-se esta simplificação.

O porte da propriedade esteve relacionado à forma de lida na terra. Enquanto os pequenos produtores declararam compartilhar as responsabilidades da produção e manutenção das propriedades com cônjuges, filhos e parentes, os grandes produtores delegam tais responsabilidades a funcionários, ficando à cargo da supervisão e acompanhamento das atividades. Outra diferença quanto ao porte do produtor foi a frequência de sua presença na propriedade. Todos os pequenos produtores, pelo fato de desempenharem as atividades do dia-a-dia da propriedade, residem nos imóveis rurais. Já os grandes proprietários relatam ir às propriedades semanalmente ou duas vezes por semana, de forma a conciliar com outras atividades não relacionadas à propriedade rural.

*“Sou hoje residente em Rio Acima, moro no sítio, que tem aproximadamente doze ha. Aí tem lá umas cinco cabeças de vaca, minha fonte de esterco né, e planto mais pra mim mesmo, pra minha família. Eu já participei da feirinha, com [indica outro participante] aqui, em Rio Acima, vendendo, mas hoje eu estou ausente da feirinha. Então hoje o que eu produzo é só pra mim mesmo, pra sustentar o gado, sustentar galinha, o milho que eu colhi. Eu tenho esse sítio desde 1985. Bastante tempo ai....e hoje eu aposentei e estou morando definitivamente lá.”*

Pequeno produtor rural, Rio Acima/MG.

As principais atividades desempenhadas são a agricultura e a pecuária. Pouco mais da metade dos presentes cultivam olerícolas (folhosas, raízes e tubérculos), seja para venda ou para consumo próprio. Alguns cultivam milho, pastagem e cana-de-açúcar para a manutenção de outras atividades, como criação de animais. Em geral, as criações mais comuns são gado, destinado à comercialização de leite e abate, além de galinhas, sendo que dois produtores comercializam ovos caipira. Um produtor possui criação de equinos de raça, para venda em leilões, e outro desenvolve apicultura, para comercialização de mel orgânico. Um produtor utiliza o plantio de cana-de-açúcar para produção e comercialização de aguardente.

### **6.3.2 Uso de insumos agrícolas**

Dentre os equipamentos utilizados no manejo do solo e das culturas, os participantes foram unânimes quanto ao uso de ferramentas manuais não mecanizadas, como enxada, enxada, foice, facão, machado, cavadeira. Alguns produtores citaram, ainda, o uso de motosserra, roçadeira e carro de boi.

Em relação aos insumos agrícolas comumente aplicados nos cultivos, foram citados compostos orgânicos, corretores de acidez do solo e adubos minerais. Segundo os produtores, as motivações para o uso desses insumos vão desde a necessidade de se controlar a acidez do solo à necessidade de aumento da produtividade de seus cultivos. Em geral, afirmaram aplicar estes insumos manualmente, logo após a colheita.

Os compostos orgânicos compreendem, basicamente, o esterco bovino – aplicado diretamente no solo ou compostado com outros materiais, cama de frango, forragem das baias de equinos, entre outras fontes de matéria orgânica, como bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de poda. Exceto pelo esterco, que dois produtores afirmaram adquirir de fontes externas, os demais compostos orgânicos são gerados nas propriedades, sem custos aos produtores. Segundo os participantes, o principal corretor de acidez do solo é o calcário dolomítico, cuja aquisição foi apontada como fator limitante ao uso. Entre os adubos minerais, foram citados aqueles a base de nitrogênio, fósforo e potássio, cuja proporção de cada elemento pode variar conforme a necessidade da cultura e características do solo. Destaca-se que nem todos os produtores afirmaram fazer uso dos adubos minerais, sendo que um dos produtores (grande produtor) declarou não considerá-los uma boa técnica. Assim como o calcário, a principal dificuldade em relação ao uso dos adubos minerais está associada ao seu custo de aquisição.

Em geral, as técnicas de adubação indicadas anteriormente são tradicionais e consolidadas no setor agropecuário brasileiro. Associado à ampla difusão das técnicas, todos os participantes demonstraram conhecimento quanto ao uso dos insumos, chegando a mencionar a necessidade de aplicação devido às características dos solos da região, como alto teor de ferro e alumínio. Este argumento foi rebatido por um dos participantes que declarou não haver solo perfeito, posto que todo solo precisa de algum tipo de correção ou complementação. Já um outro participante apontou para a necessidade de se manter o equilíbrio ideal entre carbono e nitrogênio na produção do composto. Além de conhecerem as indicações e benefícios de cada insumo, transmitiram segurança quanto ao uso racional de tais insumos e possíveis contraindicações. Por exemplo, um dos produtores afirmou ter contratado responsável técnico para realização de análises de solo quando da implantação de pastagens e lavouras, tendo concluído pela aplicação de calcário dolomítico.

Além dos insumos já mencionados, foram citados outros tipos, menos convencionais. Um dos participantes, apicultor, afirmou que, após assistência de um técnico da EMATER, passou a utilizar a água residuária gerada no beneficiamento do mel como fertilizante, apresentando ótimos resultados nos cultivos aplicados. Adicionalmente, um dos presentes relatou sua experiência com dois tipos de lodo gerados no tratamento de efluentes de laticínios, que lhe foram doados por uma indústria instalada nas proximidades de sua propriedade. De acordo com o produtor, um deles possui odor desagradável, coloração branca e aspecto líquido a pastoso e, segundo ele, possui soda cáustica em sua constituição. Por este motivo, verificou que sua aplicação promove a queima das folhagens caso aplicadas diretamente nas mesmas. Já o outro tipo de lodo é inodoro e não prejudicial quando em contato direto com as plantas.

Alguns dos presentes questionaram a qualidade do produto e a possibilidade de aporte excessivo de substâncias no solo, como o nitrogênio. Nesse ponto, cabe ressaltar que, aparentemente, o produtor não recebeu instruções claras quanto à forma de aplicação ou acompanhamento de um profissional. Segundo ele, em uma das aplicações houve o despejo do material no terreno, seguido de escoamento superficial do mesmo. No local atingido pelo material foi realizado o plantio de uma folhagem, sendo seu desenvolvimento excelente. Em uma outra experiência, o produtor afirmou que durante a aplicação deveria ter realizado a incorporação do mesmo no solo, porém não o fez. O material ficou exposto no solo, secou e, em seguida, trincou superficialmente. Da mesma forma, houve o plantio de sementes no solo, que desenvolveram vigorosamente.

Nesse sentido, destaca-se a necessidade de acompanhamento técnico para a disposição do material e capacitação do produtor quanto à forma de aplicação do lodo, visto que negligenciar estas etapas pode resultar em irregularidades e danos ao meio ambiente, à saúde do produtor e, em última instância, à segurança alimentar do consumidor final. Nesse sentido, caso o lodo do laticínio fosse destinado como resíduo, recairia sobre a indústria a responsabilidade pela destinação do mesmo, conforme previsto na Lei 12.305, de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010). Ora, ainda que na concepção de subproduto, é imprescindível a definição de responsabilidades no controle do material e o acompanhamento do subproduto em todo o seu ciclo.

Ressalta-se, ainda, o desejo desse mesmo produtor em realizar a compostagem do lodo de laticínio junto a outros materiais. Entretanto, lhe foi informado a necessidade de licenciamento ambiental que permita a realização da compostagem. Segundo ele, o valor do processo é um fator limitante à implementação da prática.

*"Melhor comprar esterco que fica mais barato [ao ouvir o relato do outro produtor sobre o custo da licença ambiental]"*

Pequeno produtor rural, Rio Acima/MG.

Especialmente no caso de pequenos produtores, nota-se que o auxílio e acompanhamento técnico externo torna-se ainda mais relevante na aceitação ou não do produto, uma vez que o custo associado ao processo pode desestimular estas práticas. As dificuldades relatadas pelos produtores e suas implicações em relação ao uso do lodo de esgoto sanitário estão apresentadas e discutidas nos tópicos seguintes.

### **6.3.3 Visões e dificuldades dos participantes relacionadas às atividades agrossilvipastoris**

Os relatos dos produtores indicam dificuldades tanto a nível macro, como questões climáticas ou culturais, quanto micro, como especificidades dos municípios em que residem e adversidades particulares. Segundo eles a conjuntura dos fatores apontam para desafios constantes que dificultam ou até inviabilizam a permanência no meio rural e a manutenção das atividades agrossilvipastoris. Questionados sobre a renda advinda da produção rural, observou-se que os produtores preferiram tangenciar o tema. Inferiu-se que este comportamento poderia estar relacionado ao desconforto em detalhar o assunto ou mesmo em

razão da falta da informação. Assim, optou-se por questionar sobre a viabilidade e vantagens de ser produtor rural no Brasil, sendo que alguns foram enfáticos, como a seguir:

*“A gente é porque é teimoso né, é uma cachaça. Porque valer a pena não vale não. Você não tem o suporte.”*

Grande produtor rural, Rio Acima/MG.

*“Eu também trabalho no vermelho, então você não consegue empatar não [receitas e despesas].”*

Grande produtor rural, Nova Lima/MG.

As principais carências relatadas pelos participantes estão relacionadas ao suporte fornecido pelo poder público local. Os produtores foram unânimes em questões como falta de incentivos e subsídios das prefeituras, falta de estrutura para comercialização dos produtos, como disponibilização de feiras, barracas e transporte aos produtores que não têm meios próprios de condução. Segundo eles, estes são benefícios que já existiram em gestões passadas, mas que hoje, por questões políticas, foram extintos. Alguns relataram a inexistência de políticas públicas no âmbito federal, estadual e municipal que incentivem a produção no meio rural. Outro ponto marcante nas falas nos participantes está associado à valorização do seu trabalho, conforme depoimento a seguir.

*“O que falta na verdade é uma política pública, tanto federal, estadual ou municipal, voltada para os pequenos produtores que atendam. Não é carregar o pequeno produtor nas costas não, que ele não precisa disso e não quer isso. Ele quer dignidade e reconhecimento do trabalho dele.”*

Grande produtor, Rio Acima/MG.

Relataram, ainda, a concorrência com associações e cooperativas de outros municípios. Segundo um pequeno produtor, no caso de compras públicas, dever-se-ia priorizar a compra dos produtos cultivados no próprio município. Já um outro participante, afirmou que o agronegócio está suprimindo o pequeno produtor, que, em função da menor escala da produção, está perdendo o poder de negociação dos seus produtos. Foi citado também, a competição com redes de supermercados, associada à preferência dos consumidores em adquirir produtos comercializados nestes estabelecimentos, em detrimento do consumo direto com o produtor – por meio de feiras, por exemplo.

Soma-se a estes fatores, questões ambientais que intervêm no cultivo. Mais da metade dos presentes afirmaram que o cenário de escassez hídrica é um dos desafios à continuidade das atividades. Outros mencionaram limitações relacionadas ao tipo de solo, potencialmente superadas com o uso dos insumos agrícolas. Uma das passibilidades apontadas para facilitar o manejo do solo seria a disponibilização, pelo poder público, de maquinário agrícola para preparo do solo e transporte e aplicação de insumos, suporte existente em outras regiões rurais do Brasil (PORTO, 2016). Alguns participantes citaram o exemplo de um município vizinho, no qual a prefeitura auxilia produtores em toda a cadeia produtiva, desde o transporte de insumos, preparo do solo e plantio das lavouras, até a concessão de ponto de venda dos produtos. Segundo eles, este tipo de apoio viabiliza o desenvolvimento das atividades, pois, caso contrário, o produtor tem de desempenhar, sozinho, diversas tarefas, fator limitante quando não se dispõem de mão-de-obra ou não é possível arcar com seus custos.

