

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SIMONE BITTENCOURT

**GESTÃO DO PROCESSO DE USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO
ESTADO DO PARANÁ: APLICABILIDADE DA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06**

CURITIBA

2014

SIMONE BITTENCOURT

**GESTÃO DO PROCESSO DE USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO
ESTADO DO PARANÁ: APLICABILIDADE DA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, área de concentração Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Mansur Aisse
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Beatriz Monte Serrat

CURITIBA

2014

B624g

Bittencourt, Simone

Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no Estado do Paraná: aplicabilidade da resolução Conama 375/06 / Simone Bittencourt. – Curitiba, 2014.

220f. : il. [algumas color.] ; 30 cm.

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2014.

Orientador: Miguel Mansur Aisse -- Co-orientadora: Beatriz Monte Serrat.

Bibliografia: p. 187-219

1. Lodo de esgoto. 2. Biossólidos. I. Universidade Federal do Paraná. II. Aisse, Miguel Mansur. III. Serrat, Beatriz Monte. IV. Título.

CDD: 628.381



TERMO DE APROVAÇÃO
SIMONE BITTENCOURT

“Gestão do Processo de Uso Agrícola de Lodo de Esgoto no Estado do Paraná: Aplicabilidade da Resolução CONAMA 375/06”

Tese aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:

Miguel Mansur Aisse
Universidade Federal do Paraná
Orientador

MEMBROS:

Beatriz Monte Serrat
Universidade Federal do Paraná
Co – Orientador

Marcos Von Sperling
Universidade Federal de Minas Gerais

Fernando Fernandes
Universidade Estadual de Londrina

Júlio C. R. de Azevedo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cleverson V. Andreoli
Fundação Getúlio Vargas

Curitiba, 28 de novembro de 2014

*Dedico à
Prof.^a Dr.^a Beatriz Monte Serrat,
por fazer parte da minha história,
por todos os ensinamentos, pela amizade
por nossas aventuras pelo estado do Paraná e
por me lançar esse desafio.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me guiar e me dar tranquilidade para seguir em frente e não desanimar com as dificuldades.

Aos meus amores Marcelo, Vinicius e Luiz Fernando pelas alegrias de minha vida e aos meus pais Ludgério (*in memoriam*) e Iracema por proporcionarem uma valiosa educação, que me oportunizou a realização de sonhos e conquistas.

Agradeço ao professor e orientador Miguel Mansur Aisse pelos conhecimentos compartilhados, por sua confiança e tranquilidade na orientação de minha tese, principalmente nos momentos de mudança de rumo.

À professora Beatriz Monte Serrat pela coorientação, pelo exemplo pessoal e profissional, por sua significativa contribuição no meu trabalho e em minha vida.

Agradeço ao professor Cleverson Vitório Andreoli, pelos ensinamentos, pioneirismo e genialidade e por saber desde o início qual deveria ser o tema de minha tese.

Agradeço à professora Cyntia Maria Wachowicz por suas relevantes contribuições que levaram à definição do rumo de minha tese.

Ao engenheiro sanitarista Edgard Faust Filho pelo apoio e compreensão da importância deste trabalho para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos meus colegas de Sanepar e amigos:

- Gil Alceu Mochida por suas orientações e por compartilhar seus conhecimentos, contribuindo de forma expressiva na minha formação profissional.
- Adalton Aparecido Rodrigues, “o cara”, por sua solidariedade, me ajudando imensamente nas coletas de lodo de esgoto.
- Everton Luiz do Nascimento, pelo mapa de UGLs, e André Augusto Buss Mikowski, o guru do Excel, por me aturarem diariamente.
- Leni Silva dos Santos pela ajuda nas análises de lodo na ETE CIC Xisto.

Agradeço aos professores Cristóvão Vicente Scapulatempo Fernandes e Tobias Bleninger pela dedicação e competência na coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA), do qual me orgulho de ter sido aluna.

Agradeço as instituições que possibilitaram a realização deste estudo: à Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), à Universidade Federal do Paraná

(UFPR) especificamente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental (PPGERHA) e ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), cujo trabalho de normatização representa uma significativa contribuição na busca de uma sociedade brasileira próspera e sustentável.

Aos professores, funcionários e amigos do PPGERHA pelos conhecimentos compartilhados, apoio e enriquecedora convivência.

Aos meus irmãos Adriana e Luciano pelo carinho, companheirismo e apoio, e a todos meus familiares e amigos que de forma direta ou indireta contribuíram para essa conquista.

Enfim, a todos os operadores, técnicos, gestores, coordenadores e gerentes da Sanepar que me auxiliaram de alguma forma no desenvolvimento deste trabalho e principalmente a todos aqueles que se esforçaram para tornar o uso agrícola de lodo de esgoto uma realidade. Somente a partir deste esforço foi possível a realização deste estudo, o qual pretende servir como ferramenta de apoio a pesquisadores, gestores, companhias de saneamento, câmaras técnicas e grupos de trabalho do Conama para a difusão desta alternativa que, segundo a Resolução Conama 375/06, “apresenta vantagens ambientais quando comparado a outras práticas de destinação final e se enquadra nos princípios de reutilização de resíduos de forma ambientalmente adequada”.

RESUMO

O uso agrícola é uma destinação ambientalmente sustentável para o lodo de esgoto, pois promove a reciclagem de nutrientes, sendo benéfico ao cultivo de plantas e às características físico-químicas e biológicas do solo. É uma alternativa mundialmente consolidada, que no Brasil está limitada a poucos estados, devido, entre outros fatores, à dificuldade de atendimento aos critérios e procedimentos estabelecidos pela Resolução Conama 375/06. O Paraná é um dos estados onde o lodo de esgoto tem a agricultura como destinação final prioritária. O presente estudo teve por objetivo avaliar a aplicabilidade da Resolução Conama 375/06 na gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná, Brasil. Foram analisados 49 relatórios de rastreabilidade, 576 projetos agronômicos e laudos laboratoriais de 228 lotes de lodo de esgoto. Realizou-se a avaliação da gestão no Paraná, no período de 2007 a 2013. Na avaliação da gestão na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) no período de 2007, ano em que iniciou a vigência da Resolução, a 2013, verificou-se que 162.825 toneladas de lodo foram aplicadas em 4.510 ha de áreas agrícolas. Até o ano de 2011 houve um aumento na quantidade de lodo destinada, mas a partir de 2012 observou-se uma redução, devido à destinação a aterro industrial. Na avaliação da gestão no Paraná no período de 2011, ano em que iniciou a consolidação da gestão no interior do estado, a 2013, verificou-se que 107.416 t de lodo foram aplicadas em 5.529 ha de áreas agrícolas, sendo a RMC responsável por 54% da destinação. Avaliaram-se as diferenças entre as concentrações de parâmetros agronômicos e de substâncias inorgânicas dos lotes aeróbios e mistos produzidos nas Unidades de Gerenciamento de Lodo (UGLs) da RMC e mistos do interior do estado. Na análise dos parâmetros agronômicos, diferenças no processo de desaguamento, higienização e formação dos lotes possivelmente explicam as diferenças de médias nas concentrações de ST, Mg, Ca e pH dos lotes. As médias SVT, C_{org}, P, K, N_{total} e N_{kjeldahl} no lodo da UGL aeróbia apresentaram-se superiores às dos lotes mistos das UGLs da RMC, resultados relacionados a diferenças entre os sistemas de tratamento de esgoto. Este fato não resultou em diferenças nas taxas de aplicação dos lotes nas áreas agrícolas. Os lotes apresentaram níveis de substâncias inorgânicas em média 90% abaixo dos limites da Resolução Sema 021/09. Houve grande variabilidade na concentração de substâncias inorgânicas, provavelmente relacionada a diferenças nas bacias de esgotamento sanitário. Devido à baixa concentração de substâncias inorgânicas, o critério de acúmulo dessas substâncias no solo não foi limitante em nenhuma das recomendações agronômicas. Identificou-se que o potencial de sorção ao lodo de esgoto, dos compostos orgânicos da Resolução, é baixo para cresóis e dimetil ftalato e médio para diclorobenzenos, 2,4-diclorofenol, 2,4,6-triclorofenol e naftaleno. Procedeu-se uma análise crítica dos critérios e procedimentos da Resolução Conama 375/06, comparando-os com legislações internacionais e a partir das informações da gestão no Paraná. Foram sugeridas alterações de textos e estudos para subsidiar a revisão da Resolução, visando torná-la mais aplicável às condições paranaenses.

Palavras-chave: Biossólido. Reciclagem agrícola. Resíduo do saneamento. Compostos orgânicos em biossólido.

ABSTRACT

Agricultural use is an environmentally sustainable destination for sewage sludge, because it promotes the recycling of nutrients, being beneficial to plants cultivation and to the physicochemical and biological soil properties. It is a consolidated alternative throughout the world, but in Brazil it is limited to few states, due to, among other factors, the difficulty of meeting the criteria and procedures established by Conama 375/06 Resolution. Paraná is one of the states where sewage sludge has agriculture as final priority destination. The present study aimed to assess the Conama 375/06 Resolution applicability in the management of the sewage sludge agricultural use process in the state of Paraná, Brazil. They were analyzed 49 traceability reports, 576 agronomic projects and 228 laboratory analysis reports of sewage sludge batches. The management evaluation in Paraná was performed, in the period of 2007 to 2013. Assessing the management in the Metropolitan Region of Curitiba (RMC) from 2007, year that began the validity of Resolution, to 2013, it was verified that 162,825 tons of sludge were applied in 4,510 ha of agricultural areas. Until the year of 2011 there was an increase in the amount of sludge destined, but from 2012, there was a reduction, due to industrial landfill disposal. In the evaluation of the Paraná management during 2011, year in which began the consolidation of the management in the state inland, up to 2013, it was verified that 107,416 tons of sludge were applied in 5,529 ha of agricultural areas, being the RMC responsible for 54% of its destination. The differences between the concentration of agronomic parameters and inorganic substances of the aerobic and mixed batches produced in the Sludge Management Units (UGLs) of the RMC and mixed batches of the state inland were evaluated. In the analysis of agronomic parameters, differences in dewatering process, hygienization and formation of batches possibly explain the differences in the means of TS, Mg, Ca and pH of the batches. The means of the TVS, TOC, P, kjeldahl and total N in the sludge of aerobic UGL showed to be higher than those of the mixed batches of RMC UGLs, results of which were related to differences between the sewage treatment systems. This fact did not result in differences in the rates of application of batches in agricultural areas. The batches showed levels of inorganic substances on average 90% below the limits of Conama 375/06 and Sema 021/09 Resolutions. There was great variability in the concentration of inorganic substances, probably related to differences in sewage basins. Due to the low concentration of inorganic substances, the criterion of accumulation of these substances in the soil was not limiting in any agronomic recommendations. It was identified that the potential of sorption to the sewage sludge, of the organic compounds of Conama 375/06, is low for cresols and dimethyl phthalate and medium for dichlorobenzenes, 2,4-dichlorophenol, 2,4,6-Trichlorophenol and naphthalene. A critical analysis of the criteria and procedures of Conama 375/06 was performed by comparing them to international laws and also with basis on the management information in the Paraná. Text alterations and studies were suggested to support the revision of the Resolution, aiming at making it more applicable to the Paraná conditions.

Keywords: Biosolid. Agricultural recycling. Sanitation residue. Organic compounds in biosolids.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO METABOLISMO BACTERIANO	25
FIGURA 2 - PROPORÇÃO ENTRE ANABOLISMO E CATABOLISMO DE MATERIAL ORGÂNICO PARA O METABOLISMO AERÓBIO E ANAERÓBIO	26
FIGURA 3 - DIVISÃO ADMINISTRATIVA DA SANEPAR NO ESTADO DO PARANÁ.....	84
FIGURA 4 - LOCAIS DE AMOSTRAGEM DE LODO DESAGUADO EM ETEs DA RMC. A) EM SISTEMAS DE DESAGUAMENTO EM LEITOS DE SECAGEM. B) EM SISTEMAS COM CENTRÍFUGA.....	93
FIGURA 5 - MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PARANÁ, CUJAS UGLs DESTINARAM LOTES DE LODO DE ESGOTO PARA USO AGRÍCOLA NO PERÍODO DE 2011 A 2013	94
FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE GESTÃO DO PROCESSO DE USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO PARANÁ.....	101
FIGURA 7 - PRENSA DESAGUADORA, UGL BELÉM, CURITIBA, PR (DESATIVADA EM 2011) ..	103
FIGURA 8 - CENTRÍFUGAS, UGL BELÉM, CURITIBA, PR	103
FIGURA 9 - LEITOS DE SECAGEM, ETE CAMBUÍ, CAMPO LARGO, PR.....	104
FIGURA 10 - BETONEIRA UTILIZADA PARA HIGIENIZAÇÃO DE LODO DESAGUADO EM LEITO DE SECAGEM, UGL VASSOURAL, GUARAPUAVA, PR	105
FIGURA 11 - MAROMBA UTILIZADA PARA HIGIENIZAÇÃO DE LODO DESAGUADO EM LEITO DE SECAGEM, UGL OURO VERDE, FOZ DO IGUAÇU, PR	105
FIGURA 12 - MISTURADOR MECÂNICO DE CAL E LODO, ETE SANTA QUITÉRIA, CURITIBA, PR	106
FIGURA 13 - LODO APÓS MISTURADOR MECÂNICO DE CAL, UGL BELÉM, CURITIBA, PR.....	106
FIGURA 14 - LODO HIGIENIZADO COM CAL ARMazenado EM PÁTIO PARA CURA, UGL VASSOURAL, GUARAPUAVA, PR.....	107
FIGURA 15 - COLETA DE SOLO, LAPA, PR.....	108
FIGURA 16 - ORIENTAÇÕES AO AGRICULTOR, FOZ DO IGUAÇU, PR.....	109
FIGURA 17 - QUANTIDADE DE LODO DE ESGOTO, PRODUZIDO NA RMC, APLICADA EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013	110
FIGURA 18 - DESCARREGAMENTO DE CAMINHÕES DE LODO DE ESGOTO EM ÁREA AGRÍCOLA, LAPA, PR	112
FIGURA 19 - QUANTIDADE DE LODO DE ESGOTO APLICADO EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO ESTADO DO PARANÁ NOS ANOS DE 2011, 2012, 2013	116
FIGURA 20 - MAPA DE APTIDÃO DE ÁREAS AGRÍCOLA DO ESTADO DO PARANÁ PARA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO.....	119
FIGURA 21 - a) CAMINHÕES CAÇAMBA BASCULANTES. b) EQUIPAMENTOS EMPRESTADOS PELA SANEPAR AOS AGRICULTORES PARA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO	130

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO E USOS DE LODO DE ESGOTO NA UNIÃO EUROPEIA PARA 2020	45
QUADRO 2 - TRATAMENTOS TEMPO X TEMPERATURA PARA OBTENÇÃO DE LODO CLASSE A CONFORME REGULAMENTAÇÃO DOS ESTADOS UNIDOS	53
QUADRO 3 - COMPARAÇÃO DAS DIFERENTES CATEGORIAS DE QUALIDADE DE BIODISSÓLIDOS UTILIZADAS NO CANADÁ.....	56
QUADRO 4 - COMPARAÇÃO DAS DIFERENTES CLASSES DE BIODISSÓLIDO SEGUNDO NORMA OFICIAL MEXICANA	57
QUADRO 5 - LIMITES DE CONCENTRAÇÃO DE ORGANISMOS PATOGÊNICOS E INDICADORES BACTERIOLÓGICOS EM LODO DE ESGOTO DESTINADO A USO AGRÍCOLA.....	58
QUADRO 6 - COMPARAÇÃO DAS DIFERENTES CATEGORIAS DE QUALIDADE DE BIODISSÓLIDOS UTILIZADAS NOS EUA, CANADÁ, MÉXICO, BRASIL E NO ESTADO DO PARANÁ.....	59
QUADRO 7 - LISTA DE SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS A SEREM DETERMINADAS EM LODO DE ESGOTO CONFORME AS RESOLUÇÕES CONAMA 375/06 E SEMA 021/09.....	67
QUADRO 8 - RESTRIÇÕES DE USO PARA O BIODISSÓLIDO CLASSE B E DE PADRÃO CONVENCIONAL SEGUNDO A REGULAMENTAÇÃO DOS ESTADOS UNIDOS E DA UNIÃO EUROPEIA.....	78
QUADRO 9 - CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO NAS ETEs DA RMC ONDE FORAM COLETADAS AMOSTRAS DE LODO DE ESGOTO DESAGUADO, NO PRIMEIRO TRIMESTRE DE 2014.....	92
QUADRO 10 - RESUMO DAS ETAPAS DO PROCESSO DE USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO ESTADO DO PARANÁ.....	102
QUADRO 11 - RESUMO DAS SUGESTÕES DE ALTERAÇÕES DE TEXTO E DE ESTUDOS VISANDO ADEQUAÇÕES NA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06, ARTIGOS 2º AO 7º	178
QUADRO 12 - RESUMO DAS SUGESTÕES DE ALTERAÇÕES DE TEXTO E DE ESTUDOS VISANDO ADEQUAÇÕES NA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06, ARTIGOS 9º AO 17º.	179
QUADRO 13 - RESUMO DAS SUGESTÕES DE ALTERAÇÕES DE TEXTO E DE ESTUDOS VISANDO ADEQUAÇÕES NA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06, ARTIGO 21º	180
QUADRO 14 - RESUMO DAS SUGESTÕES DE ALTERAÇÕES DE TEXTO E DE ESTUDOS VISANDO ADEQUAÇÕES NA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06, ANEXOS I A VIII .	181

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RELAÇÃO DE TEMPO E TEMPERATURA DE EXPOSIÇÃO PARA REDUÇÃO DE PATÓGENOS E PARASITAS EM LODO DE ESGOTO	32
TABELA 2 - TEORES DE NUTRIENTES E DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS DE LODO DE DIFERENTES SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO BRASILEIROS	34
TABELA 3 - TEORES DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS DE LODO DE DIFERENTES SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO BRASILEIROS	35
TABELA 4 - LIMITES DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS EM LODO DE ESGOTO PARA USO AGRÍCOLA NA UNIÃO EUROPEIA, HOLANDA, EUA, MÉXICO, BRASIL E ESTADO DO PARANÁ	60
TABELA 5 - LIMITES DE CARGA ACUMULADA DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO EM SOLO PARA UNIÃO EUROPEIA, EUA, BRASIL E ESTADO DO PARANÁ.....	62
TABELA 6 - LIMITES DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS EM SOLO (pH 6 A 7) DEFINIDOS NA DIRETIVA 86/278/EEC DA UE	62
TABELA 7 - LIMITES DE CONCENTRAÇÕES DE POLUENTES ORGÂNICOS EM BIODOSSÍLIDO EM DIFERENTES PAÍSES	64
TABELA 8 - CONCENTRAÇÕES DE SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS PERMITIDAS EM SOLOS AGRÍCOLAS SEGUNDO AS RESOLUÇÕES CONAMA 375/06 E SEMA 021/09 E VALORES DE PREVENÇÃO DA CETESB.....	70
TABELA 9 - FREQUENCIA DE MONITORAMENTO EM BIODOSSÍLIDO SEGUNDO REGULAMENTAÇÃO DOS ESTADOS UNIDOS, UNIÃO EUROPEIA, MÉXICO E BRASIL	76
TABELA 10 - LIMITES DE QUANTIFICAÇÃO LABORATORIAL VERIFICADOS NOS LAUDOS ANALÍTICOS DE DIFERENTES LABORATÓRIOS PARA SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS QUE APRESENTARAM RESULTADOS ABAIXO DO LIMITE.....	91
TABELA 11 - CARACTERÍSTICAS DAS UGLs E DOS LOTES DE LODO DESTINADOS AO USO AGRÍCOLA NOS ANOS DE 2007 A 2013 NA RMC	91
TABELA 12 - LOTES DE LODO DE ESGOTO MISTO DESTINADOS AO USO AGRÍCOLA NO PERÍODO DE 2011 A 2013, ESTADO DO PARANÁ, BRASIL.....	94
TABELA 13 - LIMITES DE QUANTIFICAÇÃO LABORATORIAL VERIFICADOS NOS LAUDOS ANALÍTICOS DE DIFERENTES LABORATÓRIOS PARA SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS QUE APRESENTARAM RESULTADOS ABAIXO DO LIMITE.....	95
TABELA 14 - CLASSIFICAÇÃO DE UGLs DO ESTADO DO PARANÁ DE ACORDO COM A GERAÇÃO DE LODO E A FREQUENCIA DE MONITORAMENTO ESTABELECIDADA PELA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06	98
TABELA 15 - QUANTIDADE DE LODO DE ESGOTO, PRODUZIDO NA RMC, APLICADA EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013.....	111
TABELA 16 - PARÂMETROS DE SANIDADE DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO PRODUZIDOS NA RMC, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013 ...	114

TABELA 17 - SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS DETECTADAS EM LOTES DE LODO DE ESGOTO PRODUZIDOS NA RMC, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013.....	115
TABELA 18 - QUANTIDADE DE LODO DE ESGOTO APLICADA EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL, NO PERÍODO DE 2011 A 2013	116
TABELA 19 - DISTÂNCIA MÉDIA ATÉ AS ÁREAS AGRÍCOLAS, TAMANHO MÉDIO DE ÁREAS E TAXA DE APLICAÇÃO MÉDIA DE LODO DE ESGOTO APLICADO EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL, NO PERÍODO DE 2011 A 2013.	118
TABELA 20 - PARÂMETROS DE SANIDADE DOS LOTES MISTOS DE LODO DE ESGOTO PRODUZIDOS NO PARANÁ, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2011 A 2013.....	121
TABELA 21 - SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS DETECTADAS EM LOTE DE LODO DE ESGOTO MISTO PRODUZIDO NO PARANÁ, APLICADO EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2011 A 2013.....	123
TABELA 22 - MÉDIA E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE PARÂMETROS AGRONÔMICOS DOS LOTES DE LODO DA RMC, HIGIENIZADOS POR ESTABILIZAÇÃO ALCALINA PROLONGADA, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013	125
TABELA 23 - RESULTADOS DE pH, SÓLIDOS TOTAIS E SÓLIDOS FIXOS TOTAIS DAS AMOSTRAS DE LODO DE ESGOTO BRUTO DESAGUADO, COLETADAS NO PRIMEIRO TRIMESTRE DE 2014, EM OITO ETES DA RMC	125
TABELA 24 - MÉDIA E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL DOS LOTES DE LODO DA RMC, HIGIENIZADOS POR ESTABILIZAÇÃO ALCALINA PROLONGADA, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013.....	127
TABELA 25 - MÉDIA E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE PARÂMETROS AGRONÔMICOS DOS LOTES DE LODO DA RMC, HIGIENIZADOS POR ESTABILIZAÇÃO ALCALINA PROLONGADA, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013	127
TABELA 26 - MÉDIA E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS DOS LOTES DE LODO MISTO, HIGIENIZADOS POR ESTABILIZAÇÃO ALCALINA PROLONGADA, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PARANÁ, DE 2011 A 2013	129
TABELA 27 - MÉDIA E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE PARÂMETROS AGRONÔMICOS DOS LOTES DE LODO MISTO, HIGIENIZADOS POR ESTABILIZAÇÃO ALCALINA PROLONGADA, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PARANÁ, DE 2011 A 2013	131
TABELA 28 - PERCENTIS 75, 90, 95 E 99 DAS SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS DOS LOTES DE LODO DA RMC APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS, NO PERÍODO DE 2007 A 2013, COMPARADOS AOS LIMITES DA RESOLUÇÃO SEMA 021/09	133
TABELA 29 - MÉDIA DAS PORCENTAGENS DAS MÉDIAS DAS CONCENTRAÇÕES DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS ABAIXO DO LIMITE DA RESOLUÇÃO SEMA 021/09, DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO DA RMC DESTINADOS A USO AGRÍCOLA DE 2007 A 2013.....	134
TABELA 30 - CONCENTRAÇÕES MÍNIMAS, MÁXIMAS E MÉDIAS, COEFICIENTES DE VARIAÇÃO E NÚMERO DE LAUDOS, DE LOTES DE LODO DE ESGOTO DA RMC DESTINADOS	

A USO AGRÍCOLA DE 2007 A 2013 COM RESULTADOS ACIMA DO LIMITE DE DETECÇÃO LABORATORIAL	134
TABELA 31 - MÉDIA DE CONCENTRAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO AERÓBIOS E MISTOS DA RMC QUE APRESENTARAM RESULTADOS ACIMA DO LIMITE DE DETECÇÃO LABORATORIAL, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013.....	135
TABELA 32 - PERCENTIS 75, 90, 95 E 99 DAS SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS DOS LOTES DE LODO MISTOS APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO DE 2011 A 2013, COMPARADOS AOS LIMITES DA RESOLUÇÃO SEMA 021/09	136
TABELA 33 - MÉDIA DAS PORCENTAGENS DAS MÉDIAS DAS CONCENTRAÇÕES DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS ABAIXO DO LIMITE DA RESOLUÇÃO SEMA 021/09, DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO DA RMC DESTINADOS A USO AGRÍCOLA DE 2007 A 2013.....	137
TABELA 34 - CONCENTRAÇÕES MÍNIMAS, MÁXIMAS E MÉDIAS, COEFICIENTES DE VARIAÇÃO E NÚMERO DE LAUDOS, DE LOTES DE LODO DE ESGOTO MISTO DESTINADOS A USO AGRÍCOLA NO PARANÁ, DE 2011 A 2013 COM RESULTADOS ACIMA DO LIMITE DE DETECÇÃO LABORATORIAL	137
TABELA 35 - MÉDIA DOS PARÂMETROS INORGÂNICOS DE LOTES DE LODO MISTO QUE APRESENTARAM RESULTADOS ACIMA DO LIMITE DE DETECÇÃO LABORATORIAL, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PARANÁ, NO PERÍODO DE 2011 A 2013	138
TABELA 36 - PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS LISTADOS NA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06	146
TABELA 37 - CARACTERÍSTICAS DOS POLUENTES ORGÂNICOS PERSISTENTES	147
TABELA 38 - SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS DETECTADAS EM LOTES DE LODO DE ESGOTO PRODUZIDOS NA RMC, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013.....	148
TABELA 39 - CUSTO DE ANÁLISES PARA CARACTERIZAÇÃO DE UM LOTE DE LODO DE ESGOTO DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO CONAMA 375/06 EM LABORATÓRIOS BRASILEIROS	160
TABELA 40 - CUSTO DE ANÁLISES PARA CARACTERIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO DE UGLs DE DIFERENTES PORTES DE ACORDO COM AS NORMAS AMERICANA, MEXICANA, EUROPEIA E BRASILEIRA.....	162
TABELA 41 – COMPARAÇÃO ENTRE O CUSTO EVITADO PELO AGRICULTOR E O CUSTO DE ANÁLISES PARA CARACTERIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO DE UGLs DE DIFERENTES PORTES DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO CONAMA 375/06.....	163
TABELA 42 - QUANTIDADE DE LODO DE ESGOTO EM SÓLIDOS TOTAIS POR ANÁLISE DE CARACTERIZAÇÃO DE ACORDO COM A FAIXAS DE FREQUENCIA DE MONITORAMENTO ESTABELECIDAS PELA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06.....	163
TABELA 43 - PERCENTIS DE CARGA ACUMULADA TEÓRICA NA APLICAÇÃO DE LODO NO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO DE 2007 A 2013	172

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AA	- Autorização Ambiental
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
APHA	- American Public Health Association
APM	- Área de Proteção aos Mananciais
ART	- Anotação de Responsabilidade Técnica
ATSDR	- Agency for Toxic Substances and Disease Registry
AOX	- Orgânicos Halogenados Absorvíveis
Cetesb	- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COE	- Compostos Orgânicos Emergentes
Conama	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
C _{org}	- Carbono orgânico
CFR	- Code of Federal Regulations
CTC	- Capacidade de Troca de Cátions
CWA	- Clean Water Act
DEHP	- Di(2-etilhexil)ftalato
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
EAP	- Estabilização Alcalina Prolongada
ETE	- Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	- Estados Unidos da América
HPA	- Hidrocarboneto Policíclico Aromático
IAP	- Instituto Ambiental do Paraná
k _{biol}	- Constante de Degradação de Pseudo-Primeira Ordem
K _d	- Coeficiente de Distribuição Sólido/Água
K _{oc}	- Coeficiente de Partição Carbono Orgânico/Água
K _{ow}	- Coeficiente de Partição Octanol/Água
LTC	- Low Temperature Conversion
MAPA	- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MO	- Matéria Orgânica
N _{disp}	- Nitrogênio disponível
NMP	- Número Mais Provável
NRC	- National Research Council

ONU	- Organização das Nações Unidas
PCBs	- Bifenilas Policloradas
PNRS	- Política Nacional de Resíduos Sólidos
POP	- Poluente Orgânico Persistente
PRAP	- Processos de Redução Adicional de Patógenos
PRAV	- Processos de Redução da Atratividade de Vetores
PRSP	- Processos de Redução Significativa de Patógenos
Ralf	- Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado
RMC	- Região Metropolitana de Curitiba
Sanepar	- Companhia de Saneamento do Paraná
Sema	- Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná
SFT	- Sólidos Fixos Totais
SNIS	- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SRC	- Syracuse Research Corporation
SST	- Sólidos Suspensos Totais
ST	- Sólidos Totais
SVT	- Sólidos Voláteis Totais
TNSSS	- Targeted National Sewage Sludge Survey
UASB	- Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UE	- União Europeia
UFP -	- Unidade Formadora de Placa
UGL	- Unidades de Gerenciamento de Lodo
UR	- Unidade Regional
USEPA	- United States Environmental Protection Agency
VRQ	- Valores De Referência de Qualidade
VP	- Valores Orientadores de Prevenção

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 HIPÓTESE	21
1.2 OBJETIVOS	22
1.2.1 Objetivo geral	22
1.2.2 Objetivos específicos.....	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 LODO DE ESGOTO: PRODUÇÃO E CARACTERÍSTICAS	23
2.1.1 Produção de lodo nas instalações de tratamento de esgotos	24
2.1.2 Tratamento de lodo de esgoto para uso agrícola	27
2.1.2.1 Estabilização	27
2.1.2.2 Adensamento, condicionamento e desaguamento.....	28
2.1.2.3 Higienização de lodo de esgoto visando à destinação agrícola	31
2.1.3 Constituição do lodo de esgoto	33
2.1.4 Contaminantes do lodo de sistemas de tratamento de esgoto doméstico	35
2.2 ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO E DE DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO DE ESGOTO.....	37
2.2.1 Incineração.....	38
2.2.2 Disposição em aterros sanitários	39
2.2.3 Outros usos do lodo de esgoto.....	41
2.3 USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO.....	43
2.3.1 Contexto mundial do uso agrícola de lodo de esgoto.....	43
2.3.2 Contexto brasileiro e paranaense do uso agrícola do lodo de esgoto.....	46
2.3.3 Aspectos legais relacionados ao uso agrícola de lodo de esgoto	49
2.4 ASPECTOS RELACIONADOS À QUALIDADE DO BIOSSÓLIDO	52
2.4.1 Características de sanidade do biossólido	52
2.4.2 Poluentes químicos inorgânicos em biossólido	60
2.4.3 Poluentes químicos orgânicos em biossólido.....	63
2.4.4 Frequência de monitoramento do biossólido.....	75
2.5 ASPECTOS RELACIONADOS ÀS CULTURAS E ÁREAS DE APLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDOS	77
2.5.1 Cultivos aptos a receberem biossólidos	77
2.5.2 Taxa de aplicação de biossólido	79
3 MATERIAIS E MÉTODOS	82
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO DE CASO	83
3.2 GESTÃO DO PROCESSO DE USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO DE 2007 A 2013	86
3.3 PARÂMETROS AGRONÔMICOS E SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS EM LOTES DE LODO DE ESGOTO DESTINADOS A USO AGRÍCOLA NO PARANÁ, NO PERÍODO DE 2007 A 2013	88
3.3.1 Lotes de lodo de esgoto da RMC destinados a uso agrícola no período de 2007 a 2013.....	89
3.3.2 Lotes de lodo de esgoto misto do Paraná destinados a uso agrícola no período de 2011 a 2013.....	93
3.4 COMPOSTOS ORGÂNICOS DA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06 E SUAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE SORÇÃO AO LODO DE ESGOTO	95

3.5 RESOLUÇÃO CONAMA 375/06 E SUA APLICABILIDADE NA GESTÃO DO USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO ESTADO DO PARANÁ	96
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	101
4.1 ESTUDO DE CASO DA GESTÃO DO PROCESSO DE USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO ESTADO DO PARANÁ	101
4.1.1 Uso agrícola de lodo de esgoto produzido na RMC no período de 2007 a 2013	110
4.1.2 Uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná de 2011 a 2013.....	115
4.2 PARÂMETROS AGRONÔMICOS E SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS EM LOTES DE LODO DE ESGOTO DESTINADOS A USO AGRÍCOLA NO PARANÁ, NO PERÍODO DE 2007 A 2013	124
4.2.1 Parâmetros agronômicos dos lotes de lodo de esgoto destinados a uso agrícola no estado do Paraná, no período de 2007 a 2013.....	124
4.2.1.1 Parâmetros agronômicos dos lotes de lodo de esgoto da RMC destinados a uso agrícola no período de 2007 a 2013	124
4.2.1.2 Parâmetros agronômicos dos lotes de lodo de esgoto misto destinados a uso agrícola no período de 2011 a 2013 no Paraná.....	129
4.2.2 Substâncias inorgânicas dos lotes de lodo de esgoto destinados a uso agrícola no estado do Paraná, no período de 2007 a 2013.....	132
4.2.2.1 Substâncias inorgânicas dos lotes de lodo de esgoto da RMC destinados no período de 2007 a 2013	133
4.2.2.2 Substâncias inorgânicas dos lotes de lodo de esgoto misto do Paraná destinados ao uso agrícola no período de 2011 a 2013.....	136
4.3 SORÇÃO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS DA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06 EM LODO DE ESGOTO	139
4.3.1 Remoção de compostos orgânicos em estações de tratamento de esgoto ...	139
4.3.2 Características dos compostos orgânicos da Resolução Conama 375/06.....	145
4.3.3 Sugestões para adequações na Resolução Conama 375/06 quanto aos compostos orgânicos a serem caracterizados em lodo de esgoto.....	147
4.4 A RESOLUÇÃO CONAMA 375/06 E SUA APLICABILIDADE NA GESTÃO DO USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO ESTADO DO PARANÁ	152
4.4.1 Aspectos relacionados às disposições preliminares da Resolução Conama 375/06.....	152
4.4.1.1 Definições e processos de redução de patógenos.....	153
4.4.1.2 Processos de redução de atratividade de vetores.....	155
4.4.1.3 Parâmetros de caracterização do lodo de esgoto	156
4.4.1.4 Licenciamento de UGLs	158
4.4.2 Aspectos relacionados à frequência de monitoramento do lodo de esgoto ...	159
4.4.3 Aspectos relacionados aos requisitos mínimos de qualidade do lodo de esgoto destinado a agricultura.....	164
4.4.4 Aspectos relacionados às culturas aptas a receberem lodo de esgoto, às restrições locacionais e à aptidão do solo das áreas de aplicação.....	167
4.4.5 Aspectos relacionados ao projeto agronômico e às condições de uso	168
4.4.6 Aspectos relacionados à aplicação	170
4.4.7 Aspectos relacionados ao monitoramento das áreas de aplicação de lodo ...	172
4.4.8 Quadro resumo das sugestões de alterações de texto e de estudos visando adequações na Resolução Conama 375/06	178
5 CONCLUSÕES	182
5.1 ESTUDO DE CASO DA GESTÃO DO PROCESSO DE USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO ESTADO DO PARANÁ	182

5.2 PARÂMETROS AGRONÔMICOS E SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS EM LOTES DE LODO DE ESGOTO DESTINADOS A USO AGRÍCOLA NO PARANÁ, NO PERÍODO DE 2007 A 2013	183
5.3 SORÇÃO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS DA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06 EM LODO DE ESGOTO	184
5.4 A RESOLUÇÃO CONAMA 375/06 E SUA APLICABILIDADE NA GESTÃO DO USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO ESTADO DO PARANÁ	185
REFERÊNCIAS	187
ANEXO	220

1 INTRODUÇÃO

A destinação final adequada do lodo gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) é fator fundamental para que um sistema de esgotamento sanitário atinja integralmente seu objetivo de despoluição ambiental, constituindo-se numa necessidade de saúde pública, de preservação ambiental e de responsabilidade social.

Devido à expansão do saneamento no Brasil, à melhoria dos processos de tratamento de esgoto e ao conseqüente aumento na geração de lodo de esgoto, as empresas de saneamento enfrentam o desafio de destinar adequadamente este resíduo.

As opções atuais mais viáveis sob os aspectos ambiental, econômico, técnico e operacional são o uso agrícola e a disposição em aterro sanitário ou industrial licenciado. As demais alternativas de tratamento e disposição final adotadas no cenário mundial, como incineração, biomassa para geração de energia, mistura para fabricação de cimento e de materiais de construção, são empregadas de forma incipiente no Brasil.

As características do lodo gerado, seja exclusivamente doméstico ou doméstico e industrial, as questões relacionadas à infraestrutura e aspectos geográficos, como a ausência de aterros licenciados ou de áreas agrícolas próximas, e os critérios legais têm influência na definição da alternativa de disposição final mais adequada. Assim, essas e outras peculiaridades locais são variáveis e devem ser consideradas para a definição de um plano de gerenciamento de lodo de esgoto que promova a sustentabilidade do processo.

É crescente a preocupação, em nível mundial, com a gestão sustentável de resíduos do saneamento, sendo o tema abordado na Agenda 21 da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento. Em seu capítulo 21 sobre manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com os esgotos, estabelece que a reutilização e reciclagem dos resíduos devem ser uma das quatro principais áreas de programas relacionados ao manejo de resíduos (ONU, 1992).

Fato também evidenciado na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) do Brasil, ao estabelecer que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser considerada a ordem de prioridade seguinte: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e a disposição em aterro e que todos os aterros devem ser regularizados até agosto de 2014 (BRASIL, 2010). Porém, a realidade mostra que uma grande parte dos municípios brasileiros não possuem aterros licenciados, limitando a possibilidade dessa alternativa para disposição final do lodo de esgoto, que é considerado pela PNRS como resíduo sólido.

Dessa forma, o uso agrícola tem se apresentado como uma potencial opção de destinação, principalmente em municípios de pequeno porte, onde os aterros licenciados estão localizados a uma distância que torna essa alternativa economicamente inviável.

O uso agrícola é uma forma ambientalmente sustentável de destinação do lodo de esgoto, uma vez que promove a reciclagem de nutrientes, sendo benéfico ao cultivo de plantas e, por ser rico em matéria orgânica (MO), promove melhorias nas características físicas, químicas e biológicas do solo. Essa destinação proporciona benefícios à sociedade e ao ambiente, pois contribui para o cultivo de alimentos e para conservação do solo e da água.

No entanto, a aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas brasileiras está restrita a poucos estados, como São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Distrito Federal (SAMPAIO, 2013), e recentemente Espírito Santo. Este fato é resultante da limitada adesão desta alternativa pelas empresas de saneamento devido à falta de investimentos, de infraestrutura, de capacitação técnica e à dificuldade de atendimento aos critérios e procedimentos estabelecidos pela Resolução n. 375 de 29 de agosto de 2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Resolução Conama 375/06) (BRASIL, 2006). O excesso de critérios e limites mais restritivos do que normas internacionais e que não consideram as especificidades locais e regionais de disponibilidade de recursos e de infraestrutura dificultam e, até em alguns casos, tornam inviável a adoção desta alternativa.

A complexidade da legislação brasileira para uso agrícola tem dificultado a gestão do processo e conseqüentemente vem contribuindo para pouca difusão de uma prática mundialmente consolidada, que segundo a Resolução Conama 375/06 é

uma alternativa que apresenta vantagens ambientais quando comparado a outras práticas de destinação final; e que se enquadra nos princípios de reutilização de resíduos de forma ambientalmente adequada (BRASIL, 2006).

Entre os procedimentos da Resolução Conama 375/06 estão aqueles relacionados ao licenciamento, à frequência de monitoramento do lodo, à elaboração de projeto agrônômico, às condições de manuseio, transporte e aplicação do material. O documento também estabelece critérios para culturas e áreas agrícolas aptas a receberem o material, para restrições locacionais, para definição de taxa de aplicação e para o monitoramento das áreas de aplicação. Entre os requisitos mínimos de qualidade do lodo são definidos limites máximos de concentração para agentes patogênicos, indicadores bacteriológicos e contaminantes inorgânicos. Também é exigido o monitoramento de substâncias orgânicas no lodo de esgoto, ao contrário da maior parte das legislações internacionais sobre o tema, não sendo determinados limites máximos de concentração (BRASIL, 2006).