Alguns produtores mencionaram a perda da vocação agrícola nesses municípios. Segundo eles, a região em que estão inseridos não é tipicamente agrícola e os poucos produtores que persistem no local estão descontinuando suas atividades por diversos fatores. Além das dificuldades já indicadas, alguns produtores de Nova Lima comentaram o fato da prefeitura local ter iniciado a cobrança de IPTU (Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana) em todo o município, uma vez que, segundo eles, toda a área do município passou a ser considerada área urbana ou de expansão urbana. Adicionalmente, um dos participantes citou a especulação imobiliária e a migração da população urbana da capital do estado, Belo Horizonte, para áreas anteriormente destinadas à lavouras, o que contribui para o êxodo dos produtores e enfraquecimento das atividades agrossilvipastoris na região. Todos esses fatores culminam na desvalorização da cultura agrícola e em custo de produção elevado, que, em geral, não é compensado pelas receitas obtidas com a venda da produção.

Entretanto, merece destaque o forte laço que os mantém no meio rural, que mesmo com todas as adversidades apresentadas ainda mantém perspectivas de ampliar a produção e voltar a comercializar seus produtos. De acordo com os presentes, o diferencial para continuidade das atividades dos pequenos produtores da região deve perpassar por temas como agricultura sustentável, produção agroecológica, sem o uso de agrotóxico, mais “limpa”. Um dos produtores citaram ainda o potencial de se explorar o turismo agroecológico na região.

*“Acho que ainda vale a pena [ser produtor rural] que quando a gente vê os métodos de produção hoje, essas grandes agriculturas aí, os usos*

*indiscriminados de agrotóxicos...outra coisa é na pequena propriedade que você pode produzir assim, mais limpo, uma coisa mais verdadeira. Então acho que ainda vale a pena né.”*

Pequeno produtor rural, Rio Acima/MG.

Nesse sentido, não consideram seu trabalho apenas uma forma de subsistência, ao contrário, todos valorizam as atividades desenvolvidas no meio rural, atividades estas fundamentais para o desenvolvimento econômico e social do país. No entanto, especialmente no caso dos pequenos produtores, consideram o suporte advindo de agentes externos imprescindível à materialização dos seus anseios, quais sejam: ampliação e fomento ao cooperativismo, desenvolvimento de modelos de fomento à agricultura local, flexibilização de regras e legislações aplicadas aos pequenos produtores rurais, acesso ao crédito agrícola, investimento em equipamentos e estruturas de escoamento da produção, entre outros.

#### **6.3.4 Ciência, conhecimento e sustentabilidade**

Como esta etapa do trabalho compõe uma pesquisa acadêmica, realizou-se uma breve avaliação do contato e percepção dos participantes em relação às descobertas e conhecimentos desenvolvidos nos institutos de pesquisa no Brasil e no mundo. Todos os participantes reconheceram a importância das pesquisas acadêmicas, embora poucos demonstraram buscar as informações de forma mais efetiva. De forma geral, os presentes manifestaram maior interesse por áreas correlatas às atividades desenvolvidas em suas propriedades, em especial alternativas visando ao aumento da produtividade no campo. Dentre os participantes, três demonstraram maior domínio de informações técnicas, sendo que um deles revelou ser engenheiro sanitário.

Complementarmente, era de interesse da equipe de pesquisa compreender o que os participantes entendem por sustentabilidade. Uma das hipóteses de pesquisa é a de que, sendo um subproduto do tratamento do esgoto sanitário e primando pelo aproveitamento do mesmo, o lodo de esgoto poderia carregar consigo o apelo da sustentabilidade, o que poderia ser um diferencial a favor de seu uso.

Assim como no que tange à busca por conhecimento gerado no meio acadêmico, a discussão acerca do entendimento sobre sustentabilidade foi breve, mas foi possível perceber que a maioria dos presentes já teve contato com a expressão, ainda que não tenham emitido uma opinião mais embasada sobre o tema. Neste ponto, destaca-se que três participantes (dentre

eles os dois grandes produtores) demonstraram conhecimento mais aprofundado sobre o assunto, relacionando-o a aspectos como reciclagem de materiais, finitude de recursos naturais, equilíbrio ecológico, preservação ambiental, minimização de impactos ambientais, qualidade de vida, entre outros.

### **6.3.5 Primeiras impressões sobre o uso do lodo de esgoto como insumo agrícola**

Tendo-se explorado as temáticas relacionadas aos insumos agrícolas (tradicionais e menos usuais), dificuldades no meio rural e conhecimento sobre pesquisas acadêmicas e sustentabilidade, criou-se condições para direcionar o foco da reunião para o lodo de esgoto sanitário. Nesse sentido, foi interessante notar as percepções acerca do uso desse subproduto em momentos distintos da discussão. Inicialmente, os participantes foram questionados se conheciam ou já tinham ouvido falar sobre lodo de esgoto sanitário, sem que a equipe de pesquisa apresentasse informações prévias sobre o tema. Alguns dos presentes tinham uma ideia vaga do que se trata o lodo enquanto outros não sabiam a que se referia a expressão.

À medida que alguns dos participantes opinavam sobre o tema, outros começavam a compreender melhor o que estava sendo discutido, tornando claro para os pesquisadores o efeito da sinergia entre o grupo para a dinâmica da reunião e construção do conhecimento. Este efeito foi observado principalmente após os depoimentos de dois produtores: um grande produtor, engenheiro sanitário, que pela formação técnica avançou na discussão inicial e se mostrou favorável ao aproveitamento do lodo de esgoto sanitário; e um pequeno produtor, que apesar de não possuir o conhecimento técnico aprofundado, atestava, por experiência própria, os efeitos benéficos do lodo de laticínio nos cultivos, ainda que não soubesse esclarecer as diferenças entre o lodo de laticínio e o lodo de esgoto sanitário.

Exceto pelos dois produtores citados, os demais participantes apresentaram desconfiança a respeito do uso do lodo em áreas de cultivo, enquanto um se mostrou claramente contra esta prática. Foi ampla a gama de motivações para justificar a aversão ao lodo de esgoto sanitário. Um dos produtores associou a aversão ao surgimento dos primeiros relatos de dengue no município de Rio Acima, logo após o poder público municipal consentir quanto à disposição de resíduos (segundo o produtor, resíduos de esgoto sanitário), gerados em Belo Horizonte, no município vizinho. Segundo o produtor, este episódio criou uma imagem negativa, ainda que inconscientemente, em relação ao esgoto sanitário e seus subprodutos.

Outro produtor lançou mão dos hábitos alimentares e de consumo da população, como o uso de substâncias químicas para higiene pessoal e limpeza doméstica, para fundamentar sua desconfiança em relação ao aproveitamento do material.

*“A minha ideia é que isso é de origem humana. Se é humana, nós somos onívoros. Onívoros, quer dizer, come carne, come um tanto de trem, encrenca, o esterco não é confiável, eu acho que não...No seu vaso sanitário você joga desinfetante, não sei o quê, um tanto de coisa química. No final lá alguma coisa química vai ter ali, vai ter um contaminante ali. Vou jogar isso na minha planta? Eu não confio. No final lá vai ter um resíduo, não é confiável.”*

Pequeno produtor rural, Rio Acima/MG.

Complementarmente, alguns produtores declararam a rejeição do consumidor final ao estar ciente do uso do lodo de esgoto sanitário para o cultivo do produto que está sendo comercializado. De acordo com um dos presentes, mesmo a ureia, insumo empregado como fonte de nitrogênio para as plantas, possui grande rejeição entre os consumidores. Na opinião de alguns, se os consumidores já apresentam restrições em relação à ureia, com o lodo a rejeição será similar ou mesmo mais severa.

### **6.3.6 Viabilidade prática do aproveitamento do lodo de esgoto sanitário em atividades agrossilvipastoris**

Prosseguindo com a dinâmica, foi apresentado, brevemente, o fluxograma de geração e tratamento do lodo nas estações de tratamento de esgoto sanitário. Nesse ponto, o participante que tem formação em engenharia sanitária complementou a exposição, buscando tranquilizar os demais sobre a segurança do processo: de acordo com ele, os microrganismos que depuram o esgoto eliminam praticamente todos os patógenos durante o tratamento na ETE e o beneficiamento do lodo (composto por estes microrganismos) promove a morte de tais microrganismo, restando apenas os elementos que os compunham, como nitrogênio, fósforo e potássio.

A partir desse momento, observou-se o início da mudança de postura dos produtores que se mostravam relutantes ao uso benéfico do lodo de esgoto sanitário nos cultivos. Alguns reconheceram a necessidade de desmistificar a imagem negativa associada ao subproduto, uma vez que, dependendo dos processos de beneficiamento do mesmo pode-se obter um produto atrativo.

Contudo, surgiram outras indagações sobre o lodo, desta vez relacionadas à forma de aplicação e culturas aptas ao seu aproveitamento. Foi possível notar que, em geral, a maior preocupação dos produtores está relacionada aos aspectos sanitários. A maioria dos produtores se mostrou contra a aplicação em espécies folhosas, tubérculos, entre outras, nas quais pode haver o contato direto com o lodo de esgoto sanitário. O produtor inicialmente mais relutante, declarou a possibilidade de uso do material na recuperação de áreas degradadas e silvicultura, mas se manteve receoso quanto ao uso em culturas comestíveis – além das folhosas e tubérculos, incluiu também espécies frutíferas no grupo de culturas inaptas à aplicação do lodo.

*“Eu tenho resistência pra usar em agricultura de folhagem, alface e tal, eu não usaria nunca. Poderia usar assim, talvez numa frutífera, numa capineira, cana, pra você tratar de gado. Talvez sim, mas pra que use direto ali pra gente, eu ainda tenho muita resistência.”*

Pequeno produtor, Rio Acima/MG.

Alguns dos presentes relacionaram esta prática aos registros de civilizações antigas que indicam o aproveitamento de excretas humanas em áreas de plantio (um dos produtores chegou a cunhar o termo “esterco humano” para fazer menção ao material). Segundo eles, este artifício visava a suprir a demanda por nutrientes e garantir a manutenção da produtividade das lavouras, porém destacaram que, no Brasil, a oferta de outros tipos de insumos, como o esterco animal, tornou desnecessário o uso do lodo de esgoto sanitário para este fim.

Paralelamente, um dos participantes (que já pratica o uso do lodo de laticínios) questionou sobre a forma de aplicação do lodo de esgoto sanitário e se o material seria de aspecto sólido ou líquido. Foi possível inferir que um dos motivos do questionamento estava associado à necessidade de se realizar ou não a compostagem do material, uma vez que o mesmo relatou ter tido dificuldades para a obtenção da licença que o autorizaria a realizar a compostagem do lodo de laticínio. Ademais, a equipe de pesquisa foi indagada sobre a forma de disponibilização do lodo de esgoto sanitário, isto é, se estaria prontamente apto à aplicação ou se demandaria processo adicional de beneficiamento.

Um ponto levantado durante as discussões refere-se a possíveis contaminações oriundas de outras fontes que não a doméstica, como indústrias e hospitais. Nesse sentido, os produtores debateram a respeito da necessidade de certificação do material, atestando sua segurança.

Relacionado à segurança, alguns produtores relataram a necessidade da certificação com vistas ao atendimento das exigências estabelecidas para o cultivo de produtos orgânicos. Do ponto de vista legal, diversas experiências internacionais apontam para a restrição da inclusão do lodo de esgoto sanitário na categoria de fertilizantes orgânicos (CHRISTODOULOU; STAMATELATOU, 2016). Logo, entende-se que esta pode ser uma questão dualista para os produtores, uma vez que mesmo que desejem praticar o uso do lodo de esgoto, enxergam a agricultura orgânica como possível diferencial para a manutenção das atividades no campo, tendência observada principalmente no caso de pequenos produtores (PORTO, 2016). Assim, a compatibilização de ambas as questões pode representar um possível desafio aos produtores no futuro, fato que deve ser discutido na etapa de planejamento e viabilidade do uso do lodo de esgoto sanitário em atividades agrossilvipastoris.