A inclusão das substâncias orgânicas na Resolução foi fundamentada em resultados preliminares de pesquisas nacionais e em legislações internacionais, uma vez que no Brasil são escassos os estudos sobre o assunto. Dessa forma, faz-se necessário um aprofundamento no tema, por meio de pesquisas e discussões, que contribuam para avaliar se estas substâncias devem ou não estar presentes na Resolução ou se critérios adicionais devem ser estabelecidos considerando a origem do esgoto, o processo de tratamento do esgoto e do lodo. Segundo Hespanhol (2014), o objetivo de uma norma é o de atribuir limites a variáveis localmente significativas, associados à realidade e características de cada região ou país onde o controle é exercido.

A Resolução Conama 375/06 estabelece que os critérios nela contidos podem ser reformulados a qualquer momento, com base em pesquisas científicas e desenvolvimento tecnológico. Também determina que o Ministério do Meio Ambiente coordenasse um grupo de monitoramento permanente, que iria se reunir ao menos anualmente e que sua revisão seria obrigatoriamente no sétimo ano de sua publicação (BRASIL, 2006). No entanto, até o início do ano de 2014 nada foi alterado no documento.

Dessa forma, para subsidiar a adequação da Resolução Conama 375/06, faz-se necessária a avaliação das experiências práticas de gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto adotadas no Brasil e o desenvolvimento de pesquisas abordando temas relacionados aos critérios e procedimentos estabelecidos pela Resolução. No entanto, como já relatado, no Brasil, devido às poucas experiências implantadas, são escassos os estudos de caso e avaliações da gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto.

Neste contexto, o presente estudo avalia a gestão no estado do Paraná do processo de uso agrícola de lodo de esgoto realizada no período de 2007 a 2013. O estudo, ao examinar informações do uso agrícola no estado e realizar uma análise crítica em relação aos critérios e procedimentos definidos pela Resolução Conama 375/06, procura trazer uma contribuição, não só para a área de saneamento, mas também para a sociedade de um modo mais amplo, uma vez que pretende contribuir para o debate sobre a sustentabilidade da destinação final do lodo de esgoto. Neste sentido, este trabalho é inédito e de grande relevância para a área de tratamento de esgoto.

1.1 HIPÓTESE

O texto da Resolução Conama 375/06 em alguns critérios e procedimentos não é aplicável às condições locais, dificultando a gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná, Brasil.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a aplicabilidade da Resolução Conama 375/06 na gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná, Brasil.

1.2.2 Objetivos específicos

- Apresentar os resultados da destinação agrícola do lodo de esgoto no estado do Paraná, Brasil, no período de 2007 a 2013.
- Avaliar as diferenças em relação aos parâmetros agronômicos e às substâncias inorgânicas entre os lotes de lodo de esgoto aeróbios e mistos produzidos nas Unidades de Gerenciamento de Lodo (UGLs) da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) e entre os lotes mistos produzidos nas UGLs do interior do Paraná e da RMC.
- Identificar características físico-químicas de sorção em lodo de esgoto dos compostos orgânicos da Resolução Conama 375/06.
- Avaliar a aplicabilidade dos critérios e procedimentos estabelecidos pela Resolução Conama 375/06 e sugerir alteração de textos e estudos para subsidiar a revisão da norma.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LODO DE ESGOTO: PRODUÇÃO E CARACTERÍSTICAS

Historicamente, os projetos de estações de tratamento de esgoto doméstico foram elaborados e executados sem que houvesse preocupação com a destinação adequada do lodo gerado. O crescimento das áreas urbanas, a expansão das redes coletoras de esgoto, a implantação de sistemas de tratamento mais eficientes e o aumento da pressão dos órgãos ambientais exigiram que as empresas de saneamento adotassem processos adequados, sanitária e ambientalmente, de tratamento e disposição final do lodo de esgoto.

Para definir a alternativa de disposição final é necessário levar em conta as características do lodo gerado em uma ETE, sendo que a quantidade e a qualidade do lodo dependem da composição e da vazão do esgoto afluente a ETE, bem como do sistema de tratamento utilizado.

O lodo de esgoto possui considerável quantidade de matéria orgânica (MO) e de nutrientes que são essenciais para o desenvolvimento vegetal, podendo ser utilizado na recuperação de solos erodidos e de áreas degradadas e como fonte de nutriente para cultivos agrossilvopastoris.

No entanto, o resíduo também pode conter substâncias inorgânicas e orgânicas poluentes, com potencial de causar impactos negativos ao ambiente, assim como agentes patogênicos que devem ser reduzidos a níveis que não apresentem riscos à saúde humana.

Nos itens a seguir serão abordados aspectos relacionados à origem do lodo e a sua composição físico-química, apresentando exemplos da constituição de lodos de esgoto gerados no Brasil, com enfoque nos parâmetros que tem influência no potencial do material para destinação agrícola.

2.1.1 Produção de lodo nas instalações de tratamento de esgotos

O esgoto pode ser definido como uma combinação do líquido ou água contendo os resíduos removidos de residências, estabelecimentos comerciais, institucionais, industriais e similares, bem como, por águas subterrâneas, superficiais e pluviais que podem estar presentes. O esgoto contém organismos patogênicos, microrganismos, nutrientes e também pode conter compostos tóxicos (TCHOBANOGLOUS; BURTON, 1991). É constituído 99,99% de água e 0,01% de sólidos, fração que possui 70% de substâncias orgânicas, proteínas, carboidratos e gorduras, e 30% de substâncias inorgânicas, sais e areia (BERTON; NOGUEIRA, 2010).

A NBR 9800 diferencia esgoto doméstico de esgoto sanitário, sendo o primeiro o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e atividades fisiológicas humanas. Enquanto esgoto sanitário é definido como o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a parcela de contribuição pluvial parasitária julgada conveniente (ABNT, 1987).

Um dos resíduos gerados no processo de tratamento de esgoto é o lodo, cujas características são consequências da composição do esgoto afluyente ao tratamento, do sistema de tratamento implantado e do método de operação adotado. Segundo Von Sperling e Gonçalves (2001), o lodo de esgoto pode ser classificado de acordo com o sistema e a etapa de tratamento de esgoto em:

- a) lodo primário: gerado nos processos que recebem o esgoto bruto em decantadores primários;
- b) lodo biológico ou secundário: proveniente da etapa biológica de tratamento. Composto da biomassa que cresceu utilizando o esgoto afluyente como alimento;
- c) lodo misto: resultante da mistura do lodo primário e secundário e
- d) lodo químico: gerado em etapa físico-químico de sistemas de tratamento que a possuem, seja para melhorar o desempenho do decantador primário ou para polimento do efluente secundário.

O mecanismo mais importante para a remoção da MO presente no esgoto é o metabolismo bacteriano (FIGURA 1). O metabolismo consiste na utilização por parte das bactérias da MO como fonte de energia e do carbono para gerar nova biomassa. Quando a MO é metabolizada, parte dela é transformada quimicamente em produtos finais, num processo que é acompanhado pela liberação de energia, chamado catabolismo. No outro processo, denominado anabolismo ou síntese, que ocorre simultaneamente, parte da MO transforma-se em novo material celular, a partir do consumo da energia fornecida pelo catabolismo. O catabolismo pode ser devido a dois processos (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994):

- 1) catabolismo oxidativo: é uma reação redox onde a MO é oxidada por um oxidante, que pode ser o oxigênio, nitrato ou sulfato;
- 2) catabolismo fermentativo: processo no qual não existe a presença de um oxidante, tendo por resultado um reordenamento dos elétrons da molécula fermentada com a formação de no mínimo dois produtos. Geralmente são necessárias várias fermentações sequenciais para a formação de produtos estabilizados.

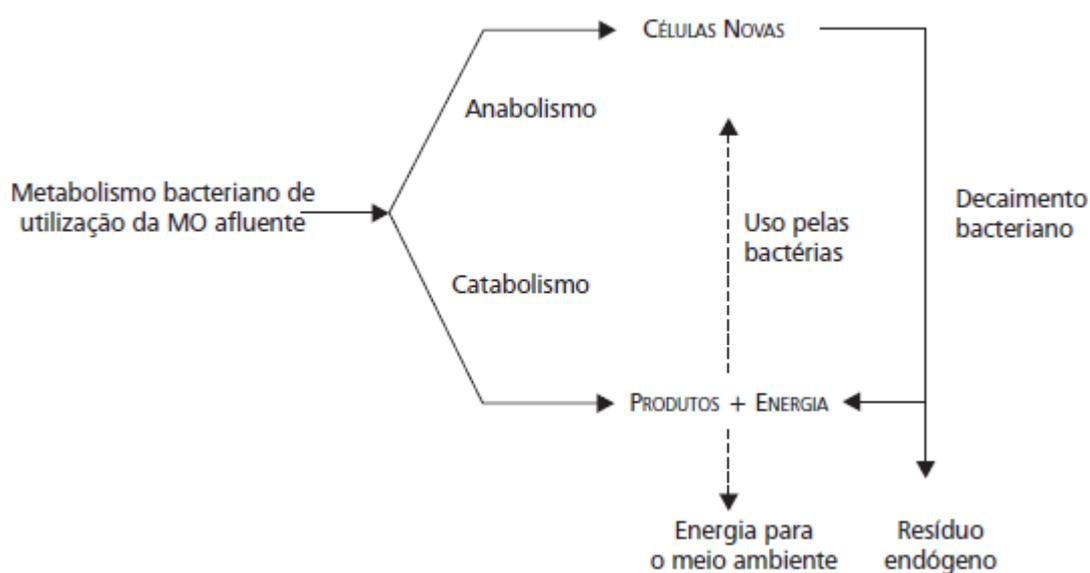


FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO METABOLISMO BACTERIANO
FONTE: Van Haandel e Lettinga (1994)

Na etapa biológica do tratamento de esgoto, uma parte da demanda química de oxigênio (DQO), que é um parâmetro que retrata de forma indireta o teor de MO, é convertida em CO₂ no tratamento aeróbio (catabolismo oxidativo) e em CO₂ e CH₄ no tratamento anaeróbio (catabolismo fermentativo). Outra parte é convertida em biomassa (anabolismo), que é a principal componente do lodo secundário. No tratamento anaeróbio de esgoto predomina a conversão da DQO em biogás enquanto no tratamento aeróbio predomina a conversão em biomassa (CHERNICHARO *et al.*, 2001). A FIGURA 2 mostra esquematicamente as proporções entre catabolismo e anabolismo para o metabolismo aeróbio e anaeróbio.

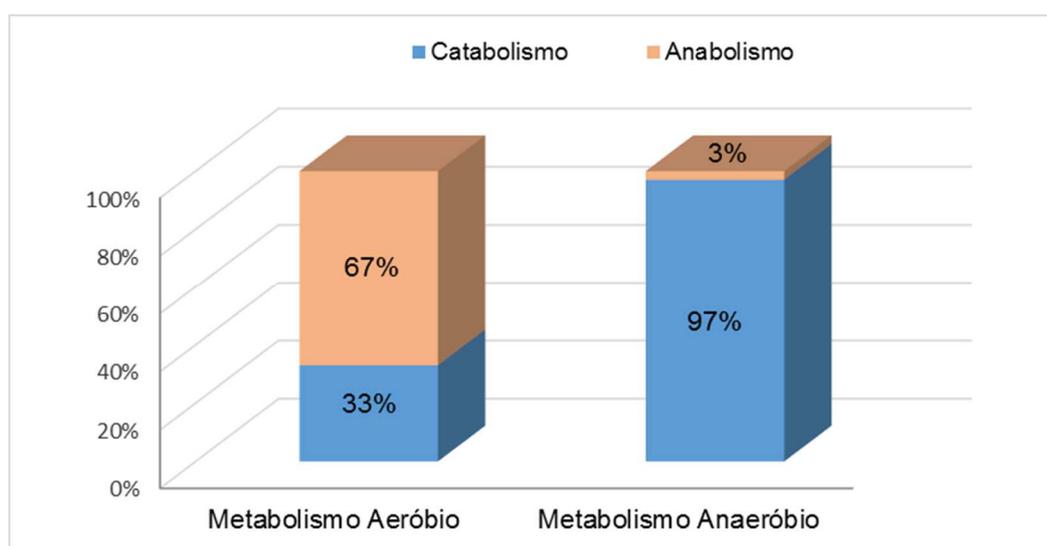


FIGURA 2 - PROPORÇÃO ENTRE ANABOLISMO E CATABOLISMO DE MATERIAL ORGÂNICO PARA O METABOLISMO AERÓBIO E ANAERÓBIO

FONTE: Van Haandel e Lettinga (1994)

No Brasil, são diversificados os sistemas de tratamento de esgoto, entre os quais os que utilizam, em diferentes combinações, os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo, lodos ativados de aeração convencional e de aeração prolongada, reatores com biofilmes de baixa e alta carga (como os filtros biológicos percoladores e filtros anaeróbios), lagoas aeradas, anaeróbias e facultativas, (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001; JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Os sistemas que produzem os menores e maiores volumes de lodo a ser tratado e/ou ser disposto são, respectivamente, as lagoas de estabilização e lodos ativados de aeração convencional. Este fato ocorre, pois nas lagoas o lodo fica retido por vários anos, durante os quais sofre digestão e adensamento, conseqüentemente,

redução de volume ao contrário do que acontece no sistema de lodos ativados de aeração convencional, onde a idade do lodo é baixa (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001).

2.1.2 Tratamento de lodo de esgoto para uso agrícola

O descarte do lodo dos reatores biológicos é necessário para garantir a eficiência do tratamento do esgoto e a qualidade do efluente lançado no corpo receptor. A frequência, quantidade e forma de descarte de lodo são variáveis de acordo com as tecnologias de tratamento de esgoto implantadas nas ETEs. Após o descarte, é necessário que o lodo gerado nos diferentes sistemas de tratamento de esgoto passe por processos posteriores de tratamento, que tem por objetivo adequá-lo à destinação final. De acordo com Von Sperling e Gonçalves (2001) esses processos de tratamento visam:

- aumentar o teor de sólidos: adensamento;
- mineralizar a matéria orgânica (redução de sólidos voláteis): estabilização;
- adequar para o desaguamento: condicionamento;
- reduzir a umidade (redução de volume): desaguamento;
- diminuir o número de organismos patogênicos: higienização.

Esses processos serão abordados de forma resumida a seguir, com ênfase no uso agrícola, como forma de destino final a ser dada ao lodo de esgoto.

2.1.2.1 Estabilização

A estabilização do lodo é a etapa de remoção da matéria orgânica mais facilmente biodegradável ou diminuição dos sólidos voláteis totais (SVT) e tem como objetivos principais: reduzir patógenos, diminuir o potencial de putrefação e eliminar maus odores (TCHOBANOGLIOUS; BURTON, 1991; LUDUVICE, 2001; JORDÃO;

PESSÔA, 2011). O processo mais usual para a estabilização do lodo é a digestão anaeróbia, embora a digestão aeróbia também possa ser realizada, como ocorre no processo de lodos ativados de aeração prolongada (LUDUVICE, 2001; JORDÃO; PESSÔA, 2011).

O período de permanência do lodo na unidade de tratamento biológico de esgoto influencia em suas características, especialmente na estabilidade, conseqüentemente, na forma de tratamento desse resíduo sólido (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001). Segundo os autores, a relação entre sólidos voláteis totais (SVT) e sólidos totais (ST) do lodo representa a fração orgânica dos ST e o nível de digestão do lodo (estabilidade).

Em lodos digeridos, esta relação situa-se em torno de 0,6 a 0,65, enquanto em lodos não digeridos está entre 0,75 e 0,80, sendo que lodos que permanecem dentro das unidades biológicas por meses ou anos apresentam-se mais digeridos e adensados. O lodo produzido em reatores anaeróbios, a exemplo do UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), é estabilizado no próprio reator durante um período médio de 1 a 3 meses. Os lodos gerados nas lagoas facultativas, anaeróbias e de maturação usualmente são bem estabilizados, permanecendo nestes sistemas por períodos superiores a 2 anos (LUDUVICE, 2001).

2.1.2.2 Adensamento, condicionamento e desaguamento

Os lodos primários e secundários gerados nos processos de tratamento de esgotos, com exceção das lagoas, contêm de 0,5 a 6% em peso de ST (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001). O excesso de umidade dificulta e torna onerosa a disposição ou aplicação do lodo em áreas agrícolas, principalmente em relação aos custos de transporte. Por esta razão, diversos processos para redução do conteúdo de água têm sido utilizados (GONÇALVES, LUDUVICE; VON SPERLING, 2001).

O adensamento ou espessamento é um processo físico de concentração de sólidos totais (ST) no lodo que tem por objetivo reduzir a umidade e, conseqüentemente o volume, facilitando as etapas subseqüentes de tratamento

(TCHOBANOGLOUS; BURTON, 1991). As alternativas incluem o adensamento por gravidade e por flotação. O resultado é um material ainda com propriedades de um líquido, com concentração de sólidos de cerca de 2 a 8% em peso, mas que reduz em até 70% o volume de lodo para o gerenciamento posterior (JORDÃO; PESSÔA, 2011; GONÇALVES, LUDUVICE, VON SPERLING, 2001).

O lodo de reatores anaeróbios, como UASB e de lagoas (anaeróbias, facultativas e de maturação) dispensam etapa posterior de adensamento, o qual acontece no próprio reator ou lagoa (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

Após o adensamento, o lodo de esgoto é desaguado, visando à redução de massa e volume para otimizar os processos de estocagem e de disposição final. Usualmente, antes do desaguamento o lodo ainda apresenta mais de 96% de umidade (4% de ST). Após o desaguamento, o teor de ST varia entre 20 e 70%, dependendo do processo utilizado. Este aumento de concentração de ST reduz o volume do lodo, entre 5 e 20 vezes (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001)

As principais razões que justificam a necessidade dessa redução de volume são (GONÇALVES; LUDUVICE; VON SPERLING, 2001):

- facilidade de transporte e redução proporcional nos custos de transporte interno na ETE e desta até o local de disposição final;
- aumento da capacidade de empilhamento durante a estocagem na ETE e consequente redução da área necessária para estocagem;
- redução da produção de lixiviados e chorume durante a estocagem;
- redução do custos e facilidade de manuseio durante a disposição final.

A forma como a água se encontra no lodo influencia em sua remoção. Segundo Van Haandel e Lettinga (1994), a água no lodo pode ser dividida nas seguintes classes:

- a) água livre: facilmente removida por gravidade (adensamento e flotação);
- b) água adsorvida: pode ser removida por força mecânica ou uso de floculante;
- c) água capilar: mantém-se adsorvida à fase sólida por força capilar, necessita de uma força maior para sua separação comparada à água adsorvida;
- d) água celular: parte da fase sólida, só é removida por meio de mudança no estado de agregação da água, ou seja, por congelamento e evaporação.

Segundo Gonçalves, Ludovice e Von Sperling (2001) a capacidade de desaguamento varia de acordo com o tipo de lodo, sendo lodos ativados mais difíceis de serem desaguados do que lodos primários digeridos anaerobiamente.

Os processos de desaguamento podem ser divididos basicamente em naturais e mecânicos. Entre os processos naturais, os mais comuns são os leitos de secagem e entre os métodos mecânicos, os mais usuais no Brasil utilizam prensa desaguadora, centrífuga e filtro prensa (JORDÃO; PESSÔA, 2011; GONÇALVES; LUDUVICE; VON SPERLING, 2001).

No leito de secagem perde-se totalmente a água livre por percolação, a partir daí a secagem é por evaporação natural da água. Os processos mecânicos baseiam-se em mecanismos físicos, tais como filtração, compactação e centrifugação para acelerar o desaguamento do lodo (JORDÃO; PESSÔA, 2011; GONÇALVES; LUDUVICE; VON SPERLING, 2001).

No preparo do lodo para o desaguamento mecânico é necessário o condicionamento, cujo princípio básico é a desestabilização e neutralização das forças eletrostáticas de repulsão entre as partículas de lodo, possibilitando o agrupamento das partículas menores (coloides e sólidos finos) em agregados maiores (flocos), mais facilmente capturados nos equipamentos de desaguamento mecânico. O condicionamento normalmente é realizado por meio da aplicação de produtos químicos ao lodo (TCHOBANOGLIOUS; BURTON, 1991). Os produtos químicos inorgânicos mais utilizados são sais de ferro, principalmente cloreto férrico, sulfato de alumínio, cal virgem e cal hidratada. Os produtos químicos orgânicos mais utilizados incluem diversos polímeros (compostos sintéticos de alto peso molecular), sendo que a definição do melhor produto e dosagem depende de testes locais (JORDÃO; PESSÔA, 2011; GONÇALVES; LUDUVICE; VON SPERLING, 2001).