Já em outro ponto vista, um dos produtores relatou que o maior problema associado ao uso do subproduto do tratamento do esgoto sanitário seja a questão cultural, principalmente em relação ao consumidor final. Em sua opinião, o aspecto técnico é contornável, uma vez que os avanços tecnológicos são capazes de garantir a segurança para uso do lodo de esgoto, embora não descarte a necessidade de certificação do mesmo. Conforme relatado anteriormente, a preocupação acerca da segurança do material se ateve, predominantemente, ao aspecto sanitário, que, de fato, é contornável. Apenas ao final da discussão um dos produtores cita, brevemente, os riscos associados ao aporte excessivo de nutrientes e presença de metais pesados, assunto explorado adiante.

Problematizando a questão cultural, um dos participantes declarou que muitas outras práticas agrícolas são, a rigor, pouco cautelosas quanto à segurança sanitária, mas o consumidor não costuma se questionar sobre isso. Para ilustrar seu ponto de vista, deu o exemplo da qualidade da água: sabe-se que as fontes de água no Brasil, sobretudo nas áreas próximas a maiores aglomerados urbanos, estão com qualidade comprometida, mas, em geral, os consumidores não buscam maiores informações sobre a qualidade da água que foi utilizada nas plantações para irrigar os produtos consumidos. Citou, ainda, o fato de inúmeros produtores praticarem o uso indiscriminado de agrotóxicos em suas lavouras e o consumidor, em geral, também não se questiona quanto a isso. Adicionalmente, um dos produtores não demonstrou preocupação quanto à aplicação do lodo de esgoto sanitário, pois esse seria incorporado na base das plantas e não nas folhas, como no caso da irrigação. Entretanto, esse argumento foi prontamente

rebatido por outro produtor que relatou a exposição à contaminação no caso de outras espécies, como raízes e tubérculos.

De forma a incrementar a discussão, foi exibido um vídeo com depoimentos de produtores rurais do Paraná quanto ao uso do lodo de esgoto nas lavouras. O vídeo contribuiu para convencê-los ainda mais sobre os efeitos benéficos do subproduto, apesar de alguns dos produtores ainda terem transparecido certa desconfiança quanto à proposta apresentada.

O último recurso empregado dentre as técnicas expositivas foi a apresentação de duas amostras de lodo de esgoto sanitário, sendo uma lodo *in natura* (desidratado sob altas temperaturas) e outra lodo compostado com casca de café. Inicialmente, os participantes preferiram não abrir os frascos com as amostras, possivelmente por estarem se servindo junto à mesa de lanches. Oportunamente, um dos técnicos das EMATER, que assistia a discussão, se prontificou a abrir os frascos. Logo em seguida, ele cheirou as amostras e circulou-as entre os participantes, que curiosos quanto ao comportamento do técnico, repetiram a ação.

Observou-se que apenas um produtor demonstrou asco em relação às amostras, afirmando não se tratar de um produto “saudável”. Os demais, não apresentaram restrições quanto ao aspecto ou odor das amostras. Alguns chegaram a comparar os materiais com outros insumos comumente empregados na lavoura, conforme observado nos relatos a seguir.

*“Aquele [lodo desidratado sob altas temperaturas] está parecendo o NPK né [adubo mineral granular].”*

Pequeno produtor rural, Rio Acima/MG.

*“Qualquer adubo orgânico vai ter essa cor [referindo-se à amostra de lodo compostado com casca de café].”*

Pequeno produtor rural, Nova Lima/MG.

Conforme observavam as amostras foi questionado aos respondentes se, em sua opinião, seriam necessários EPIs (Equipamentos de Proteção Individual) específicos para a aplicação do lodo agrícola no solo, ao que os participantes indicaram que comumente não utilizam muitos equipamentos além das habituais calças compridas e botas. No que tange especificamente à utilização de luvas nas atividades, foi indicado que estas limitam os movimentos e, por esse motivo, não costumam utilizá-las. Já a máscara respiratória, alguns produtores afirmaram que as utilizam apenas para a aplicação de agrotóxicos nos cultivos.

Após terem sido apresentadas informações complementares sobre o lodo de esgoto sanitário, os produtores foram novamente indagados quanto à propensão ao uso do mesmo. Nesse ponto, todos os presentes se mostraram dispostos ao seu uso em suas propriedades, ainda que a título de experiência. Pouco mais da metade dos participantes acenaram que aplicariam o lodo de esgoto, pelo menos inicialmente, somente em culturas em que não haja contato direto com o material. Em relação aos cultivos de médio a longo prazo, silvicultura ou recuperação de áreas degradadas, todos os produtores acreditam ser viável o uso do subproduto. De forma geral, os participantes indicam que a aplicação deve ser priorizada para estas finalidades.

Em relação às possíveis clivagens, destaca-se que os fatores que parecem estar mais ligados à aceitação do lodo de esgoto sanitário para aproveitamento em atividades agrossilvipastoris são a quantidade de informações técnicas de que os produtores dispõem e suas experiências prévias com o uso do insumo ou de outros insumos não-convencionais. O tamanho da propriedade parece importar menos nesse caso.

Uma vez que o grupo convergiu quanto a aceitação do uso do lodo de esgoto sanitário para determinados segmentos das atividades agrossilvipastoris, foram exploradas temáticas complementares para a disseminação desta prática no Brasil. No sentido de verificar possibilidades discursivas de preparação de argumentos para a viabilidade comercial do uso agrícola desse lodo, foram testados argumentos favoráveis e contrários ao seu uso, com naturezas discursivas diferentes. Alguns argumentos primavam pela linha da sustentabilidade, e outros pelo apelo comercial. Na Tabela 6.5 estão sintetizadas as percepções dos presentes sobre a força e coesão dos argumentos testados em campo.

Em relação ao potencial de ampliação do uso do lodo de esgoto sanitário, todos acreditam ser possível, desde que todas as partes envolvidas se engajem na superação das dificuldades, tanto de cunho técnico e logístico quanto comercial e cultural. Este último aspecto é de suma relevância e deve ser incorporado no desenvolvimento de estratégias para disseminação do aproveitamento do lodo de esgoto em atividades agrossilvipastoris. A maioria dos presentes enfatizaram que a ampliação do uso desse lodo perpassa necessariamente pela conscientização e aceitação de seus clientes, caso contrário, a comercialização da produção poderá não se concretizar.

**Tabela 6.5** – Percepção dos participantes em relação aos argumentos a favor e contra o uso do lodo de esgoto sanitário em atividades agrossilvipastoris.

<b>Argumentos a favor</b>	
Diminuição dos custos de aterro/acondicionamento do lodo	O argumento foi visto como verdadeiro, mas insuficiente. A fragilidade está associada ao baixo quantitativo de lodo em comparação ao volume dos demais resíduos. O argumento somente faria sentido caso se garantisse uma utilização em larga escala do lodo agrícola, o que pode ser demorado, por se tratar de um processo de mudança de uma mentalidade já arraigada.
Concentração de nutrientes necessários aos vegetais	Um dos produtores apontam o argumento como fraco, pois a princípio são necessárias mais evidências científicas que o corroborem, de preferência em uma linguagem acessível ao grande público. Outros produtores rebatem, indicando ser um argumento forte e consolidado.
<b>Argumentos contra</b>	
Aumento nos níveis de nitrato no solo, se utilizado em doses superiores à recomendada	O argumento foi visto como fraco, uma vez que a maioria dos respondentes não tinha clareza sobre quais seriam os níveis ideais de nitrato no solo e quais seriam os efeitos prejudiciais de seu excesso de concentração.
Não é adequado a culturas com contato direto com o lodo	O argumento foi visto como forte pelos participantes. Uma potencial utilização do lodo neste tipo de cultura exigiria, por consequência, algum processo de garantia da qualidade do produto, como uma certificação, sob pena de o uso do produto inviabilizar sua comercialização em larga escala. Foi indicada a necessidade de capacitação dos produtores quanto ao uso apropriado do lodo.

Interessante notar o comentário de um dos participantes acerca do potencial de ampliação da cobertura de esgotamento sanitário em função da demanda de lodo de esgoto, caso esta prática se consolide nos próximos anos.

*“Eu vejo um aspecto assim, vamos imaginar. Vai que esse lodo vai colar, vamos supor. Então a demanda vai crescer muito, então você pode estimular outros tratamentos, aumentar o tratamento de esgoto no Brasil, que é muito pequeno ainda né.”*

Pequeno produtor rural, Rio Acima/MG.

Na última etapa da dinâmica os participantes foram convidados a sintetizar os principais tópicos da discussão na forma de um *canvas* de negócios. Esta é uma ferramenta consolidada e difundida de gerenciamento estratégico, que permite desenvolver e analisar modelos de negócios existentes ou em desenvolvimento. Na presente pesquisa foi utilizada uma versão

resumida do *canvas* para não comprometer o tempo disponível para a dinâmica. Na Tabela 6.6 estão apresentados os resultados do preenchimento coletivo do *canvas*.

**Tabela 6.6** – *Canvas* de negócios abordando os principais tópicos da discussão sobre o uso do lodo de esgoto sanitário em atividades agrossilvipastoris.

<b>Como o produto será distribuído, transportado, beneficiado etc.?</b>	
<b>Estrutura de custos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estação de distribuição do lodo e beneficiamento do produto com outras matérias orgânicas, gerando um produto diferenciado e seguro (gerenciada pelos municípios dos arredores, como em um convênio);</li> <li>- Um desses municípios pode ser um entreposto, e os produtores viriam e buscariam o material;</li> <li>- Disponibilização do lodo de forma preferencialmente gratuita;</li> <li>- Cadastro de produtores para a distribuição direta na propriedade (especificando-se a ETE de referência).</li> </ul>
<b>Do que será preciso?</b>	
<b>Recursos e processos necessários</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Processo de certificação;</li> <li>- Divulgação (Marketing) e sensibilização do público;</li> <li>- Espaço de estímulo à agricultura orgânica nos municípios (certificado de qualidade da adubação).</li> </ul>
<b>Quem precisa se envolver?</b>	
<b>Parcerias necessárias</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestão pública municipal (convênios intermunicipais) (incentivo financeiro, logística etc.);</li> <li>- EMATER e EMBRAPA;</li> <li>- Copasa, SAAE e outros fornecedores do lodo.</li> </ul>
<b>Quais são os ganhos e resultados possíveis?</b>	
<b>Valores agregados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução de custos;</li> <li>- Fortalecimento da agricultura orgânica;</li> <li>- Melhoramento da produtividade do solo.</li> </ul>
<b>Quem pode se beneficiar?</b>	
<b>Interessados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Produtor;</li> <li>- Gestão municipal;</li> <li>- Consumidor (tem um produto de qualidade a um preço acessível).</li> </ul>

Um dos participantes aventou a possibilidade de se desenvolver um projeto piloto, como vitrine para divulgação da técnica na região. Entende-se que, se apenas com o uso de técnicas expositivas foi possível iniciar uma mudança de paradigma entre os produtores, é possível que o projeto piloto possa contribuir ainda mais nesse processo. Para tal, apontaram a necessidade de a academia e a extensão rural (representada pela EMATER) estarem mais próximas dos produtores rurais. Questionados se aceitariam realizar um projeto piloto em suas propriedades, todos acenaram positivamente para ideia, mesmo aqueles inicialmente mais céticos quanto à proposta.

Por fim, os profissionais da EMATER/MG, envolvidos na mobilização e na recepção aos participantes, discorreram brevemente sobre a importância dos resultados da pesquisa para o trabalho nas lavouras, denotando a importância de as universidades e a extensão rural estarem em constante simbiose. Já os participantes, agradeceram o convite e destacaram a importância de se repetir este tipo de reunião para discussão e capacitação. Destacaram também a necessidade de a academia aprimorar sua forma de comunicação dos resultados para o público amplo.