As propriedades mecânicas do lodo estão relacionadas à umidade, que tem efeito direto em sua forma física e, conseqüentemente, no manuseio e na disposição final do material. Lodos fluídos apresentam uma umidade superior a 75%, enquanto lodos semissólidos (pastosos) entre 65 a 75% e lodos sólidos abaixo de 65% de umidade (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

2.1.2.3 Higienização de lodo de esgoto visando à destinação agrícola

Grande parte dos agentes patogênicos presentes no esgoto concentra-se no lodo, o qual, geralmente, apresenta níveis de concentração superiores aos observados no esgoto bruto. Muitos parasitas intestinais, e principalmente seus ovos, são pouco afetados pelos processos de tratamento de esgoto e de estabilização convencionais (digestão aeróbia e anaeróbia), necessitando uma etapa complementar ou conjugada aos processos convencionais para sua inativação. Essa etapa é denominada de higienização (TEIXEIRA PINTO, 2001).

Diversos processos têm sido apontados por pesquisas brasileiras como alternativas de higienização do lodo de esgoto. Fatores ambientais podem reduzir o tempo de sobrevivência dos organismos patogênicos presentes no lodo, como baixa umidade e elevado pH, sendo que a influência pode variar de patógeno para patógeno, como também em razão do tipo de tratamento a que foi submetido o lodo (MARTIN; BOSTAIN; STERN, 1990; SMITH, 1996; THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 1997; SIDHU *et al.*, 2001; SILVA, *et al.*, 2001; PIETRONAVE *et al.*, 2004; USEPA, 2003). Segundo Comparini (2001) a estocagem por longos períodos pode ser considerada um processo eficaz na destruição, mesmo que parcial, de ovos viáveis de helmintos, uma vez que a radiação solar e a diminuição de umidade contribuem para redução da concentração de organismos patogênicos.

Em pesquisas realizadas por Fernandes, Andraus e Andreoli (1996), Thomaz-Soccol *et al.* (1997), Ressetti, Soccol e Kaskantzis Neto (1999), Silva *et al.* (2004) e Corrêa, Fonseca e Corrêa (2007) a compostagem mostrou-se eficiente na redução da concentração de organismos patogênicos aos níveis exigidos para o uso agrícola no Brasil.

No Brasil, o uso de estufas agrícolas com e sem revolvimento do lodo foi testado como método de higienização por Comparini e Além Sobrinho (2003), Lima (2009) e Pegorini, Hartmann e Andreoli (2007). Nesses estudos, o revolvimento expõe a camada inferior do perfil do lodo à superfície, proporcionando a exposição solar, a redução de umidade e conseqüentemente a redução de organismos patogênicos (COMPARINI, 2001; COMPARINI; ALÉM SOBRINHO, 2003).

Mecanismos de redução de microrganismos patogênicos por via térmica foram observados por Andreoli *et al.* (2002), Borges *et al.* (2009), Bares *et al.* (2011) e Possetti *et al.* (2012). Nesses processos, a higienização acontece devido à combinação do tempo de permanência do lodo a uma dada temperatura, as quais estão relacionadas às diferentes difusividades térmicas do lodo para diferentes concentrações de sólidos (USEPA, 2003). A TABELA 1 apresenta relações entre tempo e temperatura para remoção de alguns patógenos e parasitas em lodo de esgoto.

TABELA 1 - RELAÇÃO DE TEMPO E TEMPERATURA DE EXPOSIÇÃO PARA REDUÇÃO DE PATÓGENOS E PARASITAS EM LODO DE ESGOTO

Organismo	Tempo de exposição (em minutos) para a destruição de patógenos a várias temperaturas				
	50°C	55°C	60°C	65°C	70°C
Entamoeba histólica	5				
Ovos de Ascaris lumbricoides	60	7			
<i>Brucella abortus</i>		60		3	
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>		45			4
<i>Salmonella typhi</i>			30		4
<i>Escherichia coli</i>			60		5
<i>Micrococcus pyogenes</i> Var. <i>aureus</i>					20
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>					20
<i>Shigella</i> sp.	60				
<i>Mycobacterium diphtheria</i>	45				
<i>Necator americanus</i>	50				
<i>Taenia saginata</i>					5
Vírus					25

FONTE: Stern (1974, citado por Epstein, 1997)

No Paraná, por meio do desenvolvimento de um programa interdisciplinar de pesquisas em tecnologias alternativas de higienização de lodo de esgoto, comprovou-se que o processo de estabilização alcalina prolongada (EAP) apresenta-se, para as condições da região, eficiente para obtenção de lodo classe A (THOMAZ-SOCCOL *et al.*, 1997). Esse processo, que consiste na elevação do pH do lodo a 12, por meio da adição de cal (CaO ou CaO+MgO) (PEGORINI *et al.*, 2006a) e posterior período de cura de 30 dias, foi aceito pelo órgão ambiental estadual e consta na Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009) que estabelece os critérios para aplicação agrícola do lodo de esgoto no estado.

2.1.3 Constituição do lodo de esgoto

O conhecimento da composição físico-química do lodo de esgoto é fundamental para a seleção da alternativa de destinação final mais adequada. O lodo de esgoto apresenta em sua constituição quantidades significativas de nutrientes necessários aos cultivos agrícolas, como Nitrogênio (N), Fósforo (P), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) (TABELA 2), cuja presença está relacionada com o esgoto que lhe deu origem e o processo de tratamento do esgoto e do lodo.

Os nutrientes encontrados em maior quantidade no lodo são o N e o P. Os cátions Ca e Mg são encontrados em pequenas quantidades, com exceção do lodo higienizado com cal. O Potássio (K) está presente em pequenas quantidades e portanto, em solos adubados com lodo, é necessária a complementação deste nutriente por meio da aplicação de fertilizantes minerais (ANDREOLI *et al*, 2001).

A TABELA 2 mostra que, usualmente, o lodo contém quantidades expressivas de micronutrientes como Cobre (Cu) e Zinco (Zn). No entanto, é importante destacar que esses microelementos são exigidos pelos cultivos vegetais em pequenas quantidades e o uso de lodo em níveis elevados pode resultar em efeitos tóxicos, reduzindo a produtividade dos cultivos (ANDREOLI *et al*, 2001).

A forma de tratamento e higienização afeta as características finais do lodo de esgoto. Lodos, cuja estabilização ou higienização é feita com cal, possuem pH mais elevado e menos nitrogênio devido às perdas por volatilização da amônia (NH₃). Lodos compostados possuem menos nitrogênio e uma relação C/N mais elevada, devido à adição de material rico em C para promover a compostagem da mistura. Com relação aos demais macronutrientes, nota-se maior presença de Ca, P e S nos lodos na forma de torta e seco, seguidos do Mg e K. Lodos na forma líquida possuem mais K por não sofrerem desaguamento na sua produção (BERTON; NOGUEIRA, 2010).

TABELA 2 - TEORES DE NUTRIENTES E DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS DE LODO DE DIFERENTES SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO BRASILEIROS

Constituinte	Unidade	Estação de Tratamento de Esgoto - ETE						
		Franca, SP ⁽¹⁾	Barueri, SP ⁽²⁾	Mangueira, PE ⁽³⁾	Belém, PR ⁽⁴⁾	Brasília Norte, DF ⁽⁵⁾	Jundiaí, SP ⁽⁶⁾	Pacotuba, ES ⁽⁷⁾
Umidade	%	39	72	-	23	86-88	68	-
pH	-	6,1	8,7	5,7	12	-	5,9	5,2
C _{org}	% ST	34	37	29	20	31-33	29	16
N _{kjeldahl}	% ST	4,5	4,1	2,5	3,1	0,5-0,6	3,2	0,6
Fósforo	% ST	0,8	2,5	0,5	2,0	0,3-0,6	1,8	0,4
Potássio	% ST	0,2	0,1	0,2	0,2	0,02-0,06	0,2	0,2
Cálcio	% ST	1,9	2,5	2,2	13	-	1,3	-
Magnésio	% ST	0,3	0,4	0,2	7,3	-	0,3	-
Manganês	% ST	0,02	0,03	0,02	-	-	0,07	-
Ferro	% ST	1,9	3,2	1,6	-	-	2,9	-
Alumínio	% ST	-	1,8	-	-	0,2-0,4	-	-
Arsênio	mg kg ⁻¹ ST	-	-	-	-	<0,6	0,6	<0,5
Bário	mg kg ⁻¹ ST	-	-	-	-	-	-	156
Boro	mg kg ⁻¹ ST	-	9,5	-	-	-	-	-
Cádmio	mg kg ⁻¹ ST	2	11	3,1	8,5	4-6	7,2	<0,05
Chumbo	mg kg ⁻¹ ST	100	206	350	43	10-11	184	29
Cobre	mg kg ⁻¹ ST	204	80	60	120	87-104	722	98
Cromo	mg kg ⁻¹ ST	102	791	-	40	18-21	153	26
Mercúrio	mg kg ⁻¹ ST	-	-	-	2,1	<4	<0,1	-
Molibdênio	mg kg ⁻¹ ST	-	-	-	-	<7	-	3,5
Níquel	mg kg ⁻¹ ST	69	395	-	50	5-6	35	11
Selênio	mg kg ⁻¹ ST	-	-	-	-	<1,3	-	<0,5
Zinco	mg kg ⁻¹ ST	1.279	2.827	937	549	159-169	500	409

FONTES: ⁽¹⁾ Borges e Coutinho (2004); ⁽²⁾ Pires *et al.* (2007); ⁽³⁾ Gomes, Nascimento e Biondi (2007); ⁽⁴⁾ Chueiri *et al.* (2007); ⁽⁵⁾ Corrêa, Fonseca e Corrêa (2007); ⁽⁶⁾ Backes *et al.* (2009); ⁽⁷⁾ Delarmelina *et al.* (2013)

NOTA: ⁽¹⁾ Sistema de lodos ativados convencional; ⁽²⁾ Lodo de digestor anaeróbio gerado no processo de lodos ativados; ⁽³⁾ lodo de leite de secagem gerado em reator anaeróbio, Nitrogênio em Nitrogênio total; ⁽⁴⁾ lodo higienizado com cal proveniente de centrifuga gerado em processo lodos ativado de aeração prolongada, Nitrogênio em Nitrogênio total, Fósforo em P₂O₅ e Potássio em K₂O; ⁽⁵⁾ lodo primário e secundário desaguado em prensa gerado em processo de lodos ativados, Nitrogênio em Nitrogênio total; ⁽⁶⁾ lodo gerado em sistema composto por lagoas aeradas aeróbias seguidas de lagoas de decantação; ⁽⁷⁾ sistema de tanque séptico seguido de filtro anaeróbio de fluxo ascendente, valores originais em mg dm⁻³ estimados em % e mg kg⁻¹ adotando massa específica de 1.000 kg m⁻³.

2.1.4 Contaminantes do lodo de sistemas de tratamento de esgoto doméstico

As substâncias presentes no lodo, dependendo da destinação final adotada, também podem ser contaminantes. Quando do uso agrícola, a aplicação de lodo de esgoto em excesso pode resultar em contaminação ambiental. A adição em excesso de nitrogênio na forma de nitrato, acima da demanda do cultivo agrícola é uma preocupação ambiental, pois pode representar risco de contaminação do lençol freático (VITOUSEK; HOWARTH. 1991). O acúmulo de P, resultante da quantidade aplicada excessivamente àquela removida pelas culturas e por longos períodos, contribui para aumentar o potencial de perda de P para o ambiente (ELLIOTT; O'CONNOR, 2007).

Os contaminantes inorgânicos (TABELA 3), os poluentes orgânicos e os microrganismos patogênicos presentes no lodo de esgoto também podem representar riscos ao ambiente e à saúde, quando da aplicação agrícola sem a adoção de medidas de controle (SILVA *et al.*, 2001).

No presente documento, da mesma forma que na Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006) será adotado o termo: substâncias inorgânicas para os contaminantes inorgânicos, comumente denominados de metais pesados.

TABELA 3 - TEORES DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS DE LODO DE DIFERENTES SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO BRASILEIROS

Localidade	Parâmetros (mg kg ⁻¹)										
	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
JERÔNIMO MONTEIRO, ES ⁽¹⁾	-	-	0,4	15	129	4,1	-	9,4	40	-	320
SUZANO, SP ⁽²⁾	-	-	8,0	579	625	-	-	346	217	-	1,1
RMC, PR ⁽³⁾	0,2	138	0,3	48	101	0,1	0,4	30	32	8,0	343
BARUERI, SP ⁽⁴⁾	12	-	18	-	850	2,0	13,0	34	189	1,0	1.870
FRANCA, SP ⁽⁵⁾	-	307	3,3	285	573	-	2,8	57	77	-	1.028

FONTE: ⁽¹⁾ Lopes *et al.* (2005); ⁽²⁾ Marques *et al.* (2006); ⁽³⁾ Bittencourt *et al.* (2010a); ⁽⁴⁾ Nogueira *et al.* (2010); ⁽⁵⁾ Merlino *et al.* (2010)

A existência e os níveis de concentração de contaminantes químicos orgânicos e inorgânicos em lodo de esgoto são resultantes, principalmente, do

recebimento de efluentes não domésticos na rede coletora de esgoto (PEGORINI *et al.*; 2006b; MATTA, 2011) e também da utilização de produtos de uso doméstico, de higiene pessoal e de medicamentos pela população ligada à rede de esgoto (HALLING-SØRENSEN *et al.*, 1998; KOLPIN *et al.*, 2002; MCARDELL *et al.*, 2003; HYLAND *et al.*, 2012).

A NBR 9.800 - Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário (ABNT, 1987) tem por objetivo garantir a segurança e o bom funcionamento da rede coletora e do sistema de tratamento de esgoto, não levando em conta a qualidade do lodo gerado.

No Paraná, a concessionária de saneamento, Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), somente aceita o descarte de efluentes industriais na rede de esgotamento doméstico mediante o atendimento de critérios de qualidade do efluente, por parte das indústrias. São definidos valores limites para: DBO, DQO, pH, temperatura, óleos e graxas, sólidos sedimentáveis, N, P, Ag, As, Cd, Cr, Cu, Fe solúvel, Hg, Ni, Pb, Se, Sn, Zn, benzeno, cianeto, clorofórmio, dicloroetano, estireno, etilbenzeno, fenol, fluoreto, sulfato, sulfeto, surfactantes, tetracloreto de carbono, tolueno e xileno. Os gestores podem estabelecer limites mais restritivos com base em avaliação local de capacidade das redes coletoras de esgoto e da ETE (SANEPAR, 2013). O lodo gerado nas ETEs operadas pela empresa apresenta baixos teores de substâncias inorgânicas e orgânicas (BITTENCOURT *et al.*, 2010b). Dessa forma, o lodo enquadra-se na classificação de resíduos Classe II - não inertes nos termos da NBR 10004, os quais podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água (ABNT, 2004).

A contaminação do lodo de esgoto com organismos patogênicos é resultante das condições de saúde da população que contribui com o esgoto destinado a uma ETE. Um estudo realizado no Espírito Santo (LOZER, 2012) mostra uma variação entre 0,3 a 40 na concentração de ovos viáveis de helmintos por grama de ST de lodo de esgoto e de $1,7 \times 10^4$ a $1,5 \times 10^6$ para Coliformes termotolerantes em número mais provável por grama de sólidos totais (NMP g^{-1} ST). Dessa forma, com o objetivo de reduzir a concentração dos organismos patogênicos do lodo, de modo que não resultem riscos à saúde da população e aos trabalhadores durante o manuseio e disposição final, realiza-se a higienização do material.

2.2 ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO E DE DISPOSIÇÃO FINAL DE LODO DE ESGOTO

A adoção de uma alternativa adequada de disposição final para o lodo de esgoto deve levar em conta a forma mais econômica de atendimento aos padrões ambientais estabelecidos, bem como a viabilidade técnica e operacional da alternativa.

São variáveis os tratamentos e destinações finais dadas ao lodo de esgoto nos diferentes países do mundo. Como exemplos de tratamentos tem-se: a compostagem, a alcalinização, o uso como biomassa para geração de energia e a incineração e entre as disposições finais adotadas estão: o uso como matéria-prima para outros produtos, a deposição em aterro, o uso como fertilizante e condicionador do solo após tratamento adequado.

O contexto mundial de crescente preocupação com aspectos como: saúde da população, alterações climáticas, poluição ambiental e escassez de recursos naturais, conduz a adoção de tecnologias de tratamento de esgoto cada vez mais eficientes e de elevado custo. Dessa forma, considerando que a produção de lodo é inevitável e proporcional à eficiência do tratamento de esgoto, é necessária a adoção de usos sustentáveis deste resíduo sólido (LEBLANC, MATTHEWS, RICHARD; 2008).

Segundo Beecher (2008), a gestão do lodo de esgoto é uma necessidade e um desafio, principalmente em áreas densamente povoadas onde o espaço para armazenamento é limitado e os volumes gerados são demasiadamente grandes para permitir a assimilação no ambiente.

Neste item serão abordadas as alternativas mundiais mais comumente utilizadas para tratamento e destinação final do lodo de esgoto, sendo que, devido à importância no presente estudo, o tema uso agrícola de lodo de esgoto será abordado detalhadamente no item 2.3.

2.2.1 Incineração

A incineração reduz bastante o volume do lodo de esgoto por meio da rápida oxidação da MO, tendo a vantagem de possibilitar o aproveitamento de energia. No entanto, a incineração requer um grande investimento em infraestrutura e requer combustível (usualmente fóssil) para iniciar a queima. Os incineradores em países desenvolvidos estão sujeitos a padrões de controle de poluição do ar cada vez mais rigorosos, que exigem o uso de tecnologias complexas e caras. É uma alternativa de difícil implantação em cidades menores e em alguns países é uma alternativa de pouca aceitação pública (BEECHER, 2008).

Apesar dessas desvantagens, a incineração do lodo tornou-se prática comum em áreas densamente povoadas de alguns países tecnologicamente avançados. Japão, Países Baixos e Alemanha incineram, respectivamente, cerca de 70%, 58% e 34% do lodo de esgoto gerado. A Eslovênia, após secagem, envia 50% do lodo para incineração fora do país. No Canadá, cerca de 30% do lodo é incinerado e nos Estados Unidos da América (EUA) cerca de 15%, principalmente nas maiores cidades do leste, como Cleveland, onde a incineração tem um custo relativamente baixo (BEECHER, 2008).

O uso do lodo de esgoto como um combustível alternativo aumentou nos últimos anos devido à elevação dos preços dos combustíveis fósseis. Isto fez com que instalações de incineração investissem em recuperar o calor para gerar eletricidade e/ou fornecer o calor para instalações, como para os digestores e espaços interiores de prédios administrativos. Hong Kong, que tradicionalmente destinava o lodo para aterros, nos últimos anos relata uma mudança de política, incentivando a incineração com recuperação de energia. Vários países da UE e Japão estão explorando tratamentos térmicos de alta tecnologia, como a gaseificação e pirólise, visando aproveitar a energia do lodo de esgoto (BEECHER, 2008).

Geralmente, a cinza resultante da incineração do lodo de esgoto é destinada a aterro. No entanto, como existem esforços para recuperar ao máximo os recursos, as cinzas da incineração vem sendo reaproveitadas na mistura para a produção de asfalto; como corretivo de solos, como material de enchimento na fabricação de tijolos

e agregados leves para concreto (PSARIS; BORGATTI, 1994). Por exemplo, em Yokohama, Japão, a cada ano são produzidos 110.000 m³ de solo melhorado, utilizando 7.000 m³ de cinzas de lodo de esgoto como ingrediente (BEECHER, 2008). As cinzas geradas têm sido misturadas parcialmente com solo escavado de canteiros de obras e reutilizada na forma de solo melhorado, para uso em obras ou como matéria prima na produção de cimento (YOKOHAMA, [2011]). O Japão também utiliza processos de solidificação termal das cinzas, mas o incremento crescente nos custos de energia tem se mostrado como um fator limitante na continuidade desse processo (SPINOSA, 2007).

Algumas regiões dos Estados Unidos usam os incineradores como unidades reservas quando outras opções de gerenciamento não podem ser executadas (USEPA, 1999).

2.2.2 Disposição em aterros sanitários

Para ser disposto em aterro, o lodo de esgoto deve possuir, pelo menos, de 15 a 20% de ST, para evitar a geração excessiva de chorume e para não prejudicar a estabilidade do aterro. O desaguamento normalmente é a única exigência para disposição de lodo de esgoto em aterro, uma vez que normalmente não se exige a caracterização deste resíduo. Dessa forma, em países com grande disponibilidade de área, a deposição em aterro é a opção mais barata. Por outro lado, em países desenvolvidos, o custo da área para aterro está se tornando mais caro que os processos mais custosos e avançados de implantação e operação (BEECHER, 2008).

Aliado a esse fato, existe uma tendência mundial em não considerar essa forma de disposição como uma prática de gestão sustentável dos resíduos, mesmo quando a destinação em aterro é a menos custosa e trabalhosa. Nesses contextos, países como Áustria, Canadá e Suécia instituíram políticas para redução da disposição de resíduos orgânicos em aterro sanitário (PARRAVICINI *et al.*, 2007, HÉBERT, 2007; LINDBERG *et al.*, 2007, respectivamente).

Essa opção de destinação é legalmente proibida em países da União Europeia (UE), a qual incentiva a eliminação progressiva da deposição em aterro de resíduos orgânicos. Na Áustria o lodo de esgoto só pode ser depositado em aterro quando apresentar um teor menor que 5% de carbono orgânico total em peso seco (BEECHER, 2008).

O Brasil segue a mesma tendência do cenário mundial, ao estabelecer, na Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) no artigo 9º, que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. No estado do Paraná, a Lei Estadual nº 12.493, de 22 de janeiro de 1999, regulamentada pelo Decreto nº 6.674/2002 estabelece o princípio da minimização da geração de resíduos, através da adoção de processos de baixa geração de resíduos sólidos, bem como de sua reutilização e/ou reciclagem, dando-se prioridade a essas, a despeito de outras formas de tratamento e destinação final, exceto nos casos em que não exista tecnologia viável (PARANÁ, 1999).

A existência de aterros licenciados ainda não é uma realidade em muitos municípios, fazendo que a disposição do lodo de esgoto em aterro não seja uma opção. No Paraná, estudo realizado no ano de 2012 pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP) mostrou que dos 399 municípios do estado, 185 (46,4%) dispõe os resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário devidamente licenciado pelo órgão ambiental, 121 (30,3%) dispõe em aterro controlado e 93 (23,3%) dispõe em áreas de “lixão” (PARANÁ, 2013).

2.2.3 Outros usos do lodo de esgoto

Em muitas partes do mundo, a aplicação do paradigma "reduzir, reutilizar, reciclar" resultou em aumento do uso benéfico do lodo de esgoto. Países, como a Jordânia e Turquia, onde a maior parte do lodo de esgoto é disposta em aterro, estão desenvolvendo pesquisas visando o aumento do uso agrícola do material. Outros países, como Portugal e Eslováquia, também concentram esforços para aumentar o uso do lodo de esgoto na agricultura (BEECHER, 2008).

Segundo o mesmo autor, além do uso agrícola, as outras maneiras de utilização do lodo de esgoto são:

- a) recuperação de áreas: recuperação de áreas de mineração, desativação e fechamento de aterro, lodo de esgoto estabilizado com cal para mitigar drenagem ácida de minas, remediação e/ou biorremediação em áreas urbanas e suburbanas contaminadas, fabricação de solo para outros usos e desenvolvimento de recursos de água (por exemplo, estabelecimento de wetland; restauração da linha litorânea);
- b) horticultura e paisagismo: matéria-prima de compostagem, misturas para vasos, constituinte de fertilizantes, produção de grama, gramados, parques, campos desportivos, telhados verdes, controle de erosão, tratamento de fluxo de águas pluviais (filtros), revegetação de margens de rodovia, uso de cinzas de incineração para enriquecimento de fósforo e correção de acidez em solo;
- c) florestas: fertilização da floresta (em povoamentos existentes e para o reflorestamento), aplicações após incêndios florestais, silvicultura intensiva para as culturas de fibras;
- d) processos industriais: uso em fornos de cimento, fabricação de tijolos ou outros materiais de construção, fabricação de agregado de vidro usado em pavimentação, cobertura diária ou final de células de aterro;
- e) recuperação de recursos do lodo de esgoto: como fonte de minerais e metais (por exemplo, a produção de estruvita), substrato para produção de produtos de alto valor (por exemplo, proteínas).

A produção de agregados leves a partir de lodos digeridos anaerobiamente; foi desenvolvida pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, na década de 70, e aplicada em escala de produção pela SABESP na ETE da Vila Leopoldina, entre os anos de 1979 a 1981. O material foi utilizado na fabricação de peças pré-moldadas, em pisos de concreto em pátios, na fabricação de blocos de concreto para pavimentação e na execução de laje de concreto (SANTOS, 1996).

Okuno *et al.* (1997) relataram o processo de transformação de lodo de esgoto em material utilizado como agregado para concreto em Konan-Chubu Water Reclamation Plant, Japão. Em 2009, a quantidade total de lodo de esgoto gerada no país foi cerca de 1,79 milhões de toneladas de ST, sendo que a taxa de reciclagem do material chegou a 77%, em base sólida seca, somando o uso em materiais de construção, mistura para cimento, uso agrícola, uso como combustível e geração de gás de digestão. No caso de material de construção, utiliza-se apenas o conteúdo inorgânico do lodo (MATSUMIYA, 2012).

Pesquisas sobre a utilização de lodo de esgoto na produção de cerâmica vermelha foram realizadas no Brasil (INGUNZA *et al.*, 2006; KOZIEVITCH; COELHO; SOUZA, 2006; LIMA *et al.*, 2007) e na Espanha (JORDÁN *et al.*, 2005).

Navas, Machín e Navas (1999), Bezerra *et al.* (2006), Skorupa *et al.* (2006) e Tamanini *et al.* (2008) ressaltaram o efeito positivo da aplicação do lodo de esgoto, no desenvolvimento da vegetação e em recuperação de solos degradados. Alguns exemplos de aplicação, nos EUA, são os casos de Palmerton e Dauphin County (extração de carvão) na Pennsylvania, de Norton no Estado da Virginia, e de Fulton County (extração de carvão), Illinois (PSARIS; BORGATTI, 1994). No Canadá, o lodo de esgoto representa a maior parte dos compostos orgânicos utilizados na recuperação de áreas resultantes da exploração de minérios e jazidas de areia (VAN HAM *et al.*, 2007).

Na Alemanha, estudos sobre a viabilidade da produção de biodiesel a partir de lodo de esgoto resultaram no desenvolvimento da técnica de Conversão a Baixa Temperatura (Low Temperature Conversion – LTC). Esse processo termoquímico vem sendo aplicado a biomassas de origem urbana, industrial e agrícola, visando transformá-los em produtos de potencial valor econômico (PEREIRA *et al.*, 2004).

2.3 USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO

2.3.1 Contexto mundial do uso agrícola de lodo de esgoto

Em vários países do mundo o uso agrícola, em diferentes proporções, é uma das alternativas de destinação final para o lodo de esgoto gerado nas ETEs. Internacionalmente, o termo biossólido é utilizado para distinguir o lodo de esgoto processado. Segundo Beecher *et al.* (2007) as definições de biossólidos geralmente aceitas referem-se a usos agrícolas ou aplicações no solo. A USEPA (1994) define biossólido como um produto sólido essencialmente orgânico, produzido por processos de tratamento de esgoto, que pode ser benéficamente reciclado.

Segundo Leblanc; Matthews e Richard (2008) o biossólido tem usos benéficos e por isso deve ser tratado como um produto e não como um resíduo. Durante os últimos 50 anos, a ciência tem proporcionado muitas respostas sobre a gestão de riscos, mas muito ainda precisa ser feito em relação à aceitação pública. O uso sustentável do biossólido requer uma visão global, que leve em consideração as preocupações de todas as partes interessadas. Para isso, é necessário desenvolver e implantar um plano de gestão, que inclua consulta, cooperação e coordenação entre os operadores, a população, os reguladores, os políticos e a comunidade científica

O uso agrícola do biossólido exige a superação da preocupação, natural ao ser humano, de utilizar materiais derivados de esgoto (HONG, 2013). Assim, a adoção dessa alternativa requer defensores locais, projetos de pesquisa e demonstração prática. Isso faz com que as pesquisas continuem, mesmo em países como a Inglaterra, os EUA e Canadá, aonde o biossólido vem sendo usado em solos há décadas (BEECHER, 2008).

Em países como China, França, Nova Zelândia e EUA o biossólido é vendido aos agricultores, e dessa forma é valorizado como produto de mercado. No entanto, é importante destacar que as receitas de vendas só cobrem parcialmente os custos da gestão e tratamento do lodo de esgoto. A reciclagem de biossólidos custa ao agricultor menos do que a compra de fertilizantes minerais, reduz o uso de

combustíveis fósseis utilizados no processamento e transporte desses fertilizantes e promove a reciclagem de nutrientes e MO. A importância de utilizar os nutrientes do biossólido é ressaltada pelo fato de que as reservas de fósforo (P) natural deverão ser esgotadas até o final do século (BEECHER, 2008).

Nos Estados Unidos, as cerca de 16.500 estações municipais de tratamento de esgoto produzem aproximadamente oito milhões de toneladas secas de biossólidos a cada ano. Tradicionalmente, as opções para destinação do lodo de esgoto têm sido a incineração (17%), aterro (28%) ou a aplicação em solos para produção agrícola, florestal e recuperação de áreas (45%). A ETE de Chicago, maior produtora de lodo de esgoto do país com cerca de 160 mil toneladas secas por ano, o destina para aplicação no solo de duas formas. Na primeira delas, o biossólido é utilizado em áreas agrícolas para produção de culturas, como milho e soja. A outra é um programa local onde o biossólido é usado na área metropolitana de Chicago como fertilizante em áreas de lazer, como campos de golfe, parques e escolas de ensino médio. Para isso, são desenvolvidas atividades para minimizar as percepções negativas do uso do produto e para divulgar o uso do biossólido e atrair novos usuários (GODWIN, 2012).

Na Austrália foram geradas em 2013, cerca de 330.000 toneladas de ST de biossólidos. Dessa quantidade total, 59% foram destinadas para uso agrícola, 6% para compostagem, 4% para recuperação de áreas degradadas, 3% para aterro sanitário, 1% à disposição oceânica e 20% foram estocados, aguardando futuro planejamento e tratamento. Na Nova Zelândia, as cerca de 74.000 toneladas de ST de biossólidos geradas em 2013, tiveram os seguintes destinos: 10% para uso agrícola, 5% para compostagem, 5% para uso florestal, 60% para aterro sanitário, 10% para disposição oceânica e 10% para projeto de recuperação de áreas degradadas. O teor de ST do biossólido quando encaminhado para disposição final foi, respectivamente, de 26% e 28%, na Austrália e Nova Zelândia (AUSTRALIA & NEW ZEALAND BIOSOLIDS PARTNERSHIP, 2013).

Na UE-15 (União Europeia - antigos estados membros), Alemanha, Reino Unido, Espanha, França e Itália são os países que mais produzem lodo de esgoto, com quase 73% do total produzido (KELESSIDIS; STASINAKIS, 2012). A UE atualmente constituída por 27 países independentes, aplica na agricultura cerca de

37% das cerca de 9,9 milhões t ano⁻¹ de biossólido (ST) gerado. Essa porcentagem varia desde países que não realizam a reciclagem agrícola, como a Romênia e a Eslováquia, até aqueles países que reciclam na agricultura mais de 50% do lodo produzido, como Dinamarca, França, Irlanda, Espanha e Reino Unido (EVANS, 2012). Estima-se que a produção de lodo de esgoto na UE-27 vai atingir cerca de 13,0 milhões de toneladas (sólidos totais) em 2020, com cerca 44% deste total aplicado no solo (MILIEU; WRc; RPA, 2010) (QUADRO 1).

Estado Membro	Geração de Lodo (t ano ⁻¹)	Usos do lodo (%)			
		Aplicação no solo	Incineração	Aterro	Outros
UE-12					
Bulgária	151.000	60	10	10	20
Chipre	17.620	50	10	30	10
República Tcheca	260.000	75	20	5	5
Estônia	33.000	15			85
Hungria	200.000	60	30	5	5
Letônia	50.000	30	10	20	30
Lituânia	80.000	55	15	5	25
Malta	10.000	10		90	
Polônia	950.000	25	10	20	45
Romênia	520.000	20	10	30	40
Eslováquia	135.000	50	40	5	5
Eslovênia	50.000	15	70	10	5
UE 12 Total	2.457.000	37	16	17	31
UE 15					
Áustria	280.000	5	85	>1	10
Bélgica	170.000	10	90		
Dinamarca	140.000	50	45		
Finlândia	155.000	5	5		90
France	1.400.000	75	15	5	5
Alemanha	2.000.000	25	50	0	25
Grécia	260.000	5	40	55	
Irlanda	135.000	70	10	5	10
Itália	1.500.000	35	30	5	30
Luxemburgo	10.000	80	20		
Holanda	560.000	0	100		
Portugal	750.000	50	40	5	5
Spain	1.280.000	70	25	5	
Suécia	250.000	15	5	1	75
Reino Unido	1.640.000	65	25	1	10
UE 15 total	10.530.000	44	37	4	15
UE 27 total	13.047.000	44	32	7	16

QUADRO 1 - ESTIMATIVAS DE PRODUÇÃO E USOS DE LODO DE ESGOTO NA UNIÃO EUROPEIA PARA 2020

FONTE: Milieu, WRc, RPA, (2010)

No Canadá são geradas cerca de 660 mil t ano⁻¹ de lodo de esgoto em base seca (2,5 milhões t de lodo com cerca de 25% de ST) e devido às exigências cada vez mais rigorosas de tratamento de esgoto, esta quantidade tende a aumentar nos próximos anos (CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT, 2012). Segundo Apedaile (2001) o lodo gerado no país é destinado à incineração (47%), aplicação no solo (43%), aterro (4%) e outros usos (6%).

Já no Japão o uso agrícola do lodo de esgoto não é a principal destinação do material, uma vez que o país não possui grandes quantidades de áreas agrícolas. Em 2009, da quantidade total gerada, de cerca de 1,79 milhões de toneladas de ST, 11% foi destinado para uso agrícola (MATSUMIYA, 2012).

Na América Latina, ainda são incipientes as experiências em escala real de uso agrícola de lodo de esgoto.

México e Brasil, tem avançado na prática de uso agrícola de lodo de esgoto. Isso em virtude da ampliação dos sistemas de esgotamento sanitário (JIMÉNEZ, 2011). Na Colômbia as ETEs geram 274 toneladas de lodo ao dia (94 toneladas base seca), sendo que 97% são gerados em três ETEs: El Salitre (Bogotá), Cañaveralejo (Cali) e San Fernando (Medellín). O lodo tem sido usado para cobertura final de aterros sanitários das principais cidades do país, reduzindo as necessidades de solo orgânico para este fim. Também tem sido usado, na recuperação de áreas degradadas, com mais de 20 ha cobertos com uma mistura de lodo com solo e 22 ha com uso somente de lodo das ETEs colombianas (DAGUER, 2003).

2.3.2 Contexto brasileiro e paranaense do uso agrícola do lodo de esgoto

No Brasil, pesquisas com o uso de lodo de esgoto, desenvolvidas em Programas de Pesquisa de Saneamento Básico (ANDREOLI *et al.*, 1999) e em Projetos de Reciclagem de Biossólido (LARA, 2001), apontaram orientações para a disposição final deste resíduo, com destaque para a aplicação no solo, tanto na recuperação de áreas degradadas quanto visando cultivos agrícolas. Resultados diversos, referentes ao desenvolvimento vegetal, foram e vêm sendo obtidos em

pesquisas sob condições controladas (BETTIOL; CARVALHO; FRANCO, 1983; PEDROZA *et al.* 2003; WACHOWICZ; SERRAT, 2006; PEDROZA *et al.* 2006; CHUEIRI *et al.*, 2007), contribuindo para redirecionar os caminhos da recomendação e do manejo do bio-sólido na agricultura.

O potencial agrícola do lodo de esgoto tem sido relatado em muitos experimentos de campo no Brasil, o uso do material tem apresentado resultados iguais ou superiores à aplicação de fertilizantes minerais, conforme foi obtido por Lourenço *et al.* (1996), Favaretto *et al.* (1997), Deschamps e Favaretto (1998), Tamanini *et al.* (2008) e Junio *et al.* (2013).

Nos trabalhos de Martins *et al.* (2003) e de Tamanini (2004), com as culturas do milho e milheto, respectivamente, observou-se o aumento linear da produção de matéria seca, em ambos, e de grãos, no do milho, para os tratamentos que receberam doses crescentes de lodo de esgoto, sendo que os autores atribuem seus resultados aos nutrientes existentes no resíduo e também aos possíveis efeitos do lodo nas propriedades físicas e biológicas do solo.

A aplicação do lodo no solo estimula o desenvolvimento da microbiota do solo, aumentando a sua quantidade e diversidade (VARGAS; SCHOLLES, 2000; TRANNIN; SIQUEIRA; MOREIRA, 2007; MODESTO *et al.*, 2009), a qual ao degradar os compostos orgânicos promove uma liberação de nutrientes para as plantas de forma lenta, evitando que os mesmos sejam perdidos por lixiviação.

Galdos, de Maria e Camargo (2004) utilizando lodo de esgoto desaguado por centrífuga e higienizado por revolvimento, para a cultura do milho, observaram aumentos em produtividade apenas no segundo ano de cultivo, referindo-se ao efeito residual do lodo de esgoto.

Silva; Resck e Sharma (2002) e Lemainski e Silva (2006) também observaram efeito residual, porém precedido de resposta imediata da cultura do milho às doses crescentes de lodo de esgoto. Estes autores relataram que a eficiência agrônômica com o uso de lodo de esgoto foi, em média, 21% maior do que com o uso de fertilizante mineral, sendo que nos dois cultivos avaliados, a produtividade aumentou, significativamente, até a dose de 30 t ha⁻¹, a qual obteve a melhor relação benefício-custo (1,90).

Entre as pesquisas relatadas observa-se que o efeito do lodo de esgoto depende também do processo de higienização adotado para o material, o qual pode ser por digestão biológica, compostagem, tratamento térmico ou adição de materiais alcalinos (AISSE; FERNANDO; SILVA, 2001), gerando um insumo de características específicas que poderá resultar em efeitos ambientais e agrônômicos diferenciados.

Quando o lodo de esgoto é proveniente do processo de higienização por estabilização alcalina, a sua aplicação no solo poderá minimizar ou mesmo substituir a operação de correção de pH do solo com a aplicação de calcário, (BARCELAR *et al.*, 2001; PAGLIA *et al.* 2007; TAMANINI *et al.*, 2008), prática agrícola necessária para correção da acidez observada nos solos brasileiros, podendo trazer vantagens agrônômicas e econômicas aos agricultores.

O lodo higienizado por estabilização alcalina prolongada (EAP) apresenta características de corretivo de acidez do solo. Os óxidos e hidróxidos de Ca e Mg que constituem o lodo EAP, possuem maior velocidade de reação quando comparados aos carbonatos de Ca e Mg, constituintes do calcário, material normalmente utilizado como corretivo de acidez de solos agrícolas (MOTTA; LIMA, 2006).

No Brasil, ainda são escassas as informações sobre a geração e destinação do lodo de esgoto. Machado, Figueiredo e Coraucci Filho (2004), com base em informações das prestadoras de serviços de saneamento brasileiras responsáveis pelas ETEs, estimaram uma geração teórica $151.724 \text{ t ano}^{-1}$ de lodo seco. Segundo os autores, as informações referentes à produção real e à constituição dos bio sólidos são escassas, pois, a maioria das operadoras de tratamento de esgoto não produzem as informações referentes ao lodo de forma sistemática, dando enfoque somente ao esgoto tratado. Segundo Andreoli *et al.* (2008) a estimativa de produção anual de lodo de esgoto gerado foi de 120.000 m^3 no estado do Paraná.

No Brasil, segundo Sampaio (2013), o destino do lodo da maioria das ETEs em operação é o aterro sanitário, no entanto, a destinação agrícola vem crescendo nos últimos anos, principalmente nos estados de São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Distrito Federal, com uma quantidade anual destinada, respectivamente, de cerca de 8.500, 8.000, 1.000 e 3.800 t ano^{-1} de ST.

No estado do Paraná, em 1998 iniciou-se o uso agrícola de lodo de esgoto em escala piloto na RMC, como resultado do Programa Interdisciplinar de Pesquisa,

iniciado em 1988. Desde 2002 este procedimento passou a ser realizado também pelas ETEs dessa Região e na de Foz do Iguaçu com respaldo do órgão ambiental do estado por meio de autorização ambiental. Em 2007, visando consolidar o Programa, iniciaram-se os procedimentos para ampliação do uso agrícola de lodo de esgoto no restante do estado (BITTENCOURT *et al.*, 2010b).

2.3.3 Aspectos legais relacionados ao uso agrícola de lodo de esgoto

No Brasil o termo “biossólido” não foi adotado na Resolução Conama 375/06 que regulamenta o uso agrícola do lodo de esgoto (BRASIL, 2006). Assim, se utiliza o termo “lodo de esgoto” para todo tipo de lodo, mesmo quando processado de modo a garantir o uso seguro. No presente estudo, para facilitar o entendimento das informações, será utilizado o termo biossólido para designar o lodo de esgoto tratado para fins agrícolas quando em análise de critérios de legislações internacionais.