## 7 CONCLUSÕES

O objetivo macro do trabalho foi a avaliação do potencial técnico e social do aproveitamento do lodo de esgoto sanitário em duas bacias hidrográficas de MG, a bacia do Rio das Velhas e a bacias dos rios Jequitaiá, Pacuí e trecho do São Francisco. Para tal, investigou-se o modelo atual de gerenciamento do lodo, notadamente sua geração e disposição final; realizou-se o mapeamento de áreas aptas ao aproveitamento do lodo em atividades agrossilvipastoris e; avaliou-se a percepção de produtores rurais acerca do uso desse lodo com este fim. A seguir, estão elencadas as conclusões da pesquisa:

- Foram identificadas 70 ETEs em operação em ambas as bacias, com equivalente populacional total superior a 4 milhões de habitantes – para a vazão atual de operação. Destas 30 estão na RMBH, reflexo da elevada densidade populacional nessa região da bacia. Em relação ao porte, foram identificadas 41 ETEs com atendimento inferior a 10.000 habitantes, 25 ETEs com atendimento entre 10.000 e 100.000 habitantes e 4 ETEs com atendimento superior a 100.000 habitantes.
- Em relação à tipologia dos sistemas, observou-se predomínio, em termos de número de sistemas de tratamento em operação, de reatores UASB, seguidos ou não de pós-tratamento (51 unidades). Adicionalmente, observou-se a presença de sistemas constituídos por lagoas de estabilização (9 unidades), lodos ativados (5 unidades) e tanques sépticos seguidos de filtro anaeróbio (5 unidades). Já em termos de vazão de esgoto tratado, verificou-se a hegemonia dos lodos ativados, com 2.463 L/s, e reatores UASB, com 2.897 L/s.
- O total de lodo de esgoto desaguado gerado é de, aproximadamente, 81.000 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, contendo de 25 a 35% de sólidos totais, a depender do método de desaguamento. A predominância de ETEs de pequeno porte são um indício da geração descentralizada de lodo, ainda que em termos quantitativos esta esteja concentrada (cerca de 79% do total) nas ETEs de grande porte. As técnicas de desaguamento do lodo observadas foram somente a centrifugação e o uso de leitos de secagem.
- A principal forma de disposição final do lodo de esgoto são os aterros sanitários, responsáveis pelo recebimento de 77% do total de lodo gerado. Além desses, observou-se a prática de disposição em aterros controlados (20%), na própria ETE (< 1%) e, ainda, casos em que a disposição era desconhecida (3%). Em termos de número de ETEs em que se pratica determinada forma de destinação, observou-se que apenas 46% das ETEs enviam

seus lodos para aterros sanitários, o que demonstra a dificuldade de se realizar a disposição final adequada em todos os sistemas. Em geral, os maiores desafios estão nas ETEs de pequeno porte, cujos equivalentes populacionais são inferiores a 10.000 habitantes, as quais apresentam, também, grande potencial de aproveitamento do lodo em atividades agrossilvipastoris, podendo ser encarada como importante alternativa de destinação final deste subproduto do tratamento.

- Foram identificados 12 aterros sanitários licenciados e em operação nos municípios avaliados. Apesar de considerada ambientalmente adequada, em alguns casos, a distância entre o aterro sanitário e a ETE pode ser um entrave à destinação do lodo gerado nessas unidades.
- Em relação à tipologia do solo, sua ocupação e morfologia, foram avaliados 15 aspectos, subdivididos em 41 critérios. Observou-se que, em termos de área, os aspectos pedregosidade, susceptibilidade à erosão, textura e cursos d'água e nascentes (considerando-se suas APPs) foram os principais responsáveis pela limitação ao uso benéfico do lodo de esgoto sanitário no solo.
- Nas áreas com maior concentração de ETEs, verificou-se menor disponibilidade de áreas aptas ao uso benéfico do lodo no solo. Em relação à área total de estudo, cerca de 4% foi classificada como classe I (maior nível de aptidão); 10% classe II; 20% classe III; 13% classe IV e; 52% classe V (áreas inaptas ao uso do lodo). Ainda que se considere apenas as classes mais aptas ao uso do lodo (I, II e III), estas totalizam cerca de 18.300 km<sup>2</sup>, cujo potencial de recebimento de lodo pode atingir 9.150.000 t.ano<sup>-1</sup> (considerando-se uma taxa de aplicação de lodo de 5 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), enquanto a produção total deste subproduto é de 21.700 t.ano<sup>-1</sup>, em ambas as bacias hidrográficas estudadas.
- Informações sobre o lodo de esgoto sanitário, tais como forma de geração, composição, riscos associados e potencial de utilização se mostraram cruciais na aceitabilidade quanto ao uso desse subprodutos nas atividades agrossilvipastoris. A princípio, observou-se maior abertura para uso do lodo de esgoto sanitário em silvicultura, lavouras de longo prazo e para recuperação de áreas degradadas, em contrapartida houve grande rejeição para culturas em que haja contato direto da planta com o material.
- De forma geral, os principais entraves observados para a difusão da prática do uso benéfico do lodo de esgoto sanitário em solos foram: carência de apoio do poder público em toda a cadeia produtiva (plantio ou criação de animais, acesso à insumos, mecanização agrícola,

subsídios, comercialização dos produtos, entre outros); necessidade de certificação, atestando a qualidade do lodo/fertilizante orgânico; maior acesso às informações técnicas e instrução e capacitação quanto à forma de utilização; logística de distribuição e gratuidade na distribuição do material; campanha para conscientização do consumidor final, de forma que os produtores não tenham rejeição quando da comercialização de seus produtos; fortalecimento da agricultura na região, em especial visando à valorização do pequeno produtor.

- Em relação às possíveis clivagens, a princípio, os fatores que parecem estar mais ligados à aceitação do lodo para aproveitamento em atividades agrossilvipastoris são a quantidade de informações técnicas de que os produtores dispõem e suas experiências prévias com o uso do insumo ou de outros insumos não-convencionais. O tamanho da propriedade parece importar menos nesse caso, embora devam ser realizados outros grupos focais para a certificação dessa tendência.

## 8 RECOMENDAÇÕES

Ao final do presente estudo e considerando os resultados obtidos, é possível elencar as seguintes recomendações para trabalhos futuros relacionados aos temas discutidos:

- Para avaliação mais acurada do potencial do uso agrícola do lodo faz-se necessário análises qualitativas do lodo gerado em cada sistema e posterior comparação dos resultados com o limites estabelecidos na legislação;
- Considerar um mapeamento detalhado do uso e ocupação do solo para verificar a localização e disponibilidade de áreas ocupadas por atividades agrícolas, silvicultura e pecuária;
- Realizar uma análise econômica para complementação da avaliação do potencial de uso do lodo de esgoto, comparando a disposição final em aterro sanitário e uso agrícola, principais alternativas identificadas para a disposição do lodo gerado na área de estudo;
- Atualizar periodicamente o mapeamento de aptidão dos solos ao uso benéfico do lodo. Quanto mais acuradas as bases de dados utilizadas no desenvolvimento do mapa melhor e mais confiável será o resultado final;
- Realização de grupos focais com produtores rurais de outras regiões da área de estudo, de forma a verificar possíveis tendências e contrapontos em relação aos resultados obtidos para o grupo focal piloto;
- Considerar outros elementos para a caracterização do porte dos produtores rurais. A princípio, o tamanho da propriedade não reflete, necessariamente, no porte do produtor. Informações relacionadas à renda, produção global e produtividade podem ser alternativas. Este refinamento contribuirá no entendimento da relação entre perfil do produtor e aceitação ao uso do lodo de esgoto em atividades agrossilvipastoris.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, ANA. Massas d'água. 2016. Disponível em: < <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=7d054e5a-8cc9-403c-9f1a-085fd933610c>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, ANA. Atlas esgotos, despoluição de bacias hidrográficas. Brasília: ANA, 2017, 92 p.

ALBUQUERQUE, A.; SCALIZE, P. S.; FERREIRA, N. C.; SILVA, F. Multi-criteria analysis for site selection for the reuse of reclaimed water and biosolids. *Ambiente e Água*, vol. 10, nº1, p. 22-34, 2015.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 22, nº 6, p. 711-728, 2013.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. Lodo de Esgotos: tratamento e disposição final ,2º ed., Vol. 6. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 444 p.

BAGHAPOUR, M. A.; SHOOSHTARIAN; M. R.; DJAHED, B. A survey of attitudes and acceptance of wastewater reuse in Iran: Shiraz City as a case study. *Water Science & Technology*, vol. 7, nº 4, p.511-519, 2017.

BAI, Y.; CHUANHUI, G. TAO, T.; WANG, L.; FENG, K.; SHAN, Y. Growth characteristics, nutrient uptake, and metal accumulation of ryegrass (*Lolium perenne* L.) in sludge-amended mudflats. *Acta Agriculturae Scandinavica*, v. 63, n. 4, p. 352-359, 2013.

BARDIN, L. *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Edições 70, 1988. 223 p. *apud* RUBINGER, Sabrina Dionísio. *Desvendando o conceito de saneamento no Brasil: uma análise da percepção da população e do discurso técnico contemporâneo*. 2008. 213 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BASTOS, R.K.X. et al. Análise crítico-comparativa das regulamentações brasileira, estadunidense e britânica de qualidade microbiológica de biossólidos para uso agrícola. *Revista DAE*. nº 191, 2013.

BASTOS, R. K. X (Coord.). Utilização de Esgotos Tratados em Fertirrigação, Hidroponia e Piscicultura. 1ª Edição. ed. Rio de Janeiro: RIMA, 2003.

BATISTA, Lucilene Ferreira. *Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final*. 2015. 214 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

BERTANZA, G.; BARONI, P.; CANATO, M. Ranking sewage sludge management strategies by means of Decision Support Systems: A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 110, p.1-15, 2016.

BITTENCOURT, S.; AISSE, M. M., SERRAT, B. M. Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.22, n° 6, p. 1129-1139, 2017.

BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, C. V.; MOCHIDA, G. A.; SOUZA, L. M. K. M. Uso agrícola de lodo de esgoto, estudo de caso da região metropolitana de Curitiba. *Revista AIDIS*. vol. 2, n°1, p. 1-11, 2009.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M; AISSE, M. M., GOMES, D. Sewage Sludge Usage in Agriculture: a Case Study of Its Destination in the Curitiba Metropolitan Region, Paraná, Brazil. *Water Air Soil Pollut*, vol. 225, n° 2074, p. 1-8, 2014.

BORGMAN, O.; CHEFETZ, B. Combined effects of biosolids application and irrigation with reclaimed wastewater on transport of pharmaceutical compounds in arable soils. *Water Research*, v. 47, p. 3431-3443, 2013.

BORTOLINI, R. L. R.; MATOS, A. T.; FERREIRA, L. O.; MELO, V. R.; MACIEL, G. R. M. Avaliação do potencial de recuperação de nitrogênio e fósforo a partir do aproveitamento agrícola do lodo e efluente gerados nas estações de tratamento de esgotos em sub-bacias do Rio São Francisco. In: Congresso ABES FENASAN 2017, 29., 2017, São Paulo, *Anais...*2017.

BRASIL. Conselho Nacional de Saúde. Resolução n° 466, de 12 de dezembro de 2012. Dispõem sobre diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 13 jun. 2013.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 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. Brasília, DF, 29 ago. 2006.

BRASIL. Lei 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. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 03 ago. 2010.

BRASIL. Lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n°s 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n°s 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n° 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Câmara dos Deputados, Brasília, DF, 25 mai. 2012.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n° 35, de 04 de julho de 2006. Dispõem sobre as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura, *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 12 jul. 2009.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n° 25, de 23 de julho de 2009. Dispõem sobre as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos,

compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 28 jul. 2009.

CÂMARA, G; QUEIROZ, G. R. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.). *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. p. 42-75. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap3-arquitetura.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2016.

CANO, H.; SCARCELLO, J.A.; GUIMARÃES, L.T.; OLIVEIRA, P. T. M. Saneamento segundo a bacia hidrográfica. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE. *Atlas de saneamento 2011*. IBGE, 2011, 11 p.

CAREGNATO, R. C. A.; MUTTI, R. Pesquisa qualitativa: análise de discurso versus análise de conteúdo. *Texto & Contexto Enfermagem*, vol. 15, n° 4, p. 679-684, 2006.

CARVALHO, C. S.; RIBEIRINHO, V. S.; ANDRADE, C. A.; GRUTZMACHER, P.; PIRES, A. M. . Composição química da matéria orgânica de lodos de esgoto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 10, n° 3, p. 413-419, 2015.

CASE, S. D. C.; OELOFSE, M.; HOU, Y.; OENEMA, O.; JENSEN, L. S. Farmer perceptions and use of organic waste products as fertilisers – A survey study of potential benefits and barriers. *Agricultural Systems*, vol. 151, p. 84-95, 2017.

CHAMHUM-SILVA, L. A.; FRANCO, A. F. T.; BORTOLINI, R. L R.; MOTA FILHO, C. R.; MATOS, A. T. Avaliação do potencial de uso agrícola de lodo de reator anaeróbio da ETE de Pirapora – MG. In: Congresso ABES FENASAN 2017, 29., 2017, São Paulo, *Anais...*2017.

CHEN, H.; YAN, S. H.; YE, Z. L.; MENG, H. J., ZHU, Y. G. Utilization of urban sewage sludge: Chinese perspectives, *Environ Sci Pollut Res*, v. 19, p. 1454-1463, 2012.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios, 2ª ed., Vol. 5. Belo Horizonte: UFMG, 2016, 379 p.

CHRISTODOULOU, A.; STAMATELATOU, K. Overview of legislation on sewage sludge management in developed countries worldwide. *Water Science & Technology*, vol. 73, n° 3, p. 453-462, 2016.

CÓLON, J.; ALARCÓN, M.; HEALY, M. G.; NAMLI, A.; SANIN, F. D.; TAYÀ, C.; PONSÁ, S. Producing sludge for agricultural applications. In: LEMA, J. M.; SUAREZ, S. (Ed.) *Innovative wastewater treatment & resource recovery technologies*. UK: IWA, 2017, p. 296-318.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS - CBH RIO DAS VELHAS. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, Belo horizonte, 2015.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO JEQUITAIÁ, PACUÍ E TRECHO DO SÃO FRANCISCO - CBH JEQUITAIÁ E PACUÍ. Relatório de atividades CBH Jequitaiá Pacuí – SF6, 2011.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL – CNA. PIB do Agronegócio Brasil. Ed. Dezembro. 2016. 18 p.

DEBOSZ, K.; PETERSEN, S. O.; KURE, L. K.; AMBUS, P. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. *Applied soil Ecology*, v. 19, p. 237-248, 2002.

DEPARTAMENTO DE ESTRADA E RODAGEM DE MINAS GERAIS, DER, Malha rodoviária estadual. 2017. 1 arquivo vetorial.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT, Visualizador de Informações Geográficas. 2017. Disponível em: < <http://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>>. Acesso em: 11 mar. 2017

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, DNPM, Sistema de Informações Geográficas da Mineração. 2017. Disponível em: < <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap/>>. Acesso em: 05 fev. 2017

EL-NAIM, M. A.; EL-HOUSSEINI, M.; NAEEM, M. H. Safety Use of Sewage Sludge as Soil Conditioner. *Journal of Environmental Science and Health*, v. A39, n° 2, p. 435-444, 2004.

EUROSTAT. Sewage sludge production and disposal from urban wastewater (in dry substance (d.s)). Last update: 10/05/17. 2017. Disponível em: < <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/ten00030>>. Acesso em: 29 maio 2017.

EVANS, T. D. Sewage sludge: operational and environmental issues. A review of current knowledge, 4° ed., UK: Foundation for Water Research, 2016, 48 p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, FEAM; UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, UFV. Mapa de solos do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte, Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p. Disponível em: < [http://www.dps.ufv.br/?page\\_id=742](http://www.dps.ufv.br/?page_id=742) > Acesso em: 27 de out. de 2016.

FYTILI, D., ZABANIOTOU, A. Utilization os sewage sludge in EU application of old and new methods – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.12, p.116-140, 2008.

GODOY, L. C. A logística na destinação do lodo de esgoto. *Revista Científica On-line Tecnologia – Gestão – Humanismo*, vol. 2, n° 1, p. 79-90, 2013.

HEIMERSSON, S.; SVANSTROM, M.; CEDERBERG, C.; PETERS, G. Improved life cycle modelling of benefits from sewage sludge anaerobic digestion and land application. *Resources, Conservation and Recycling*. v.122, p. 126-134. 2017.

HENDRIX, W. G.; BUCLEY, D. J. A. Use of geographic information system for selection of sites for land application of sewage waste. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 47, n° 3, p. 271-275, 1992.

IHLENFELD, R. G. K.; PEGORINI, E. S.; ANDREOLI, C. A. Fatores limitantes. In: LARA, A. I.; FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; IHLENFELD, R. G. K. *Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura*, Curitiba: PROSAB, 1999, p. 41-61.

INFRAESTRUTURA ESTADUAL DE DADOS ESPACIAIS DE MINAS GERAIS, IEDE, Catálogo de dados espaciais: Massas d'água. 2014. Disponível em: < <http://iede.fjp.mg.gov.br/Catalogo.html>>. Acesso em: 13 jul. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE, Sinopse do censo demográfico 2010. 2010. Disponível em: < <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em: 13 set. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE, Portal Cidades: extração vegetal e silvicultura, pecuária e produção agrícola. 2016. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=310500>>. Acesso em: 28 mai. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE, Portal Cidades: estimativas de população. 2017. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>>. Acesso em: 20 set. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Base Cartográfica Contínua do Brasil: Hidrografia. 2015. 1 arquivo vetorial. Escala 1:250.000.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS, IEF, Banco de dados de Unidades de Conservação Estaduais – MG. 2017. Disponível em: <<http://www.ief.mg.gov.br/areas-protegidas/banco-de-dados-de-unidades-de-conservacao-estaduais>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Jequitai e Pacuí. Disponível em: <<http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais/bacia-do-rio-sao-francisco/sf6-cbh-dos-rios-jequitai-e-pacui>>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, IPNI. Fertilizantes. 2016. Disponível em: < <http://brasil.ipni.net/article/BRS-3132>>. Acesso em: 20 mai. 2017.

INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION, ISWA. Sludge treatment and disposal, management approaches and experiences. 1997. 53 p.

JIMENEZ, B. et al. Sustainable sludge management in developing countries. *Water Science and Technology*, v. 49, n° 10, p. 251-258, 2004.

JORDÃO, E. P; PESSOA, C.A. Tratamento de Esgotos Domésticos, 7° ed., Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária – ABES, 2014, 1087 p.

LEBLANC, R. J.; MATHEWS, P.; RICHARD, R. P. Introduction. In: United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT). *Global atlas of excreta, wastewater sludge, and*

*biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource*. 2008, p. 1-14.

LESSA, Alyne Alves. *Seleção de áreas aptas a disposição de lodo de estações de tratamento de esgoto com fins agrícolas*. 2010, 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2010

LIMA, F.A.; NASCIMENTO, C.R.; SAMPAIO, R.A. Caracterização de áreas potenciais para aplicação de lodo de esgoto utilizando Sistema de Informações Geográficas no município de Montes Claros, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 16, 2013, Foz do Iguaçu. *Anais...Foz do Iguaçu*: INPE, 2013, p. 4302-4307.

LLORET, E.; PASCUAL, J. A.; BRODIE, E. L.; BOUSKILL, N. J.; INSAM, H.; JUÁREZ, M. F. D.; GOBERNA, M. Sewage sludge addition modifies soil microbial communities and plant performance depending on the sludge stabilization process. *Applied Soil Ecology*, v.101, p. 37-46, 2016.

LUNDIN, M.; OLOFSSON, M.; PETTERSSON, G. J.; ZETTERLUND, H. Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options. *Resources Conservation & Recycling*. v. 41, p. 255-278. 2004

MALHOTRA, N. Modelo de pesquisa exploratória: pesquisa qualitativa. In:\_\_\_\_\_. *Pesquisa de marketing, foco na decisão*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011, p 119-143.

MANTOVI, P.; BALDONI, G.; TODERI, G. Reuse of liquid, dewatered, and composted sewage sludge on agricultural land: effects of long-term application on soil and crop. *Water Research*. v. 39, p. 289-296, 2005.

MARTINS, Sara Fernandes. *Análise econômica da produção de lodo de esgoto compostado para uso na agricultura*. 2016. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2016.

MATOS, A. T. Tratamento e Aproveitamento Agrícola de Resíduos Sólidos. 1º ed. Viçosa: Editora UFV, 2014. 241 p.

MATOS, A.T.; MATOS, M.P. Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos. Viçosa: Editora UFV, 2016. 371p.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. (Org.). Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília, 2012.

MINAYO, M. C. S. *O Desafio do Conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde*. 10º Ed., São Paulo: Hucitec, 2007. 269 p. apud RUBINGER, Sabrina Dionísio. *Desvendando o conceito de saneamento no brasil: uma análise da percepção da população e do discurso técnico contemporâneo*. 2008. 213 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

MODESTO, P. T.; SCARROBA, M. H.; COLODRO, G.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Alterações em algumas propriedades de um latossolo degradado com uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p. 1489-1498, 2009.

NASCIMENTO, Altina Lacerda. *Caracterização microbiológica, química e presença de poluente orgânicos em amostras de lodo de esgoto de São Paulo*. 2016. 88 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

NASCIMENTO, C.W.A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, p. 385-392, 2004.

NORTH EAST BIOSOLIDS AND RESIDUALS ASSOCIATION, NEBRA. A national biosolids regulation, quality, end use & disposal survey – Final Report, EUA, 2007, 34 p.

NOYOLA, A.; PADILLA-RIVERA, A.; MORGAN-SAGASTUME, J.M.; GÜERECA, L.P.; HERNÁNDEZ-PADILLA, F. Typology of municipal wastewater treatment technologies in Latin America. *Clean - Soil, Air, Water*, v. 40, n° 9, p. 926-932, 2012.

OLIVEIRA, G. C.; FERNANDES FILHO, E. I. Automated mapping of permanent preservation areas on hilltops. *CERNE*, vol. 22, n° 1, p. 111-120, 2016.

OLIVEIRA, S. C.; VON SPERLING, M. Reliability analysis of wastewater treatment plants. *Water Research*, v. 42, n° 4-5, p. 1182-1194, 2008.

PASSUELO, A.; CADIACH, O.; PEREZ, Y.; SCHUHMACHER, M. A spatial multicriteria decision making tool to define the best agricultural areas for sewage sludge amendment. *Environment International*, vol. 38, p.1-9, 2012.

PLATAFORMA BRASIL. Submissão de projetos de pesquisa, versão 3.0. 2015. Disponível em: < <http://plataformabrasil.saude.gov.br/login.jsf>>. Acesso em: 03 ago. 2017.

PORTO, Bárbara Batista. *Práticas em saneamento rural: um estudo no contexto da agricultura familiar*. 2016. 129 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

RIZZARDINI, C. B.; GOI, D. Sustainability of domestic sewage sludge disposal. *Sustainability*, v.6, p. 2424-2434, 2014.

ROBINSON, K. G.; ROBINSON, C. H.; RAUP, L. A.; MARKUM, T. R. Public attitudes and risk perception toward land application of biosolids within the south-eastern United States. *Journal of Environmental Management*, vol. 98, p. 29-36, 2012.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo, v.16, p. 81-90, 2005.

RUBINGER, Sabrina Dionísio. *Desvendando o conceito de saneamento no brasil: uma análise da percepção da população e do discurso técnico contemporâneo*. 2008. 213 f.

Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SAMPAIO, A.O. Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. *Revista DAE*, n° 193, p. 16-27, 2013.

SAMPAIO, T.F.; GUERRINI, I. A.; BACKES, C.; HELIODORO, J. C. A.; RONCHI, H. S.; TANGANELLI, K. M.; CARVALHO, N. C.; OLIVEIRA, F. C. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p. 1637-1645, 2012.

SANTOS, D. S.; TESHIMA, E.; DIAS, A. M. F.; ARAÚJO, R. A., SILVA, C. M. R. Efeito da secagem em leito nas características físico-químicas e microbiológicas de lodo de reator anaeróbio de fluxo ascendente usado no tratamento de esgoto sanitário. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.22, n° 2, p. 341-349, 2017.

SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, SEMAD, Sistema Integrado de Informação Ambiental. Disponível em: < <http://www.siam.mg.gov.br/siam/processo/index.jsp>>. Acesso em: 03 out. 2017.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE FRETES, SIFRECA - ESALQ-LOG, Frete rodoviário de fertilizantes. 2017. Disponível em: < <http://sifreca.esalq.usp.br/>>. Acesso em: 05 jul. 2017.

SILVA, B. S.; MIKI, M. K. Práticas operacionais e de empreendimentos – Análise crítica dos instrumentos legais do ministério da agricultura, pecuária e abastecimento (MAPA) para uso agrícola do lodo de esgoto. *Revista DAE*, ed. jan., p. 54-70, 2017.

SINGH, R. P.; AGRAWAL, M. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. *Waste Management*, v. 28, p. 347-358, 2008.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. 2017. Disponível em: < <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>>. Acesso em: 09 jul. 2017.

SOUZA, M.L.P.; ANDREOLI, C.V.; PAULETTI, V.; GIOPPO, P.J. *Desenvolvimento de um Sistema de Classificação de Terras para Disposição Final de Lodo de Esgoto*. In: VI SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1994, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABES – APRH, 1994. *apud* SOUZA, M. L. P.; RIBEIRO, A. N.; ANDREOLI, C. V.; SOUZA, L. C. P.; BITTENCOURT, S. Aptidão das terras do Estado do Paraná para a disposição final de lodo de esgoto. *Revista DAE*, n. 177, p. 20-29, 2008.

SOUZA, M. L. P.; RIBEIRO, A. N.; ANDREOLI, C. V.; SOUZA, L. C. P.; BITTENCOURT, S. Aptidão das terras do Estado do Paraná para a disposição final de lodo de esgoto. *Revista DAE*, n. 177, p. 20-29, 2008.

SPINOSA, L.; AYOL, A., BAUDEZ, J., CANZIANI, R., JENICEK, P., LEONARD, A., RULKENS, W., XU, G., DIJK, L. Sustainable and innovative solutions for sewage sludge management. *Water*, v.3, p. 702-717, 2011.

U. S. GEOLOGICAL SURVEY, USGS, Shuttle Radar Topography Mission, 2014. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov>>. Acesso em 21 fev. 2017.

UNIÃO EUROPEIA, UE. Directiva 91/271/CEE do Conselho de 21 de Maio de 1991 relativa ao tratamento de águas residuais urbanas. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*. 13 p., 1991.

UNIÃO EUROPEIA, UE. Directiva 1999/31/CE do Conselho de 26 de Abril de 1999 relativa à deposição de resíduos em aterros. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*. 19 p., 1999.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, UFRGS, Transformação entre Referenciais Geodésicos. Disponível em: < <http://www.ufrgs.br/engcart/-Teste/inicial.html>>. Acesso em: 15 out. 2016.

URBAN, R.C.; ISAAC, R.L. Mapa de aptidão do solo para a aplicação de lodo de esgoto: Bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. *Ambiente & Água*. Vol. 11, nº 1, p. 125-134, 2016.

VAYENAS, D. Wastewater management: introduction to new Technologies. In: KALAVROUZOTIS, I. K. *Wastewater and biosolids management*, UK:IWA, 2017, p.13-25.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 4ª.ed, Vol. 1, Belo Horizonte: UFMG, 2014, 472 p.

VON SPERLING, M. Lagoas de estabilização, 3ª.ed, Vol. 3, Belo Horizonte: UFMG, 2017, 196 p.

## APÊNDICE I

Tabela I.0.1 – Municípios da bacia hidrográfica do Rio das Velhas

Município	Área (km <sup>2</sup> )	População			
		2017	2010		
		Total	Total	Urbana	Rural
Araçai	187,5	2.368	2.247	1.787	460
Augusto de Lima	1254,8	5.023	4.962	2.926	2.036
Baldim	556,3	8.051	7.917	5.068	2.849
Belo Horizonte	331,4	2.523.794	2.375.444	2.375.444	0
Caeté	542,5	44.377	40.786	35.451	5.335
Capim Branco	95,3	9.678	8.880	8.089	791
Conceição do Mato Dentro	1726,8	18.126	17.914	12.274	5.640
Confins	42,4	6.608	5.943	5.943	0
Congonhas do Norte	398,9	5.134	4.947	2.602	2.345
Contagem	195	658.580	603.048	601.009	2.039
Cordisburgo	823,7	9.029	8.667	5.961	2.706
Corinto	2525,4	24.384	23.901	21.191	2.710
Curvelo	3296,2	79.878	74.184	67.363	6.821
Datas	310,1	5.471	5.210	3.092	2.118
Diamantina	3891,7	48.230	45.884	40.062	5.822
Esmeraldas	909,7	69.010	60.153	56.112	4.041
Funilândia	199,8	4.277	3.854	2.029	1.825
Gouveia	866,6	12.064	11.687	8.234	3.453
Inimutaba	527,1	7.489	6.729	4.748	1.981
Itabirito	542,6	50.816	45.484	43.603	1.881
Jaboticatubas	1115	19.545	17.119	10.741	6.378
Jequitibá	445	5.319	5.153	1.965	3.188
Lagoa Santa	229,4	61.752	52.526	48.953	3.573
Matozinhos	252,3	37.344	32.973	29.899	3.074
Monjolos	650,9	2.327	2.360	1.403	957
Morro da Garça	414,8	2.595	2.661	1.523	1.138
Nova Lima	429	92.178	81.162	79.394	1.768
Nova União	172,1	5.804	5.554	2.875	2.679
Ouro Preto	1245,9	74.659	70.227	61.082	9.145
Paraopeba	625,6	24.427	22.571	19.671	2.900
Pedro Leopoldo	292,9	63.837	58.696	49.939	8.757
Presidente Juscelino	695,9	3.827	3.907	1.846	2.061
Presidente Kubitschek	189,2	3.061	2.959	2.017	942
Prudente de Moraes	124,2	10.577	9.576	9.198	378
Raposos	72,2	16.390	15.345	14.555	790
Ribeirão das Neves	155,5	328.871	296.376	294.211	2.165
Rio Acima	229,8	10.123	9.095	7.949	1.146
Sabará	302,4	135.968	126.219	123.042	3.177
Santa Luzia	235,1	218.897	203.184	202.620	564
Santana de Pirapama	1255,8	7.965	8.004	3.326	4.678
Santana do Riacho	677,2	4.301	4.023	2.279	1.744
Santo Hipólito	430,7	3.218	3.240	2.246	994

Município	Área (km <sup>2</sup> )	População			
		2017	2010		
		Total	Total	Urbana	Rural
São José da Lapa	47,9	22.910	19.801	11.395	8.406
Sete Lagoas	536,6	236.228	214.071	208.879	5.192
Taquaraçu de Minas	329,3	4.075	3.792	1.753	2.039
Vespasiano	71,1	122.365	104.612	104.612	0

**Tabela I.0.2 – Municípios da bacia hidrográfica dos Rios Jequitai, Pacuí e trecho do São Francisco**

Município	Área (km <sup>2</sup> )	População			
		2017	2010		
		Total	Total	Urbana	Rural
Bocaiúva	3227,6	50.168	46.595	36.597	9.998
Brasília de Minas	1399,5	32.732	31.221	20.672	10.549
Buritizeiro	7218,4	28.335	26.921	23.618	3.303
Campo Azul	505,9	3.863	3.685	1.554	2.131
Claro dos Poções	720,4	7.819	7.781	5.257	2.524
Coração de Jesus	2225,2	27.052	26.035	14.767	11.268
Engenheiro Navarro	608,3	7.377	7.125	4.753	2.372
Francisco Dumont	1576,1	5.215	4.867	3.201	1.666
Ibiaí	874,8	8.400	7.839	6.004	1.835
Icaraí de Minas	625,7	11.835	10.737	2.985	7.752
Jequitai	1268,4	7.890	8.010	5.499	2.511
Lagoa dos Patos	600,5	4.248	4.227	3.079	1.148
Luislândia	411,7	6.756	6.405	2.985	3.420
Mirabela	723,3	13.726	13.043	10.029	3.014
Montes Claros	3568,9	402.027	361.971	344.479	17.492
Ponto Chique	602,8	4.259	3.966	2.581	1.385
São Francisco	3308,1	56.805	53.898	34.235	19.663
São Gonçalo do Abaeté	2692,2	6.898	6.252	4.174	2.078
São João da Lagoa	998	4.942	4.659	2.435	2.224
São João do Pacuí	415,9	4.396	4.066	1.921	2.145
Três Marias	2678,3	31.687	28.315	26.838	1.477
Ubaí	820,5	12.531	11.677	5.665	6.012

**Tabela I.0.3 – Municípios comuns às bacias hidrográficas do Rio das Velhas e dos Rios Jequitai, Pacuí e trecho do São Francisco.**

Município	Área (km <sup>2</sup> )	População			
		2017	2010		
		Total	Total	Urbana	Rural
Buenópolis	1599,9	10.594	10.291	7.767	2.524
Joaquim Felício	790,9	4.669	4.305	2.526	1.779
Lassance	3204,2	6.664	6.490	3.886	2.604
Pirapora	549,5	56.706	53.379	52.396	983
Várzea da Palma	2220,3	39.128	35.804	31.317	4.487

# APÊNDICE II

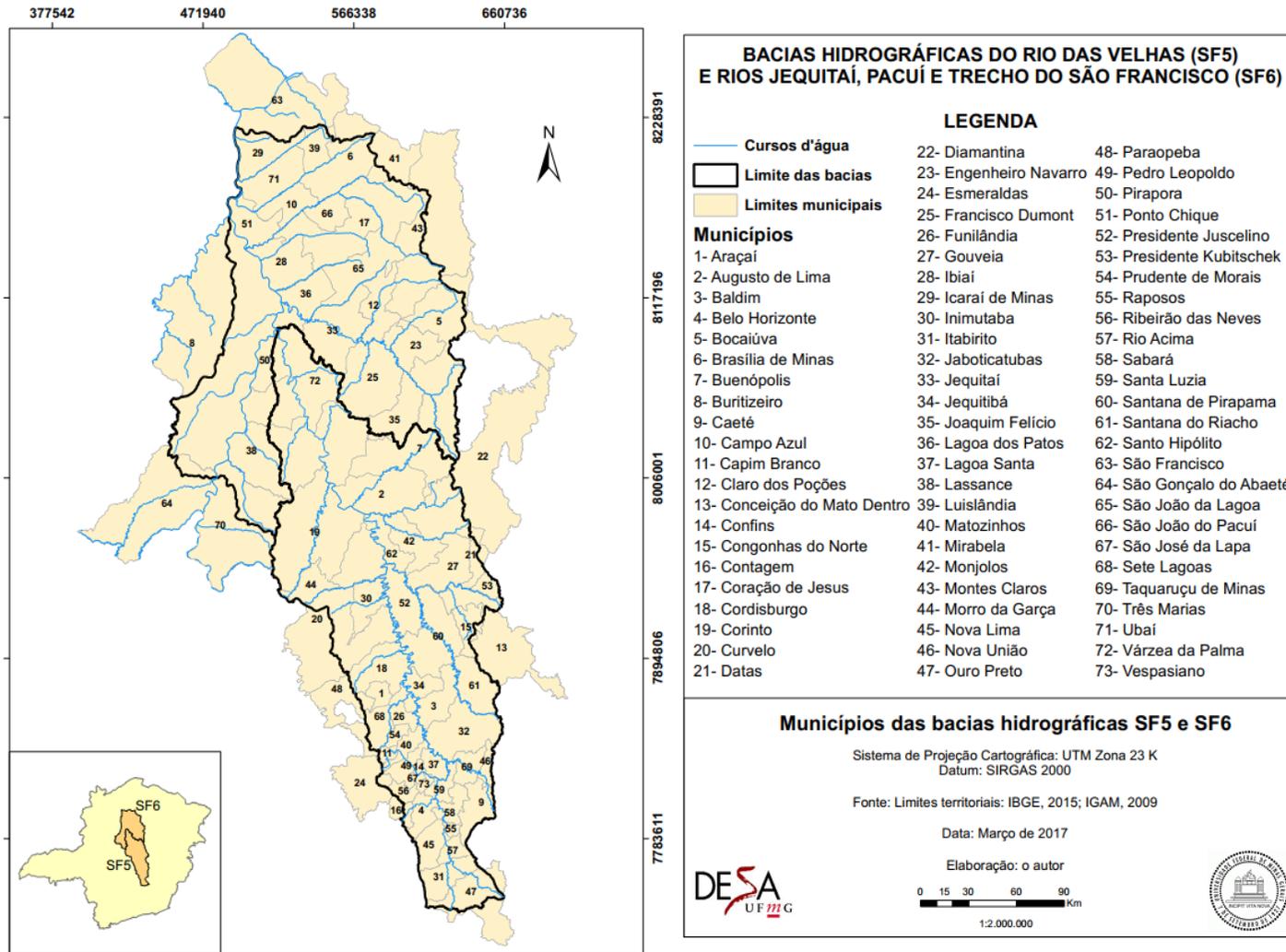


Figura II.0.1 – Distribuição espacial dos municípios da área de estudo.