Em países da Europa e nos EUA aonde o uso agrícola de lodo de esgoto vem sendo realizado há mais tempo, os regulamentos para aplicação de biossólidos encontram-se em estágio bastante desenvolvido. As grandes quantidades geradas nas ETEs desses países e que são aplicadas em milhares de hectares a cada ano, levaram ao estabelecimento de regulamentos bastante completos, mesmo que seus critérios estejam em constante avaliação (BEECHER, 2008).

Nos EUA, os relatos de uso agrícola de lodo de esgoto datam de 1907, em Alliance, Ohio. Naquela época, os projetos de aplicação na agricultura eram desenvolvidos com o objetivo de maximizar as taxas de aplicação de forma a reduzir os custos da disposição dos lodos, sendo mínima a preocupação quanto a impactos adversos para o solo e plantações. No início dos anos 70, ênfase foi dada a aplicação de lodos de acordo com taxas agronômicas recomendadas, com realização de pesquisas científicas, visando entender o destino de constituintes potencialmente tóxicos e dos patógenos, quando da aplicação de lodos de esgotos aos solos. O surgimento de informações técnicas relativas à aplicação de lodos de esgoto na agricultura, em grande número (mais de 2300 artigos desde 1970), levou ao

desenvolvimento de regulamentação para uso nos EUA e Europa. Nos EUA, embora a primeira norma tenha sido proposta em 1974, somente em 1993 foi promulgado um amplo regulamento federal (NRC, 2002).

A preocupação principal das legislações em nível mundial tem sido com o risco de disseminação de organismos patogênicos, mas devido aos processos de controle já estabelecidos, as atuais preocupações nos países desenvolvidos vem sendo direcionadas ao controle de substâncias químicas. A Academia Nacional de Ciências dos EUA constatou que não há nenhuma evidência científica documentada de que os Regulamentos dos EUA para tratamento e gestão de lodo de esgoto deixaram de proteger a saúde pública. Estes regulamentos são baseados em avaliações dos riscos potenciais de organismos patogênicos, contaminantes inorgânicos, e alguns produtos químicos encontrados em bio sólido (BEECHER, 2008).

A regulamentação sobre uso agrícola de bio sólido na União Europeia (UE) é descrita na Diretiva 86/278/EEC de 1986, a qual possui 18 artigos. Os países membros da União Europeia são autorizados a adotar normas mais rigorosas do que as estabelecidas na 86/278/EEC (IRANPOUR *et al.*, 2004).

Nos EUA, a quantidade permitida de contaminantes no lodo de esgoto é regulamentada pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), através da autoridade que lhe foi concedida pelo “Clean Water Act” (CWA) (Lei de Água Limpa), especificamente a CFR 40 Parte 503 que entrou em vigor em 1993 e que determina diretrizes para a redução de patógenos e impõe limites para a concentração de nove contaminantes inorgânicos, porém, não inclui regulamentação para os poluentes orgânicos em bio sólidos (USEPA, 2009). A Seção 405 (d) da CWA exige que a EPA identifique e regule os poluentes tóxicos que podem estar presentes em bio sólidos em níveis de preocupação para a saúde pública e para o meio ambiente. Dessa forma, realiza-se periodicamente a Pesquisa Nacional sobre Lodo de Esgoto (Targeted National Sewage Sludge Survey – TNSSS), visando subsidiar a EPA na avaliação dos níveis de substâncias potencialmente contaminantes no lodo de esgoto (USEPA, 2009).

O regulamento norte americano foi tomado como base para a elaboração da maior parte dos critérios e procedimentos da Resolução CONAMA nº 375 de 29 de

agosto de 2006 (BRASIL, 2006) que normatiza o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em ETEs brasileiras. A Resolução Conama 375/06 define Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL) como a unidade responsável pelo recebimento, processamento, caracterização, transporte, destinação do lodo de esgoto produzido por uma ou mais estações de tratamento de esgoto sanitário e pelo monitoramento dos efeitos ambientais, agronômicos e sanitários de sua aplicação em área agrícola (BRASIL, 2006).

No estado do Paraná, a Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009) contém os procedimentos, padrões e requisitos para a utilização do lodo em áreas agrícolas definidos na Resolução Conama 375/06, sendo em alguns aspectos mais restritiva que a resolução federal. Tanto as normas anteriores, Instrução Técnica do IAPCEP/DTA n. 001/2002 (PARANÁ, 2002) e Resolução Sema 001/07 (PARANÁ, 2007), quanto à norma atual, Resolução Sema 021/09, não permitem a existência de lodo equivalente a Classe B (BRASIL, 2006), bem como, possuem limites menores de concentração máxima permitida no lodo de esgoto para Cd, Cu, Hg, Ni e Zn, quando comparados aos da Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006).

A Resolução Sema 021/09 define UGL como uma unidade vinculada ou não a uma ETE que realiza o gerenciamento de lodo gerado por uma ou mais ETEs, para fins de reciclagem agrícola. O documento considera que o lodo somente pode ser aplicado na agricultura caso satisfaça pré-requisitos que tornem seu uso seguro (PARANÁ, 2009), sendo os principais tópicos regulamentados:

- Licenciamento Ambiental: define a sistemática de licenciamento da reciclagem agrícola.
- Caracterização e qualidade do lodo: estabelece que o lodo deve ser caracterizado em relação a potencial agronômico, estabilidade, substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas e indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos e define os limites máximos para substâncias inorgânicas, agentes patogênicos e estabilidade.
- Aptidão das áreas de aplicação: estabelece um sistema de classificação da aptidão do solo para aplicação de lodo (SOUZA et al., 2008), considerando características do solo, localização e entorno das áreas.
- Culturas para utilização de lodo: define as culturas onde o uso é vetado.

- Forma de aplicação: define a forma de aplicação em função do relevo das áreas.
- Taxas de aplicação: estabelece critérios para definição da taxa de aplicação em função das características do lodo, do solo onde será utilizado e da cultura a ser plantada;
- Transporte do lodo: estabelece requisitos para o transporte da UGL até as áreas de uso.
- Frequência de amostragem: define a frequência em função do porte da UGL.
- Controle da aplicação: define a necessidade de elaboração de um projeto agrônômico.
- Monitoramento ambiental: estabelece os critérios de monitoramento das áreas que receberam aplicação de lodo de esgoto.

2.4 ASPECTOS RELACIONADOS À QUALIDADE DO BIOSSÓLIDO

2.4.1 Características de sanidade do bio sólido

Os principais aspectos das legislações em relação a requisitos sanitários dizem respeito a padrões e práticas de gerenciamento e tratamento do lodo de esgoto, visando à redução de patógenos em níveis aceitáveis e redução da possibilidade de atração dos vetores.

A regulamentação dos EUA estabelece dois níveis de bio sólidos quanto à sanidade: Classe A e Classe B.

O bio sólido Classe A requer a redução de coliformes fecais para menos de 1.000 NMP (número mais provável) por grama de peso seco ou a redução de *Salmonella* sp. para menos que três NMP por quatro gramas de ST no momento em que o lodo for usado, utilizando uma das seis alternativas de tratamento apresentadas no CFR 40 Parte 503 (USEPA, 2007), as quais são:

- a) um dos quatro tratamentos de relação tempo temperatura apresentados no QUADRO 2;

Tratamento	Aplicação	Requisitos
1	Teor de ST igual ou maior que 7% (exceção aos enquadrados no tratamento 2)	Temperatura igual ou superior a 50°C, por período igual ou superior a 20 minutos
2	Teor de ST igual ou maior que 7%, aquecidos por quaisquer gases aquecidos ou de um líquido imiscível.	Temperatura igual ou superior a 50°C, por período igual ou superior a 15 minutos
3	Teor de ST menor que 7%	Lodo aquecido no mínimo por 15 segundos, mas menos que 30 minutos, o período de tempo e temperatura devem ser determinados através da equação: tempo (dias) = $131.700.000 / 10^{0,14 \times \text{temperatura (oC)}}$
4	Teor de ST menor que 7%	Temperatura igual ou superior a 50°C, por período igual ou superior a 30 minutos

QUADRO 2 - TRATAMENTOS TEMPO X TEMPERATURA PARA OBTENÇÃO DE LODO CLASSE A CONFORME REGULAMENTAÇÃO DOS ESTADOS UNIDOS

FONTE: USEPA (2007)

- b) elevação de pH e temperatura. O pH do lodo de esgoto deve ser elevado acima de 12 e permanecer por 72 horas. Neste processo a temperatura do lodo de esgoto deve ser superior a 52°C durante no mínimo 12 horas. No final do período de 72 horas o lodo deverá ser seco ao ar para obter uma percentagem de sólidos superior a 50 %;
- c) monitoramento do processo. Antes da higienização, o lodo deve ser analisado para determinar se contém vírus entéricos e ovos viáveis de helmintos. Quando a densidade de vírus entéricos for menor do que uma unidade de formação de placas (UFP) por quatro gramas de ST e de ovos viáveis de helmintos for inferior a um por quatro gramas de ST, o lodo é de classe A. Quando a densidade de vírus entéricos e de ovos viáveis não atenderem a esses limites, o lodo deve ser higienizado para atender os limites;
- d) processos indefinidos. A determinação de ovos viáveis de helmintos e de vírus entéricos deve ser realizada a cada lote de lodo produzido e deve atender os limites descritos no item c;
- e) processos para redução adicional de patógenos (PRAP). O lodo de esgoto deve ser tratado por meio de um dos processos descritos no

Apêndice B do CFR 40 Parte 503, os quais são: compostagem confinada ou em leiras aeradas, secagem térmica direta ou indireta, tratamento térmico de lodo líquido, digestão aeróbia termofílica a ar ou oxigênio, irradiação com raios beta ou raios gama e pasteurização;

- f) processos equivalentes aos de redução adicional de patógenos. O lodo deve ser tratado por processo equivalente aos de redução adicional de patógenos e ser autorizado pela instituição licenciadora.

Requisitos adicionais, visando evitar a recontaminação do bio sólido, estabelecem que as reduções de patógenos devam ser obtidas antes ou no momento do atendimento do padrão de redução de atração de vetores, bem como no momento do uso ou disposição de bio sólido.

Os critérios para bio sólido Classe B da CFR 40 Parte 503 exigem o atendimento do limite de coliformes fecais ($< 2 \times 10^6$ NMP ou Unidade Formadora de Foco - UFC g^{-1} ST obtido por média geométrica de sete amostras), bem como a adoção de um processo de redução significativa de patógeno. No entanto, devido à exposição humana direta ao bio sólido Classe B ainda representar um risco significativo para a saúde também, são estabelecidas restrições de aplicação (IRANPOUR *et al.*, 2004).

Segundo o CFR 40 Parte 503 (IRANPOUR *et al.*, 2004), independentemente da classe de redução de patógenos, todo bio sólido a ser aplicado no solo deve cumprir uma das seguintes opções de redução de atração de vetores:

- a) mínimo de 38 % de redução da massa de sólidos voláteis totais (SVT);
- b) para bio sólidos digeridos anaerobiamente que não cumprirem a opção anterior, deve-se demonstrar em escala de laboratório que a mesma amostra de lodo apresente uma redução de SVT menor que 17%, após um período adicional de 40 dias de digestão, com temperatura variando entre 30 e 37°C;
- c) para bio sólidos digeridos aerobiamente que não atenderem a opção a), deve-se demonstrar em escala de laboratório que a mesma amostra de lodo apresente uma redução dos SVT, ao longo de 30 dias a 20°C, a níveis menores que 15 %;

- d) para biossólido tratado aerobiamente, a taxa específica de consumo de oxigênio deve ser igual ou inferior a 1,5 mg de O₂ por hora x grama de ST, a 20°C;
- e) tratamento aeróbico de biossólido a temperaturas superiores a 40°C (média de 45°C) durante 14 dias ou mais;
- f) elevação do pH acima de 12, e manutenção por 2 horas e nas 22 horas seguintes, manutenção do pH acima de 11,5;
- g) redução do teor de umidade do biossólido, que não contém sólidos não estabilizados, de pelo menos de 75% de ST;
- h) redução do teor de umidade do biossólido que contém sólidos não estabilizados, de pelo menos de 90% de ST;
- i) injeção subsuperficial do biossólido no solo;
- j) incorporação de biossólido no solo.

A Diretiva 86/278/EEC de 1986 da UE não especifica limites para patógenos, mas requer tratamento do lodo de esgoto antes da aplicação no solo, visando reduzir a quantidade de patógenos. A 86/278/EEC não define critérios numéricos porque, no momento em que foi formulada, a visão era de que, devido à natureza heterogênea do lodo, seria difícil a rotina de amostragem e análise do material. A proteção consistia em uma combinação de restrições de uso, dependendo da origem do lodo, do seu tratamento e do manejo dado ao cultivo agricultura. Estas medidas de proteção foram baseadas em avaliações de prevenção de riscos utilizando organismos indicadores, tais como *Taenia* e *Salmonella* (MATTHEWS, 2008).

Na UE, os critérios relativos ao tratamento de biossólido são de responsabilidade de cada país membro. Por exemplo, os processos de tratamento adotados pelo Reino Unido são comparáveis aos processos dos Estados Unidos de redução significativa de patógenos para a produção de biossólido Classe B. Em 2000, a UE propôs no documento de trabalho sobre lodo, uma distinção entre padrão avançado e padrão convencional, semelhantes, respectivamente, aos processos de redução adicional de patógenos (PRAP) para biossólido Classe A e processos de redução significativa de patógenos (PRSP) para biossólido Classe B, do CFR 40 Parte 503. Também foram definidos limites para *Escherichia coli* e *Salmonella* sp. Para o padrão convencional deve-se alcançar uma redução de *Escherichia coli* maior que 2

log₁₀. Para o padrão avançado deve-se alcançar uma redução maior que 6 log₁₀ de *Escherichia coli* alcançando valores menores que 500 CFU g⁻¹ ST, sendo que a validação inicial do processo deve ser por meio da redução de 6 log₁₀ de organismo teste, como *Salmonella* Senftenberg W775a (IRANPOUR *et al.*, 2004). Não são exigidos limites para outros patógenos como vírus e helmintos, para os quais o controle é supostamente alcançado pela eficiência de tratamento e indicado pela redução específica de *E. coli* e, ou por variáveis de controle operacional dos processos de tratamento (BASTOS *et al.*, 2009).

No Canadá, a Lei de Fertilizantes é a única regulamentação nacional que faz referência a bio sólido, uma vez que o bio sólido como toda a legislação ambiental está sob a jurisdição de cada província. Os regulamentos em algumas províncias referem-se às definições da EPA, enquanto outras têm desenvolvido seus próprios critérios (FEDERATION OF CANADIAN MUNICIPALITIES, 2003). De forma geral, são definidos três níveis de qualidade para o bio sólido nas categorias apresentadas no QUADRO 3.

Categoria	Limites	Processos aceitos
1 (Qualidade Excepcional) *	Coliformes fecais < 10 ³ NMP g ⁻¹ de ST ou <i>Salmonella</i> sp. < 3 NMP x 4 g ⁻¹ de ST	Compostagem confinada ou em leiras aeradas, secagem térmica, tratamento térmico do lodo líquido, digestão aeróbica termofílica, pasteurização, elevação de pH e temperatura, outros processos que atendam as relações específicas de tempo e temperatura.
2 (Classe A) *	Coliformes fecais < 10 ³ NMP g ⁻¹ de ST ou <i>Salmonella</i> sp. < 3 NMP x 4 g ⁻¹ de ST	Compostagem confinada ou em leiras aeradas, secagem térmica, tratamento térmico, digestão aeróbica termofílica, pasteurização, elevação de pH e temperatura, outros processos que atendam as relações específicas de tempo e temperatura.
3 (Classe B)	Coliformes fecais < 2 milhões de NMP g ⁻¹ de ST	Digestão aeróbia, digestão anaeróbia, compostagem, estabilização com cal, secagem ao ar.

QUADRO 3 - COMPARAÇÃO DAS DIFERENTES CATEGORIAS DE QUALIDADE DE BIOSSÓLIDOS UTILIZADAS NO CANADÁ

FONTE: Federation of Canadian Municipalities (2003)

NOTA: *Equivalência com a EPA CFR 40 PARTE 503

O estabelecimento de três classes de lodo para uso agrícola também foi adotado na Norma Oficial Mexicana (NOM-004-SEMARNAT-2002). A classificação

considera padrões de concentração de patógenos e de metais pesados (excelente ou bom), conforme mostra o QUADRO 4 (MÉXICO, 2003).

Classe	Limites de patógenos	Padrões para metais pesados	Usos
A	Coliformes fecais < 10 ³ NMP g ⁻¹ de ST <i>Salmonella</i> sp. < 3 NMP g ⁻¹ de ST Helmintos < 1 ovos viável g ⁻¹ de ST	Excelente	Usos urbanos com contato público direto durante sua aplicação O estabelecido para classe B e C
B	Coliformes fecais < 10 ³ NMP g ⁻¹ de ST <i>Salmonella</i> sp. < 3 NMP g ⁻¹ de ST Helmintos < 10 ovos viáveis g ⁻¹ de ST	Excelente ou bom	Usos urbanos sem contato público direto durante sua aplicação. O estabelecido para classe C
C	Coliformes fecais < 2.10 ⁶ NMP g ⁻¹ de ST <i>Salmonella</i> sp. < 300 NMP g ⁻¹ de ST Helmintos < 35 ovos viáveis g ⁻¹ de ST	Excelente ou bom	Usos florestais Melhoramento de solos Usos agrícolas

QUADRO 4 - COMPARAÇÃO DAS DIFERENTES CLASSES DE BIODSÓLIDO SEGUNDO NORMA OFICIAL MEXICANA

FONTE: México (2003)

No Brasil, o lodo para uso agrícola é classificado quanto à sanidade em: Classe A, considerado seguro para o contato direto e Classe B, relativa a lodo sujeito a restrições de uso, cujo conteúdo de patógenos tenha sido reduzido a níveis improváveis de causar doenças em condições específicas de uso (BRASIL, 2006). No entanto, a Resolução Conama 375/06 estabelece que após cinco anos de sua publicação, ou seja, a partir de agosto de 2011, somente será permitida a aplicação de lodo de esgoto classe A, exceto no caso de proposição de novos critérios ou limites baseados em estudos de avaliação de risco e dados epidemiológicos nacionais, que demonstrem a segurança do uso do lodo de esgoto Classe B (BRASIL, 2006).

No estado do Paraná, a regulamentação para uso agrícola de lodo, tanto a atual, Resolução Sema 021/09, quanto as anteriores, Instrução Técnica do IAP CEP/DTA n. 001/2002 (PARANÁ, 2002) e Resolução Sema 001/07 (PARANÁ, 2007), não permitem a existência de lodo equivalente a Classe B (BRASIL, 2006). De acordo com a Resolução Sema 021/09, para ter aplicação agrícola o lodo de esgoto deve atender os limites para Classe A (QUADRO 5), bem como ser submetido aos processos de higienização que incluem os PRAP e de processos de redução de atratividade de vetores (PRAV).

Indicador Bacteriológico/ Agentes Patogênicos	Unidade	Limite Resoluções		
		Conama 375/06		SEMA 021/09
		Lodo A	Lodo B	
Coliformes termotolerantes	NMP g ⁻¹ de ST	<10 ³	<10 ⁶	<10 ³
Ovos viáveis de helmintos	Ovos viáveis g ⁻¹ de ST	<0,25	<10	<0,25
<i>Salmonella</i> sp.	em 10g ⁻¹ de ST	ausência	-	ausência
Vírus	UFP ou UFFg ⁻¹ de ST	<0,25	-	<0,25

QUADRO 5 - LIMITES DE CONCENTRAÇÃO DE ORGANISMOS PATOGENICOS E INDICADORES BACTERIOLÓGICOS EM LODO DE ESGOTO DESTINADO A USO AGRÍCOLA

NOTA: ST - Sólidos Totais, NMP – Número Mais Provável, UFF- Unidade Formadora de Foco, UFP - Unidade Formadora de Placa.

FONTE: Brasil (2006), Paraná (2009)

Ambas as resoluções (BRASIL, 2006; PARANÁ, 2009) permitem que outros processos de redução adicional de patógenos e redução da atratividade de vetores sejam propostos e, após a comprovação de sua eficiência e aceitação pelo órgão ambiental, incluídos nas resoluções.

O QUADRO 6 apresenta uma síntese das exigências quanto à sanidade de lodo de esgoto para uso agrícola dos EUA, Canadá, México, Brasil e do estado do Paraná.