## APÊNDICE III

UNIVERSIDADE FEDERAL DE  
MINAS GERAIS



### PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

#### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Identificação e avaliação de áreas potenciais de uso agrícola do lodo de Estações de Tratamento de Esgotos Domésticos nas bacias dos rios Velhas, Jequitai e Pacuí por meio da utilização de geotecnologias

**Pesquisador:** Cesar Rossas Mota Filho

**Área Temática:**

**Versão:** 2

**CAAE:** 77073117.7.0000.5149

**Instituição Proponente:** Faculdade de Engenharia

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

#### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 2.373.974

#### Apresentação do Projeto:

Lodo é constituído pelo material, na fase sólida, gerado no processo de tratamento de esgoto sanitário, podendo ser gerenciado como resíduo ou subproduto desse processo. Na concepção de subproduto, passam a existir múltiplas possibilidades de seu aproveitamento, dentre as quais destaca-se o potencial uso como adubo agrícola e material condicionante e estruturante do solo, em função dos elevados teores de matéria orgânica e nutrientes que detém. Entre as vantagens da disposição de lodo de esgoto no solo estão a ciclagem de nutrientes no ambiente, redução na pressão sobre fontes minerais de nutrientes, não ocupação de aterros com esse material, redução nos custos de disposição final (especialmente se as áreas de seu aproveitamento agrícola estiverem próximas às ETEs), além de representar uma alternativa de destinação final segura, quando respeitados os critérios técnicos e regulatórios. Embora amplamente difundida e consolidada, em especial no cenário internacional, no Brasil são poucos os casos de sucesso de aplicação desta técnica. Supõe-se que um dos fatores que contribuem para a baixa disseminação da prática seja a dificuldade no atendimento aos critérios estabelecidos na Resolução CONAMA 375 de 2006, que dispõe sobre

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad. Sl 2005  
Bairro: Unidade Administrativa II CEP: 31.270-901  
UF: MG Município: BELO HORIZONTE  
Telefone: (31)3409-4592 E-mail: coep@prpq.ufmg.br

Continuação do Parecer: 2.373.974

as condições e requisitos para que aproveitamento agrícola do lodo seja realizado de forma adequada e segura. Como parte dos requisitos refere-se ao critério locacional da área em que irá se dispor o material, propõe-se, na presente pesquisa, se efetuar o mapeamento de áreas aptas à disposição do lodo, classificando-as de acordo com a potencialidade para aproveitamento agrícola, de forma que tal mapeamento possa ser utilizado como instrumento de planejamento regional para a disposição final do lodo. A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio das Velhas e aquela delimitada pelos rios Jequitai, Pacuí e trecho do São Francisco. Ademais, serão identificadas e caracterizadas as ETEs existentes na área de estudo em relação à concepção do tratamento, quantidade de lodo gerado e forma de disposição final do mesmo. Finalmente, será avaliada a aceitação de produtores rurais, no que diz respeito à utilização do lodo de ETE em atividades agrossilvipastoris. Para a consecução da pesquisa, serão obtidos dados de operação das ETEs, dados georreferenciados de hidrografia, relevo, geologia e uso do solo, os quais serão manipulados em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG). Serão conduzidos quatro grupos focais, dois por bacia hidrográfica, com produtores rurais de diferentes municípios e com características distintas, visando à identificação de potenciais fatores que influenciam o uso agrícola do lodo na região de estudo.

**Objetivo da Pesquisa:**

Segundo o pesquisador tem-se:

**Objetivo Primário:**

Avaliar o potencial de aproveitamento agrícola do lodo proveniente das Estações de Tratamento de Esgotos Domésticos – ETEs inseridas nas bacias dos rios Velhas, Jequitai, Pacuí e trecho do São Francisco, por meio da utilização de geotecnologias e dados georreferenciados disponíveis.

**Objetivo Secundário:**

-Identificar e mapear áreas legalmente aptas ao uso agrícola dos lodos gerados nas ETEs, segundo

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad S/N 2005

Bairro: Unidade Administrativa II

CEP: 31.270-901

UF: MG

Município: BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@ppq.ufmg.br

Continuação do Parecer: 2.373.974

os critérios definidos na Resolução CONAMA  
375 de 2006.

- Mapear as ETEs existentes na área de estudo e estimar a quantidade de lodo gerado e nutrientes associados a este, assim como identificar as opções de destinação final deste material.
- Estabelecer níveis de potencialidade para o uso agrícola do lodo, considerando-se a capacidade de assimilação do solo, a partir dos atributos geomorfológicos e pedológicos da área de estudo.
- Avaliar, de forma exploratória, a aceitação na utilização do lodo de ETE em atividades agrossilvipastoris junto a produtores rurais.

#### **Avaliação dos Riscos e Benefícios:**

Segundo o pesquisador tem-se:

##### **Riscos:**

Considerando que a etapa qualitativa da pesquisa visa à investigação da percepção dos produtores rurais em relação ao lodo, os pesquisadores deverão se atentar à não indução dos participantes à determinada opinião ou ponto de vista. No que tange aos participantes, considera-se que os riscos são o de não expor claramente sua opinião ou eventual constrangimento durante as discussões. Destaca-se que em todas as etapas da pesquisa será preservada a identidade dos participantes.

##### **Benefícios:**

Considerando as dificuldades relacionadas ao gerenciamento do lodo e o intenso consumo de fertilizantes no estado de Minas Gerais, o aproveitamento agrícola figura como técnica atrativa, não só do ponto de vista da disposição final adequada do lodo como também pelo apelo econômico advindo do aporte de nutrientes presente neste subproduto. Neste sentido, o mapeamento ora proposto consiste em importante ferramenta no processo de tomada de decisão para o gerenciamento do lodo, sendo produto inédito para a área de estudo. Embora a disposição agrícola do lodo tenha se demonstrado viável do ponto de vista técnico e ambiental em outras experiências (nacionais e internacionais), a adoção e sucesso da técnica perpassa pela aceitação por parte dos produtores rurais. Assim, é fundamental se investigar a percepção dos produtores em

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005

Bairro: Unidade Administrativa II

CEP: 31.270-901

UF: MG

Município: BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coap@prpq.ufmg.br

Continuação do Parecer: 2.373.974

relação ao lodo, a predisposição em se utilizar o material, assim como fatores limitantes à difusão da técnica.

**Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:**

Não há comentários.

**Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:**

Foram apresentados:

Carta resposta, TCLE, Parecer consubstanciado, termo de compromisso e folha de rosto.

**Recomendações:**

Recomendo aprovação.

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Nenhuma.SMJ, somos favoráveis pela aprovação do projeto.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Tendo em vista a legislação vigente (Resolução CNS 466/12), o COEP-UFMG recomenda aos Pesquisadores: comunicar toda e qualquer alteração do projeto e do termo de consentimento via emenda na Plataforma Brasil, informar imediatamente qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento da pesquisa (via documental encaminhada em papel), apresentar na forma de notificação relatórios parciais do andamento do mesmo a cada 06 (seis) meses e ao término da pesquisa encaminhar a este Comitê um sumário dos resultados do projeto (relatório final).

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_998331.pdf	27/10/2017 20:16:12		Aceito
Outros	Carta_resposta_Parecer_Consubstancia do CEP.docx	27/10/2017 17:21:53	Cesar Rossas Mota Filho	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_Chamhum_v2.docx	27/10/2017 17:18:07	Cesar Rossas Mota Filho	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	ParecerConsubstanciado.pdf	20/09/2017 14:10:28	Cesar Rossas Mota Filho	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura	Planejamento_GrupoFocal.docx	20/09/2017 14:08:14	Cesar Rossas Mota Filho	Aceito

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad Bl 2005

Bairro: Unidade Administrativa II CEP: 31.270-901

UF: MG Município: BELO HORIZONTE

Telefone: (31)3409-4592

E-mail: coep@prpq.ufmg.br

Continuação do Parecer: 2.373.974

Investigador	Planejamento_GrupoFocal.docx	20/09/2017 14:08:14	Cesar Rossas Mota Filho	Aceito
Declaração de Pesquisadores	TermoCompromisso.JPG	20/09/2017 14:02:54	Cesar Rossas Mota Filho	Aceito
Folha de Rosto	Folhaderosto_Preenchida.pdf	20/09/2017 13:59:52	Cesar Rossas Mota Filho	Aceito
Outros	770731177aprovacaoassinada.pdf	09/11/2017 15:49:19	Vivian Resende	Aceito
Outros	770731177parecerassinado.pdf	09/11/2017 15:49:33	Vivian Resende	Aceito

**Situação do Parecer:**  
Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

BELO HORIZONTE, 09 de Novembro de 2017

---

Assinado por:  
Vivian Resende  
(Coordenador)

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 2º Ad SI 2005  
Bairro: Unidade Administrativa II CEP: 31.270-901  
UF: MG Município: BELO HORIZONTE  
Telefone: (31)3409-4592 E-mail: coep@ppq.ufmg.br



## APÊNDICE IV

### Roteiro de Grupo Focal – Uso agrícola do lodo (DESA/UFMG)

<b>Objetivo</b>	Investigar junto ao público de interesse as percepções e os argumentos positivos e negativos elencados a respeito do uso agrícola do lodo de esgoto sanitário.
<b>Público-Alvo</b>	Produtores rurais de diferentes culturas, na bacia hidrográfica do Rio das Velhas, em Minas Gerais
<b>Técnica</b>	Grupo Focal, com o uso de técnicas projetivas

**Observações:** Os itens marcados em **negrito** são orientações para a moderação. Os itens em *itálico* são *probes*, isto é, perguntas auxiliares de estímulo à resposta dos participantes.

#### Quebra-Gelo

- Boas-vindas e apresentação da moderadora e da equipe de registro
- Explicações técnicas sobre a metodologia de Grupos Focais e o que buscamos ao fazer um Grupo Focal
- Explicações sobre a função da moderação e do registro
- Explicação das “regras” do debate: respeito à vez de todos falarem, anonimato e sigilo dos participantes, interrupções necessárias, gravação do áudio da reunião etc.
- Aviso sobre o *coffee-break*, toailete e celulares
- Distribuição e explicação do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

A) Agora que vocês já sabem, pelo menos um pouco, sobre o que vamos discutir, eu gostaria de conhecer um pouco melhor cada um (a) de vocês. Para facilitar, vou começar por mim.

**Moderadora:** Apresentar-se.

B) Agora, quero que me digam os nomes de vocês, se vocês preferem ser chamados (as) por algum apelido, a idade e o estado civil de vocês, de qual cidade e comunidade vocês vêm, e há quanto tempo vocês são produtores (as) rurais.

#### Introdução

1. Todos (as) vocês estão aqui por uma razão: são produtores (as) rurais. Quero, então, entender um pouquinho mais sobre as propriedades e a produção de vocês. Pode ser?
  - Qual é o tamanho das propriedades de vocês?
  - Vocês moram nessas propriedades? Além de vocês, mais alguém da família trabalha com vocês na produção?
  - O que vocês plantam? Além de plantar, vocês têm alguma criação (bois, galinhas, cabras etc.)?
  - Vocês vendem a produção? Onde/para quem costumam vender?
  - Qual a renda média obtida (mensal ou anual) com a produção?
  - Vocês têm hortas/pomares/jardins em casa?

#### Potenciais e entraves à agricultura no Brasil: exploração de cenários

2. Nós sabemos que a agricultura, em um país como o Brasil, é uma atividade muito importante para a economia e para o sustento da população.
  - Atualmente, como vocês vêem a agricultura como um negócio?

- *Vale a pena ser agricultor (a) no Brasil? É um negócio rentável?*
- *Quais são os principais obstáculos que os (as) agricultores (as) brasileiros (as) vivem atualmente?*
- *Quais são as oportunidades que os (as) agricultores (as) brasileiros (as) podem explorar?*

## Fertilizantes e outros insumos básicos de trabalho

3. Agora, eu quero entender um pouco mais sobre o dia-a-dia da lida de vocês na roça; um pouco mais sobre a produção de vocês.
  - Vocês vão para a roça todos os dias?
  - Quais ferramentas vocês usam (pás, enxadadas, máquinas mecânicas etc.)?
  - Vocês utilizam algum insumo no solo (por exemplo, fertilizante, corretor, adubo, esterco), para tornar o solo mais produtivo? Qual (is)?
    - *Por que vocês usam estes fertilizantes? Quais os ganhos na produção?*
    - *Vocês sabem qual é a composição química desses fertilizantes?*
    - *Onde vocês compram estes fertilizantes?*
    - *Algum (a) de vocês produz seu próprio fertilizante?*
    - *Algum (a) de vocês usa restos de comida, esterco ou húmus como fertilizante? Como vocês fazem isso?*
    - *Vocês usam alguma adubação para suas hortas/pomares/jardins? Qual (is)?*
    - *(Para os que utilizam fertilizantes industriais) Vocês têm alguma dificuldade para conseguir esses produtos? Quais (financeiras, logísticas etc.)?*

*Em geral, como vocês aplicam os produtos no solo? Manualmente ou por trator? Quais equipamentos de proteção individual costumam usar?*

**Moderadora:** Explorar com os participantes em que condições se dá o uso de fertilizantes. O uso desses insumos é sazonal ou é constante? Os fertilizantes biológicos são usados sozinhos ou em mescla com fertilizantes químicos? O que os motiva a usar cada fertilizante (preço, acessibilidade etc.)? Quais as demandas por trás do uso de fertilizantes?

## Ciência, conhecimento e sustentabilidade

4. No Brasil, nós temos muitas universidades que têm procurado pesquisar e conhecer mais a fundo possíveis soluções para que a agricultura e outras áreas da economia produzam mais e melhor. Vocês costumam acompanhar ou têm interesse em conhecer um pouco mais sobre essas pesquisas que os cientistas brasileiros têm realizado?
  - Se sim, sobre quais áreas?
  - Se não, por que não?
  - Vocês já ouviram falar ou conhecem alguma pesquisa ou instituição de pesquisa que trabalhe com agricultura aqui no Brasil? Qual (is)?
5. Vocês já ouviram falar na ideia de sustentabilidade? Conhecem este conceito?
  - O que significa “sustentabilidade” para vocês? O que significa ser sustentável?
6. Vou trazer algumas situações, e quero que vocês me digam se, para vocês, estas são situações sustentáveis ou não, e por quê.
 

*Situação 1:* Uma fazenda de café em Minas Gerais aproveita folhas, cascas e sobras do café para gerar energia de biomassa.

Situação 2: Em uma fazenda de milho, também em Minas Gerais, não se ara o solo antes de fazer o plantio.

Situação 3: Em uma pequena propriedade, também em Minas Gerais, utiliza-se uma mistura de cinzas de madeira, esterco de gado e restos de capim para produzir um adubo.

## Lodo como fertilizante agrícola: primeiras aproximações

Até agora, nós falamos sobre uma série de assuntos, mas eu gostaria de ficar mais um tempinho discutindo com vocês sobre os insumos que vocês usam na produção de vocês na roça. Vou aproveitar a “deixa” e discutir algumas ideias que trouxe, com vocês. Pode ser?

7. Nós sabemos que uma série de materiais pode ser usada como fertilizante, agrícola, certo? Sabemos sobre o húmus de minhoca, o esterco (de vaca, de galinha, de porco), os restos de comida, a cal, as cascas de ovos... Mas eu gostaria de saber se algum (a) de vocês já ouviu falar de algo diferente disso que eu citei, que é usado como fertilizante. Se sim, o quê?
8. Algum (a) de vocês já ouviu falar no uso de lodo de esgoto como fertilizante agrícola?
- Se sim, o que ouviram falar? Onde ouviram falar? Ouviram falar bem ou mal?
  - Para vocês que já ouviram falar do lodo, do que se trata este material? E para os que não ouviram, o que imaginam seja?
  - A princípio, quando vocês ouvem falar na ideia de lodo de esgoto como fertilizante, o que vem primeiro à cabeça de vocês?
  - O que esta ideia desperta em vocês?

**Moderadora:** Captar, neste ponto, reações positivas e negativas mais “naturais” à ideia do uso do lodo como fertilizante agrícola. Atentar-se para as expressões verbais e não-verbais, especialmente as que podem denotar “asco”.

Pessoal, eu estou aqui com vocês para apresentar a vocês, então, uma ideia. Posso compartilhar com vocês?

**Moderadora:** Deste ponto em diante, utilizar os slides com o fluxo de produção do lodo como referência para introduzir o tema com os participantes.

O Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG está desenvolvendo uma pesquisa sobre as possibilidades de uso do lodo de esgoto. O lodo é um material sólido que é gerado nas estações de tratamento de esgoto durante o tratamento do esgoto que é coletado de nossas casas. A ideia desta pesquisa que tem sido desenvolvida é verificar se é possível reaproveitar parte desse material gerado nas estações de tratamento em outras áreas, como a indústria e a agricultura.

O que nós chamamos de “lodo” é material sólido, composto pelas bactérias que fizeram a degradação da matéria orgânica, além da fração sólida do esgoto que não foi decomposta. Esta parte sólida reúne nutrientes necessários para os vegetais crescerem saudáveis (especialmente o nitrogênio e o fósforo), além de alto teor de matéria orgânica. Recebendo o tratamento correto (para minimizar os riscos sanitários), pode ser usada como fertilizante agrícola em larga escala. No Brasil, esta tecnologia já tem sido aplicada pela EMBRAPA em São Paulo, no Espírito Santo e em algumas regiões do Paraná (apresentação do vídeo da SANEPAR).



9. A princípio, o que vocês acham desta ideia? O que isto fez vocês pensarem?
- Tradicionalmente, o que vocês achariam que era feito com o lodo de esgoto? Por quê?
  - O uso do lodo como fertilizante pode ser anti-higiênico e nocivo à saúde? Por quê?
  - Qual a posição de vocês sobre o uso do lodo como fertilizante agrícola: vocês são a favor ou contra? Por quê?
  - Quem poderia se beneficiar do uso do lodo como fertilizante agrícola? Quais públicos-alvo?
10. Para conversar com vocês, eu estudei um pouco sobre o lodo e montei uma tabelinha com alguns argumentos a favor e contra o uso do lodo como fertilizante na agricultura. Quero que vocês leiam essa tabelinha e me digam, na opinião de vocês, quais são os argumentos mais fortes contra ou a favor esse uso do lodo, e por quê.

Argumentos <b>CONTRA</b>	Argumentos <b>A FAVOR</b>
Aumento nos níveis de nitrato no solo, se utilizado em doses mais altas que o recomendado;	Diminuição dos custos de aterro/acondicionamento do lodo;
Para maior segurança sanitária, não é recomendável sua aplicação em culturas que possam entrar em contato direto com ele e/ou são ingeridas cruas.	Concentração de nutrientes necessários aos vegetais;
É necessário um processo de higienização devido à presença de microrganismos.	Fertilizante barato e “ecologicamente correto”.

11. Quero mostrar a vocês do que estamos falando. Tenho comigo, aqui, para mostrar a vocês, uma amostra do lodo do esgoto sanitário e do composto de lodo com casca de café, devidamente tratados, que podem ser usados como fertilizante agrícola. O que vocês acham da aparência dessas amostras?

**Moderadora:** Circular o frasco com a amostra por todo o grupo, deixando os participantes examinarem o conteúdo do vasilhame. Deixá-los sentir o cheiro, examinar a cor etc. Ao final do exercício, pedir a eles para comentarem o que acharam do material, explorando aspectos como aparência, cor, cheiro, aspecto, textura etc.; e pergunta-los se esse material lembra, de alguma forma, o esgoto sanitário.

Percepções práticas sobre o uso do lodo como fertilizante agrícola

12. O uso do lodo de esgoto sanitário como fertilizante agrícola não foi “inventado” pelos cientistas brasileiros. Na verdade, essa aplicação já tem sido muito utilizada nos Estados Unidos e na União Europeia.

- Na opinião de vocês, ampliar o uso desta técnica no Brasil e entre os produtores rurais brasileiros é viável? Se sim, por quê? O que é mais atraente nessa ideia?
- O que seria necessário para que o Brasil pudesse aumentar o uso desta tecnologia?
- Como esse processo deve ser conduzido no Brasil?
  - A inserção do lodo deve ser aos poucos?
  - Quais produtores rurais devem ser acionados para esse processo?
  - Quais territórios e culturas são prioritários?
  - Quais atores devem participar desse processo?

**Moderadora:** A partir deste ponto, utilizar o *canvas* como referência para preenchimento, junto com os participantes. Explorar ideias como capacitação, assistência técnica, extensão rural, monitoramento do uso do lodo, logística, recursos financeiros e humanos, escala de aplicação, processo ideal de aplicação etc.

<b>Estrutura de custos</b>	<i>Como o produto será distribuído, transportado, beneficiado etc.?</i>
<b>Recursos e processos necessários</b>	<i>Do que será preciso?</i>
<b>Parcerias necessárias</b>	<i>Quem precisa se envolver?</i>
<b>Valores agregados</b>	<i>Quais são os ganhos e resultados possíveis?</i>
<b>Interessados</b>	<i>Quem pode se beneficiar?</i>

13. Para finalizarmos a nossa discussão, gostaria de saber:

- Na opinião de vocês, o uso do lodo como fertilizante agrícola é possível para a realidade de vocês? Se sim, por quê? Se não, por quê?
- Vocês conseguem se enxergar usando o lodo como adubo agrícola nas propriedades de vocês? Como vocês se enxergam como consumidores?
- Em que condições vocês aceitariam utilizar o lodo como fertilizante na propriedade de vocês (apenas se fosse doado, se tivesse que arcar apenas com o custo de transporte, pagaria pelo insumo desde que o custo fosse inferior ao seu gasto atual, etc.).
- Algum (a) de vocês toparia participar de um “piloto” (teste) de aplicação dessa tecnologia em sua propriedade? O que seria necessário?

## Encerramento

14. Antes de encerrarmos nosso debate, algum (a) de vocês gostaria de fazer algum comentário, alguma sugestão, observação ou reclamação sobre o que nós discutimos?

Pessoal, nós chegamos ao fim do nosso debate. Agradeço em meu nome e em nome de toda a nossa equipe. As informações que vocês construíram conosco serão muito importantes para a continuidade do nosso trabalho, e por isso somos muito gratos. Obrigada por cederem um pouco do tempo e da energia de vocês para estarem aqui conosco. Esperamos vê-los novamente em breve, e desejamos a todos (as) uma boa volta para casa.