País	Classe	Limites	Condição
EUA ⁽¹⁾	A	Coliformes fecais < 10 ³ NMP g ⁻¹ de ST ou <i>Salmonella</i> sp. < 3 NMP 4 g ⁻¹ de ST	. Utilizar uma das 6 alternativas de tratamento do CFR 40 Parte 503. . Cumprir uma das opções de PRAV.
	B	Coliformes fecais < 2x10 ⁶ NMP ou UFC g ⁻¹ ST	. Limite de coliformes obtido por média geométrica de 7 amostras. . Adotar um dos PRSP. . Respeitar restrições de usos. . Cumprir uma das opções de redução de atração de vetores.
Canadá ⁽²⁾	1	Coliformes fecais < 10 ³ NMP g ⁻¹ de ST ou <i>Salmonella</i> sp. < 3 NMP 4 g ⁻¹ de ST	. Adotar um dos processos de tratamento para atender o limite.
	2	Coliformes fecais < 10 ³ NMP g ⁻¹ de ST ou <i>Salmonella</i> sp. < 3 NMP 4 g ⁻¹ de ST	. Adotar um dos processos de tratamento para atender o limite.
	3	Coliformes fecais < 2 milhões de NMP g ⁻¹ de ST	. Adotar um dos processos de tratamento para atender o limite.
México ⁽³⁾	A	Coliformes fecais < 10 ³ NMP g ⁻¹ de ST <i>Salmonella</i> sp. < 3 NMP g ⁻¹ de ST Helmintos < 1 ovo viável g ⁻¹ de ST	. Cumprir o padrão excelente para metais pesados. . Respeitar restrições de usos.
	B	Coliformes fecais < 10 ³ NMP g ⁻¹ de ST <i>Salmonella</i> sp. < 3 NMP g ⁻¹ de ST Helmintos < 10 ovos viáveis g ⁻¹ de ST	. Cumprir o padrão excelente ou bom para metais pesados. . Respeitar restrições de usos.
	C	Coliformes fecais < 2.10 ⁶ NMP g ⁻¹ de ST <i>Salmonella</i> sp. < 300 NMP g ⁻¹ de ST Helmintos < 35 ovos viáveis g ⁻¹ de ST	. Cumprir o padrão excelente ou bom para metais pesados. . Respeitar restrições de usos.
Brasil ⁽⁴⁾	A	Coliformes termotolerantes < 10 ³ NMP g ⁻¹ de ST Helmintos < 0,25 ovos viáveis g ⁻¹ de ST <i>Salmonella</i> sp. ausência em 10g ⁻¹ de ST Vírus < 0,25 UFP ou UFFg ⁻¹ de ST	. Adotar um dos PRAP. . Cumprir uma das opções de PRAV . Respeitar restrições de usos.
	B*	Coliformes termotolerantes < 10 ⁶ NMP g ⁻¹ de ST Helmintos < 10 ovos viáveis g ⁻¹ de ST	. Adotar um dos PRSP. . Cumprir uma das opções de PRAV. . Respeitar restrições de usos.
Paraná ⁽⁵⁾	-	Coliformes termotolerantes < 10 ³ NMP g ⁻¹ de ST Helmintos < 0,25 ovos viáveis g ⁻¹ de ST <i>Salmonella</i> sp. ausência em 10g ⁻¹ de ST Vírus < 0,25 UFP ou UFFg ⁻¹ de ST	. Adotar um dos PRAP. . Cumprir uma das opções de PRAV . Respeitar restrições de usos.

QUADRO 6 - COMPARAÇÃO DAS DIFERENTES CATEGORIAS DE QUALIDADE DE BIÓSSÓLIDOS UTILIZADAS NOS EUA, CANADÁ, MÉXICO, BRASIL E NO ESTADO DO PARANÁ.

FONTE: ⁽¹⁾ Iranpour *et al.* (2004), ⁽²⁾ Federation of Canadian Municipalities (2003), ⁽³⁾ México (2003), ⁽⁴⁾ Brasil (2006), ⁽⁵⁾ Paraná (2009).

NOTA: ST - Sólidos Totais, NMP - Número Mais Provável, UFF- Unidade Formadora de Foco, UFP - Unidade Formadora de Placa, PRAP - Processos de Redução Adicional de Patógenos, PRAV - Processos de Redução da Atratividade de Vetores, PRSP - Processos de Redução Significativa de Patógenos. * Permitido o uso pela Resolução Conama 375/06 somente até cinco anos após sua publicação.

2.4.2 Poluentes químicos inorgânicos em biossólido

A TABELA 4 compara os padrões de substâncias inorgânicas em lodo de esgoto para uso agrícola da UE, da Holanda (considerado um dos países com limites mais rígidos da UE), dos EUA, do México, do Brasil e do estado do Paraná.

Segundo a Diretiva 86/278/EEC da UE a concentração de substâncias inorgânicas do biossólido não deve exceder o limite superior apresentado na TABELA 4, sendo que os Estados-Membros devem levar em conta o aumento da mobilidade da substância e da sua absorção pelas plantas e, se for necessário, reduzir os valores-limite fixados (COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1986). O documento de trabalho de revisão da Diretiva 86/278/EEC, propõe que as concentrações limites diminuam em longo prazo (TABELA 4) (IRANPOUR *et al.*, 2004).

TABELA 4 - LIMITES DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS EM LODO DE ESGOTO PARA USO AGRÍCOLA NA UNIÃO EUROPEIA, HOLANDA, EUA, MÉXICO, BRASIL E ESTADO DO PARANÁ

País	Limite	Parâmetros (mg kg ⁻¹ ST)										
		As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
UE ⁽¹⁾	Atual superior	-	-	40	-	1750	25	-	400	1200	-	4000
	Atual inferior	-	-	20	-	1000	16	-	300	750	-	2500
	Curto prazo	-	-	10	1000	1000	10	-	300	750	-	2500
	Médio prazo	-	-	5	800	800	5	-	200	500	-	2000
	Longo prazo	-	-	2	600	600	2	-	100	200	-	1500
Holanda ⁽¹⁾		15	-	1,25	75	75	0,75	-	30	100	-	300
EUA ⁽²⁾	EQ	41	-	39	-	1500	17	-	420	300	100	2800
	Máximo	75	-	85	-	4300	57	75	420	840	100	7500
México ⁽³⁾	Excelente	41	-	39	1200	1500	17	-	420	300	-	2800
	Bom	75	-	85	3000	4300	57	-	420	840	-	7500
Brasil ⁽⁴⁾		41	1300	39	1000	1500	17	50	420	300	100	2800
Paraná ⁽⁵⁾		41	1300	20	1000	1000	16	50	300	300	100	2500

FONTE: ⁽¹⁾ Iranpour *et al.* (2004); ⁽²⁾ USEPA (2007); ⁽³⁾ México (2003), ⁽⁴⁾ BRASIL (2006); ⁽⁵⁾ Paraná (2009)

NOTA: EQ – biossólido de qualidade excepcional

Verifica-se na TABELA 4 que a Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009) exige limites mais restritivos para algumas substâncias inorgânicas do que a Resolução Conama 375/2006 (BRASIL, 2006). A Resolução Conama 375/06 estabelece, no art. 8º, que o órgão ambiental competente poderá solicitar, mediante motivação, outros ensaios e análises não listados e que em função das características específicas da bacia de esgotamento sanitário e dos efluentes recebidos, as UGLs poderão requerer, junto ao órgão ambiental competente, dispensa ou alteração da lista de substâncias a serem analisadas nos lotes de lodo de esgoto ou produto derivado (BRASIL, 2006).

Segundo Sampaio (2013), a Resolução Conama 375/06 adota diferentes metodologias para definição dos limites dos parâmetros inorgânicos. Para As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Se e Zn adota a metodologia de análise de risco proposta pela CFR 40 Parte 503, enquanto para Cr, Ba e Mo utiliza metodologia proposta pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). O autor considera inadequado o uso de metodologias diferenciadas para determinação de limites de concentração de substâncias inorgânicas no lodo, bem como, o estabelecimento de limites para todo território nacional (Cr, Ba e Mo) com base em valores de referências estabelecidos por meio de estudos de caracterização de solos do estado de São Paulo.

A CFR 40 Parte 503 estabelece que o biossólido não pode ser aplicado no solo se possuir a concentração de uma das substâncias inorgânicas maior que o limite máximo (TABELA 4). Os limites de poluentes inorgânicos são divididos em: biossólido de qualidade excepcional (EQ) apresentados na TABELA 4, biossólido CPLR obtido com base na carga acumulada de poluentes e biossólido APLR obtido com base na carga acumulada anual de poluentes, apresentados na TABELA 5 (USEPA, 1994). Se a concentração da substância inorgânica no biossólido estiver entre o limite EQ e o limite máximo, deve-se satisfazer o limite da carga acumulada apresentado na TABELA 5 (IRANPOUR *et al.*, 2004).

TABELA 5 - LIMITES DE CARGA ACUMULADA DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS DA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO EM SOLO PARA UNIÃO EUROPEIA, EUA, BRASIL E ESTADO DO PARANÁ.

País	Limite	Parâmetros										
		As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
UE ⁽¹⁾	(kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	-	-	0,15	-	12,0	0,1	-	3	15	-	30
EUA ⁽²⁾	APLR (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	2	-	1,9	-	75	0,85	-	21	15	5	140
	CPLR (kg ha ⁻¹)	41	-	39	-	1500	17	-	420	300	100	2800
BRASIL ⁽³⁾	(kg ha ⁻¹)	30	265	4	154	137	1,2	13	74	41	13	445
PARANÁ ⁽⁴⁾	(kg ha ⁻¹)	30	265	4	154	137	1,2	13	74	41	13	445

FONTE: ⁽¹⁾ Council of the European Communities (1986); ⁽²⁾ USEPA (1994); ⁽³⁾ Brasil (2006); ⁽⁴⁾ Paraná (2009)

NOTA: CPLR limite com base na carga acumulada de poluentes e APLR limite com base na carga acumulada anual de poluentes

As Resoluções Conama 375/2006 e Sema 021/09 determinam que devam ser observados os limites de carga total acumulada teórica no solo quanto à aplicação de substâncias inorgânicas, não estabelecendo o período de tempo ou quantidade de aplicações subsequentes na mesma área para atender esses limites. As Resoluções também estabelecem que quando a carga acumulada teórica adicionada para qualquer uma das substâncias inorgânicas alcançar 80% da carga acumulada teórica permitida estabelecida (TABELA 5) deve-se realizar o monitoramento de substâncias inorgânicas no solo.

Além de estabelecer limites para as quantidades anuais de substâncias inorgânicas que podem ser introduzidos nos solos, com base numa média de 10 anos (TABELA 5), a UE também estabelece limites de concentração de substâncias inorgânicas nos solos, com base em uma amostra representativa com pH entre 6 e 7 (TABELA 6), sendo que o solo não poderá receber biossólido se possuir concentração acima desses limites (COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1986).

TABELA 6 - LIMITES DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS EM SOLO (pH 6 A 7) DEFINIDOS NA DIRETIVA 86/278/EEC DA UE

Parâmetros	Cádmio	Cobre	Níquel	Chumbo	Zinco	Mercúrio
Limites (mg kg ⁻¹)	1 a 3	50 a 140	30 a 75	50 a 300	150 a 300	1 a 1,5

FONTE: Council of the European Communities (1986)

Segundo Hespanhol (2014), a prevenção da acumulação de poluentes no solo é um dos dois critérios para estabelecer normas para disposição de bio-sólidos no solo. Esse critério é feito pelo estabelecimento de limites numéricos para variáveis significativas e assume que a introdução de poluentes no solo é compensada por uma remoção correspondente (por escoamento superficial, lixiviação, evaporação e absorção pelas plantas). A vantagem é não necessitar de dados relativos a transporte e degradação de poluentes, cenários de exposição e relações doses-respostas, no entanto, apesar de poderem ser utilizados universalmente, esse critério conduz a valores extremamente restritivos, que exigem sistemas avançados de tratamento, ou a taxas de aplicação muito restritas. O segundo critério é aquele que tem por objetivo maximizar a capacidade do solo em assimilar e atenuar o efeito de poluentes. É determinada a concentrações máximas permitidas no solo com base em cenários de exposição, taxas de transferência de poluentes e quantidades de poluentes transferidos em cada fase da cadeia de transmissão. Segundo o autor, esse critério é o que leva a limites aceitáveis, permitindo a sua aplicação em países que não disponham de recursos financeiros para adotar sistemas avançados de tratamento.

2.4.3 Poluentes químicos orgânicos em bio-sólido

A maior parte das abordagens sobre a presença de contaminantes orgânicos em lodo é baseada na escolha de compostos que possuem o uso industrial ou doméstico difundido (ROGERS *et al.*, 1989).

A norma dos EUA, CFR 40 Parte 503, estabelece limites para poluentes inorgânicos, no entanto não inclui poluentes orgânicos porque concluiu que as concentrações em bio-sólidos estão em nível que não representam riscos significativos para a saúde pública ou para o ambiente (USEPA, 1995). Além disso, avaliações posteriores de compostos de dioxina, considerado um dos mais tóxicos dos compostos orgânicos, mostrou que suas concentrações no bio-sólido não representam um risco (USEPA, 2009).

Atualmente as pesquisas no tema estão sendo direcionadas para avaliação de destino e impacto de compostos químicos de uso comum que podem interagir com sistemas endócrinos em humanos ou animais (desreguladores endócrinos) (LANGDON; WARNE; KOOKANAZ, 2010; HOSPIDO *et al.*, 2010). Alguns têm sido detectados em bio-sólido, mas as pesquisas ainda não são conclusivas a respeito de seu destino e os efeitos sobre os solos e ecossistemas associados.

A TABELA 7 apresenta alguns dos poucos países que estabelecem limites para poluentes orgânicos em suas normativas referentes à qualidade de bio-sólidos. Para UE, os compostos orgânicos apresentados na TABELA 7, não constam da Diretiva 86/278/EEC, mas fazem parte de uma proposta para estabelecimento de limites para as concentrações de certos grupos de poluentes orgânicos (IRANPOUR *et al.*, 2004).

TABELA 7 - LIMITES DE CONCENTRAÇÕES DE POLUENTES ORGÂNICOS EM BIOSSÓLIDO EM DIFERENTES PAÍSES

Poluentes orgânicos	Concentração limite (mgkg ⁻¹ ST)					
	UE ⁽¹⁾	República Tcheca ⁽²⁾	Alemanha (proposta 2007) ⁽²⁾	Eslovênia ⁽²⁾	China ⁽²⁾	Nova Escócia - Canada ⁽³⁾
Orgânicos halogenados absorvíveis (AOX)	500	500	400	-	500	-
Sulfonatos de alquilbenzeno lineares	2.600	-	-	-	-	-
Di (2-etilhexil) ftalato (DEHP)	100	-	-	-	-	-
Nonilfenol e Nonilfenóis etoxilados	50	-	-	-	-	-
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA)	6	-	1*	0,04	3*	-
Bifenilas policloradas (PCBs)	0,8	0,6**	0,1**	< 0,05	0,2	-
Dioxinas e furanos	10 ⁻⁴		3×10 ⁻⁵		10 ⁻⁴	1,7×10 ⁻⁵ *** 5×10 ⁻⁵ ****

FONTE: ⁽¹⁾ Iranpour *et al.* (2004), ⁽²⁾ Beecher (2008), ⁽³⁾ Canadian Council of Ministers of the Environment (2010)

NOTA: * Benzo(a)pireno, **soma de 6 congêneres, ***Classe A, ****Classe B

A origem dos compostos orgânicos halogenados absorvíveis (TABELA 7) é principalmente industrial. Estes compostos estão presentes em diversos pesticidas,

plásticos, solventes, lubrificantes e produtos farmacêuticos (CHERIF; BEN FRADJ; JRAD, 2006).

A proibição do uso de detergentes a base de surfactante não-biodegradáveis forçou a mudança para surfactantes de cadeia alquila linear mais biodegradáveis, sendo que, atualmente, o principal tensoativo aniônico em uso é sulfonato de alquilbenzeno linear (LAS) (SCOTT; JONES, 2000) (TABELA 7). Entre os problemas ambientais decorrentes do acúmulo de LAS nos recursos hídricos destaca-se: diminuição de oxigênio dissolvido, devido à diminuição da tensão superficial água/ar; diminuição da permeabilidade da luz, por manter as partículas presentes em suspensão; aumento da concentração de compostos xenobióticos, como PCBs e HPAs, solubilizados quando presentes no sedimento (HAIGH, 1996).

O Di (2-etilhexil) ftalato (DEHP) (TABELA 7) é o ftalato industrialmente mais utilizado devido à sua estabilidade e baixa volatilidade (STAPLES *et al.*, 1997). Não é ligado quimicamente aos plásticos como outros plastificantes e migra dos plásticos ao ambiente. Também é usado em materiais de construção, decoração, transporte, vestuário, e, de forma limitada, em embalagens de alimentos, medicamentos e repelentes de insetos (GÓMEZ-HENS; AGUILAR-CABALLOS, 2003).

Os nonilfenóis (TABELA 7) têm sido importantes surfactantes por mais de 50 anos. Atualmente, são utilizados em produtos de limpeza e auxiliares tecnológicos industriais e têm sido amplamente pesquisados em relação a sua biodegradabilidade, toxicidade e segurança ambiental (NAYLOR *et al.*, 2006).

A introdução dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) (TABELA 7) no ambiente pode ocorrer por meio de fontes naturais, por queima de florestas, pastagens e atividades vulcânicas, ou antropogênicas, pela queima incompleta de combustíveis fósseis, atividades petroquímicas, esgotos industriais e urbanos, incineração de madeira e de lixo (ALBERS, 1995). Os processos de produção de coque, carvão negro, alcatrão, hulha e asfalto também são fontes potenciais de HPAs de origem antrópica (COUNTWAY; DICKHUT; CANUEL, 2003).

Os PCBs (TABELA 7) possuem alta constante dielétrica e elevada estabilidade térmica, sendo utilizado em diversas industriais como as de: capacitores e transformadores elétricos, bombas a vácuo, turbinas de transmissão de gás, fluídos hidráulicos, resinas plastificantes, adesivos, plastificante para borracha, sistema de

transferência de calor, aditivo antichama, óleos de corte, lubrificantes, pesticida e papel carbono (PENTEADO; VAZ, 2001).

As dioxinas e furanos (TABELA 7) são formados como subprodutos não intencionais em processos industriais e de combustão, mas também podem ter origem em processos naturais, como incêndios florestais, erupções de vulcões e a partir de processos catalisados enzimaticamente. No passado, as indústrias químicas e de papel e celulose foram as principais fontes de dioxinas e furanos. Atualmente, o ingresso no ambiente de dioxinas ocorre principalmente por processos térmicos. São compostos muito persistentes que permanecem adsorvidos fortemente a partículas do ar, solo e sedimento (CETESB, 2012a).

Na Austrália a regulamentação de uso agrícola de biossólidos estabelece valores limites de contaminação de compostos orgânicos em biossólido que podem ser consideradas pelos Estados/Territórios, como orientações quando estes não possuem normas específicas. Devido às variações nos parâmetros, tais como tipos de solo, os estados podem utilizar limites diferentes, mas ainda assim alcançar os objetivos principais de proteger os produtos agrícolas, os ecossistemas, a saúde humana, e cumprir com as exigências locais. Na regulamentação nacional estão incluídos os compostos: DDT/DDD/DDE (até $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ST uso irrestrito e proibição de uso acima de 1 mg kg^{-1} ST), outros pesticidas organoclorados ($0,02$ - $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ ST para uso irrestrito e proibição de uso acima de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ST), PCB ($0,05$ - $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ ST para uso irrestrito e proibição de uso acima de $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ ST) (AUSTRALIAN WATER ASSOCIATION, 2004).

Na UE alguns Estados Membros introduziram limites para parâmetros adicionais como contaminantes orgânicos, patógenos e outros elementos. Em alguns casos, incluindo os Países Baixos, a região flamenga na Bélgica e da Baviera, na Alemanha, os rigorosos padrões resultaram na proibição efetiva da utilização de biossólidos (MILIEU; WRc; RPA, 2010).

No Brasil, a Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006) e no estado do Paraná, a Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009) estabeleceram uma lista de 34 poluentes orgânicos que devem ser determinados, inclusive quantitativamente, em lodo de esgoto destinado a uso agrícola (QUADRO 7). Estão listados compostos orgânicos industriais e agrotóxicos, incluindo os 12 poluentes orgânicos persistentes

(POPs) contidos na Convenção de Estocolmo (UNEP, 2013), cuja produção e uso estão proibidos no Brasil desde 2004. A inclusão das substâncias orgânicas nas resoluções foi fundamentada em resultados preliminares de pesquisas nacionais e em legislações internacionais, uma vez que no Brasil são escassos os estudos sobre o tema.

Grupo de Substâncias	Substância		
Benzenos clorados	1,2-Diclorobenzeno	1,2,3-Triclorobenzeno	1,2,3,4-Tetraclorobenzeno
	1,3-Diclorobenzeno	1,2,4-Triclorobenzeno	1,2,4,5-Tetraclorobenzeno
	1,4-Diclorobenzeno	1,3,5-Triclorobenzeno	1,2,3,5-Tetraclorobenzeno
Ésteres de ftalatos	Di-n-butilftalato	Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	Dimetil ftalato
Fenóis não clorados	Cresóis		
Fenóis clorados	2,4-Diclorofenol	2,4,6-Triclorofenol	Pentaclorofenol
Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs)	Benzo(a)antraceno Benzo(a)pireno Benzo(k)fluoranteno	Indeno(1,2,3-c.d)pireno Naftaleno	Fenantreno Lindano
Poluentes orgânicos persistentes (POPs)	Aldrin Dieldrin Endrin	Clordano Heptacloro DDT Toxafeno	Mirex Hexaclorobenzeno PCBs Dioxinas e Furanos

QUADRO 7 - LISTA DE SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS A SEREM DETERMINADAS EM LODO DE ESGOTO CONFORME AS RESOLUÇÕES CONAMA 375/06 E SEMA 021/09
 FONTE: Brasil (2006); Paraná (2009)

Os benzenos clorados (QUADRO 7) são utilizados principalmente na produção industrial e como são reconhecidos como persistentes é provável que estejam presentes no esgoto bruto. Menos de 1% das liberações ambientais de 1,4-diclorobenzeno são para as águas superficiais, sendo a principal via de liberação para água, a utilização de pastilhas desodorizantes em banheiros (ATSDR, 2006).

Os ftalatos (QUADRO 7) são um grupo de compostos químicos utilizados como plastificantes, que fornecem flexibilidade e durabilidade a plásticos. Conforme já apresentado na TABELA 7, o Di(2-etilhexil) ftalato (DEHP) é amplamente utilizado, representando 51% dos ftalatos produzidos em todo o mundo, sendo que os ftalatos representam 92% dos plastificantes produzidos (BENABDALLAH EL-HADJ; DOSTA; MATA-ALVAREZ, 2006). O dimetil ftalato é utilizado em propelentes sólidos de foguetes, plásticos e vernizes, repelentes de insetos (USEPA, 2014).

Os cresóis, fenóis não clorados, (QUADRO 7) são utilizados como intermediários em resinas fenólicas e plastificantes (éster fosfórico), herbicidas,

borracha, desodorizantes, antissépticos, desinfetantes, corantes, plásticos, conservante de madeira, produtos para limpeza de peças de automóveis, bactericidas e na produção sintética de vitamina E. O uso do cresol está proibido nos Estados Unidos e na União Europeia desde novembro de 2005 (CETESB, 2013). Normalmente são liberados ao ambiente durante a combustão da madeira, do carvão e de combustíveis fósseis, bem como na fabricação ou utilização de produtos que os contenham (ATSDR, 2008).

Os três fenóis clorados presentes na Resolução Conama 375/06 (QUADRO 7) são principalmente utilizados em herbicidas e pesticidas. Efluentes de indústrias de branqueamento de celulose contêm quantidades significativas de fenóis clorados (BOYD; SHELTON, 1984). O Pentaclorofenol, usado como preservante de madeira, desfolhante na cultura de algodão, herbicida pré-emergente e biocida em sistemas de água, tem seu uso proibido em muitos países, inclusive no Brasil (CETESB, 2012b)

Como já citado anteriormente, os HPAs (QUADRO 7) podem ter origem de fontes naturais, por queima de florestas, pastagens e atividades vulcânicas, ou antropogênicas, pela queima incompleta de combustíveis fósseis, atividades petroquímicas, esgotos industriais e urbanos, incineração de madeira e de lixo (ALBERS, 1995).

A lista inicial dos doze Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) da Convenção de Estocolmo que tiveram sua produção e seu uso suspensos por serem altamente tóxicos, lipossolúveis e persistentes (UNEP, 2013) é dividida em oito pesticidas (Aldrin, Clordano, DDT, Dieldrin, Endrin, Heptacloro, Mirex e Toxafeno), duas substâncias químicas industriais (Hexaclorobenzeno e PCBs) e quatro substâncias não intencionais, ou seja, subprodutos (Hexaclorobenzeno, PCBs, Dioxinas e Furanos) (QUADRO 7).

O artigo 5º da Convenção de Estocolmo estabelece medidas para reduzir ou eliminar as liberações de fontes antropogênicas de cada uma das substâncias químicas de produção não intencional. As categorias de fontes de POPs, formados e liberados não intencionalmente por fontes antropogênicas, são aquelas de processos térmicos envolvendo MO e cloro em processo de combustão incompleta ou reações químicas. Entre as quais se tem os incineradores de resíduos, a queima de resíduos em fornos de cimento, produção de celulose com uso de cloro, processos térmicos

usados na metalurgia, queima de lixo a céu aberto, caldeiras industriais, queimas de madeira, biomassa e combustíveis fósseis (CETESB, 2014a).

No Brasil, a maioria dos hexaclorobenzenos atualmente existente tem como origem processos de produção em indústrias químicas de grande porte. Apesar da produção do composto ter cessado na maioria dos países, ele pode ser gerado como subproduto durante fabricação de solventes clorados e agrotóxicos (CETESB 2012c).

As Resoluções Conama 375/06 e Sema 021/09 (PARANÁ, 2009) não estabelecem limites máximos de concentração para as substâncias orgânicas. No entanto, estabelecem que sempre que forem detectadas na caracterização do lote de lodo de esgoto deverá ser realizado o monitoramento dessas substâncias orgânicas no solo. Determinam que devam ser observadas as concentrações no solo constantes da TABELA 8, sendo que a frequência do monitoramento será estabelecida pelo órgão ambiental competente.

Os valores de concentrações permitidos em solos agrícolas para os compostos orgânicos da Resolução Conama 375/06 são iguais aos valores orientadores de prevenção para solos estabelecidos pela Companhia Ambiental do estado de São Paulo (CETESB, 2005). Segundo a CETESB (2005) os valores orientadores de prevenção (VP) representam a concentração de determinada substância, acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea. Os VP foram determinados para o solo com base em ensaios com receptores ecológicos e devem ser utilizados para disciplinar a introdução de substâncias no solo e, quando ultrapassado, a continuidade da atividade será submetida à nova avaliação, devendo os responsáveis legais pela introdução das cargas poluentes proceder ao monitoramento dos impactos decorrentes.

TABELA 8 - CONCENTRAÇÕES DE SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS PERMITIDAS EM SOLOS AGRÍCOLAS SEGUNDO AS RESOLUÇÕES CONAMA 375/06 E SEMA 021/09 E VALORES DE PREVENÇÃO DA CETESB

Compostos	Concentração permitida no solo	Valor de prevenção
	Conama 375/06 e Sema 021/09.	Cetesb 2014
	(mg kg ⁻¹)	
BENZENOS CLORADOS		
1,2-Diclorobenzeno	0,73	0,7
1,3-Diclorobenzeno	0,39	0,4
1,4-Diclorobenzeno	0,39	0,1
1,2,3-Triclorobenzeno	0,01	0,01
1,2,4-Triclorobenzeno	0,011	0,01
1,3,5-Triclorobenzeno	0,5	0,5
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	0,16	0,003
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	0,01	0,01
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	0,0065	0,006
ÉSTERES DE FTALATOS		
Di-n-butilftalato	0,7	0,1
Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	1,0	1,0
Dimetil ftalato	0,25	0,25
FENÓIS NÃO CLORADOS		
Cresóis	0,16	0,2
FENÓIS CLORADOS		
2,4-Diclorofenol	0,031	0,03
2,4,6-Triclorofenol	2,4	0,1
Pentaclorofenol	0,16	0,01
HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS (HPAs)		
Benzo(a)antraceno	0,025	0,2
Benzo(a)pireno	0,052	0,1
Benzo(k)fluoranteno	0,38	0,8
Indeno(1,2,3-c.d)pireno	0,031	0,4
Naftaleno	0,12	0,7
Fenantreno	3,3	3,6
Lindano	0,001	0,001
POLUENTES ORGÂNICOS PERSISTENTES (POPs)		
Aldrin	-	0,02
Dieldrin	-	0,01
Endrin	-	0,001
Clordano	-	-
Heptacloro	-	-
DDT	-	0,01
Toxafeno	-	-
Mirex	-	-
Hexaclorobenzeno	-	-
PCBs	-	0,0003
Dioxinas e Furanos	-	-

FONTE: Brasil (2006); Paraná (2009); Cetesb (2014b)

Observa-se na TABELA 8 que a Resolução Conama 375/06 não estabelece concentrações no solo para os POPs, no entanto em 2014 a CETESB realizou a substituição dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo incluindo VP para alguns POPs (TABELA 8) (CETESB, 2014b).

A Resolução Conama 375/06 estabelece que em função das características específicas da bacia de esgotamento sanitário e dos efluentes recebidos, as UGLs poderão requerer, junto ao órgão ambiental competente, dispensa ou alteração da lista de substâncias orgânicas a serem analisadas nos lotes de lodo de esgoto (BRASIL, 2006).

Nos EUA, realizou-se a Pesquisa Nacional sobre Lodo de Esgoto (*Targeted National Sewage Sludge Survey – TNSSS*), avaliando, em 74 ETEs, a presença de 145 substâncias, incluindo 4 ânions (nitrito, nitrato, fluoreto e fósforo solúvel), 28 contaminantes inorgânicos, 4 HPAs, duas substâncias semivoláteis, 11 retardadores de chama, 72 fármacos e 25 esteroides e hormônios. O objetivo foi identificar poluentes tóxicos adicionais que podem estar presentes no lodo de esgoto e, quando apropriado, definir normas para esses poluentes (USEPA, 2009).

Dos compostos analisados no TNSSS, somente dois constam na Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006): o composto orgânico semivolátil, DEHP, que é utilizado como plastificante e o HPA, benzo(a)pireno, que é oriundo da pirólise ou combustão incompleta de MO.

Weigert *et al.* (2006) em avaliação dos níveis de contaminação com poluentes orgânicos persistentes contidos na Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006) dos lodos de esgoto de sete ETEs operadas pela Sanepar no estado do Paraná, verificaram que a maioria dos contaminantes estava abaixo do limite de quantificação laboratorial. Foram detectados os compostos 1,4-diclorobenzeno, naftaleno, fenantreno, fluoranteno, pireno, dimetil ftalato, di-n-butil ftalato em no máximo quatro ETEs, em níveis muito abaixo dos valores de prevenção para solo instituído pela CETESB (CETESB, 2005). A exceção foi o DEHP, encontrado em 6 das 7 ETEs avaliadas. Verificaram-se níveis elevados de concentração no lodo das ETEs Norte Londrina e CIC Xisto, refletindo a presença de contribuições industriais no esgoto afluente e menor concentração no lodo das ETEs Belém e Audi devido à degradação promovida pelo processo de tratamento de esgoto aeróbio existente nestas ETEs, especialmente na ETE Audi por se tratar de esgoto afluente com grande contribuição industrial.

Em estudo realizado por Bagó *et al.* (2005) as altas concentrações de DEHP encontradas em lodo de esgoto foram provavelmente, devido ao crescimento da

população e da industrialização, e refletem a ausência de qualquer processo de pós-tratamento nas estações de esgoto estudadas. Os autores obtiveram uma redução da concentração destes compostos com o uso do processo de compostagem. Os resultados sugerem uma degradação do DEHP em condições aeróbicas no processo de compostagem. No estudo, também se verificou que o processo de secagem térmica reduz o nível de DEHP, provavelmente, devido a uma destilação a vapor, em consequência do alto teor de água do lodo e da baixa volatilidade do produto.

Paraíba *et al.* (2010) em estudo utilizando um modelo para simular as concentrações de substâncias orgânicas em grãos de milho concluíram que as moléculas de HPAs altamente lipofílicos apresentam menor potencial acumulativo em grãos de milho do que os menos lipofílicos. Paraíba *et al.* (2011) obtiveram a seguinte ordem de prioridade para monitoramento da qualidade do solo quanto a HPAs: fenantreno > criseno > benzo(k)fluoranteno > benzo(a)pireno > pireno > benzo(b)fluoranteno > benzo(g,h,i)perileno > indeno(1,2,3-c,d)pireno > fluoranteno > benzo(a)antraceno > dibenzo(a,h)antraceno > fluoreno > antraceno > naftaleno > acenafteno > acenaftileno em simulações por meio de modelos matemáticos das concentrações desses compostos no solo com aplicação de lodo proveniente da ETE Franca, São Paulo.

Bernal-Martinez *et al.* (2007) obtiveram remoções de HPAs mais leves (3 anéis aromáticos) em lodo de esgoto submetido à digestão anaeróbia sem pré-tratamento de ozonização. O pré-tratamento do lodo com ozonização permitiu aumentar a remoção (61%) de HPA, sendo que as taxas remoções foram bem correlacionadas com a solubilidade.

Trably, Patureau e Delgenes (2004) obtiveram um aumento significativo da remoção biológica de HPA, especialmente para os mais pesados, com o aumento da temperatura de 35°C para 55°C em digestão anaeróbia de lodo, sendo que a eficiência de remoção de HPA estava ligada a atividade metanogênica. Já em condições de digestão aeróbia Trably e Patureau (2006) verificaram alto potencial de microrganismos aeróbios para degradar uma variedade de HPAs em níveis residuais, sendo que a 45°C ou a presença de metanol promoveram descontaminação eficaz do lodo.

Benabdallah El-Hadj, Dosta e Mata-Alvarez (2006) obtiveram um aumento da remoção em condições termofílicas em digestão anaeróbia de lodo de esgoto, sendo que um elevado tempo de retenção hidráulica possibilitou um aumento da biodegradação de HPAs de baixo peso molecular.

Cai *et al.* (2012) em estudo de compostagem de lodo de esgoto obtiveram reduções superiores a 50% da concentração dos compostos 1,2-diclorobenzeno, 1,2,4-triclorobenzeno, hexaclorobenzeno, di-n-butil ftalato, dimetil ftalato, DEHP, sendo que os compostos 1,2-diclorobenzeno e 1,3-diclorobenzeno não foram detectados nas amostras iniciais de lodo de esgoto. As concentrações de DEHP e soma de concentração de HPA (acenafteno, fenantreno, fluoreno, fluoranteno, pireno, benzo[b+k]fluoranteno, benzo[a]pireno, benzo[ghi]perileno e indeno[1,2,3 - cd]pireno) no lodo compostado ficaram abaixo do limite máximo proposto pela UE para aplicação no solo.

Silva (2009) avaliou compostos orgânicos voláteis em lodos das ETEs Barueri, Jundiaí, Americana (afluente doméstico e industrial) e Vinhedo (afluente doméstico). Dos compostos orgânicos que fazem parte da Resolução Conama 375/06, o autor verificou a presença de naftaleno (0,9 a 5,7 mg kg⁻¹) e 1,4-diclorobenzeno (0,85 a 2,0 mg kg⁻¹).

Em uma caracterização, realizada pela CETESB (2009), de amostras de lodo de ETEs do estado de São Paulo (Barueri, Suzano, Parque Novo Mundo, Americana, Jundiaí, Vinhedo e Franca), durante os anos de 2007 e 2008, verificou-se que as ETEs que excederam ou apresentaram grandes variações nas concentrações dos parâmetros orgânicos e inorgânicos listados pela Resolução Conama 375/2006 localizavam-se em regiões com maior índice de industrialização. Matta (2011) observou um baixo a médio grau de contaminação de compostos orgânicos e inorgânicos, das amostras caracterizadas pela CETESB (2009) quando comparado às amostragens realizadas em outros países.

Em um estudo realizado na Inglaterra, Wang e Jones (1994) encontraram 1,4-diclorobenzeno em todas as 12 amostras de lodo de esgoto avaliadas, variando de 561 a 2320 µg kg⁻¹ de peso úmido, e de 71,3 a 4.110 µg kg⁻¹ de peso seco. Verificaram a presença de 1,2-diclorobenzeno em lodo industrial consideravelmente maior do que

em lodo de esgoto urbano. O 1,3-diclorobenzeno foi detectado em 9 das 12 amostras em concentrações abaixo do limite de detecção até $467 \mu\text{g kg}^{-1}$ de peso seco.

Em estudo com lodo proveniente de 12 ETEs diferentes do Reino Unido, Rogers *et al.* (1989) concluíram que os clorobenzenos podem ser encontrados em baixas concentrações em lodo de esgoto. Os autores verificaram que as concentrações podem ter uma grande variação, sendo encontradas concentrações de até 50 ppm para diclorobenzenos, de até 3 ppm para triclorobenzenos, até 0,3 ppm para tetraclorobenzenos e até 0,5 ppm para hexaclorobenzenos. Segundo os autores o padrão de ocorrência dos diferentes clorobenzenos correspondeu ao esperado de acordo com as características de produção e uso dos compostos na região do estudo, sendo que os triclorobenzenos ocorreram em maiores concentrações em amostras de bacias hidrográficas de esgoto afluente a ETE, que incluíam indústria química significativa.

Harrison *et al.* (2006) realizaram uma revisão de literatura e de relatórios oficiais do governo dos EUA com o objetivo de esclarecer questões relacionadas à presença e concentração de químicos orgânicos em lodo de esgoto. Os autores analisaram dados de 516 compostos orgânicos que foram agrupados em 15 classes. Verificaram que há vários aspectos importantes do tratamento do esgoto e do lodo que podem afetar o destino dos compostos orgânicos, mas infelizmente tais informações normalmente não são incluídas nos relatórios. Da mesma forma, a maioria dos relatórios não incluía informações sobre o tipo da bacia afluente a estação de tratamento de esgoto e se as contribuições de efluentes não domésticas eram significativas. Dessa forma, diferenças de quase cinco vezes foram encontradas na concentração de vários compostos orgânicos em amostras de lodo. Essas variações foram resultantes, por exemplo, de diferenças nas características do esgoto afluente a ETE (doméstico e industrial), do tipo de tratamento de esgoto, de variações no tempo de detenção do lodo, do uso de diferentes métodos de secagem e/ou tratamento do lodo, ou mesmo de uso de diferentes solventes no procedimento analítico. Por exemplo, em um dos estudos citados (CONSTABLE; TAYLOR; RUSH, 1986) as altas concentrações relatadas para HPAs foram provavelmente devido à contribuição de duas usinas siderúrgicas no esgoto afluente a ETE. As mudanças no uso de produtos químicos ao longo do tempo é também outra possível explicação para a variação das

concentrações relatadas. Harrison *et al.* (2006) em seu estudo utilizaram referências bibliográficas a partir do ano de 1976 até os anos 2000 e nesse período alguns produtos novos foram criados e outros tiveram seu uso proibido.

Jacobs, Zabik (1983), citado por Rogers *et al.* (1989), sugerem que a adição de contaminantes orgânicos ao solo em taxas comparáveis aos pesticidas agrícolas pode ser aceitável. As concentrações da maioria das substâncias orgânicas de preocupação, em resíduos e resíduos aplicados em solos são baixas, e uma aplicação prudente de resíduos em solo, ou seja, utilizando uma taxa de aplicação que não exceda a capacidade de assimilação dos solos pode resultar em um risco mínimo para os seres humanos, os animais e o meio ambiente (KESTER *et al.*, 2005; OVERCASH *et al.*, 2005).

2.4.4 Frequência de monitoramento do biossólido

De acordo com regulamentação atual da UE, os estados membros decidem sobre a frequência de monitoramento para amostragem de biossólido e solo, e sobre as análises requeridas. Segundo a norma, o lodo deve ser analisado pelo menos de seis em seis meses e caso sejam constatadas variações na qualidade do esgoto, deve ser aumentada a frequência das análises. Se os resultados das análises não variarem de maneira significativa durante um período de um ano, o lodo deve ser analisado de doze em doze meses. Os parâmetros a serem analisados são: matéria seca, MO, pH, N, P, Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg e Cr, sendo que quando for comprovado que Cu, Zn e Cr não se encontram presentes ou apenas se encontram presentes em quantidade desprezível no esgoto é possível solicitar alteração das análises (COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1986).

A TABELA 9 compara a frequência de monitoramento para lodo de esgoto a ser utilizado na agricultura, segundo as normas dos EUA; do relatório final sobre os impactos do uso do lodo em solo, opção de moderadas mudanças, da UE; do México e do Brasil. A frequência de amostragem é definida com base na quantidade, em toneladas de ST, de biossólido produzido (México e UE) e destinado (EUA e Brasil).

TABELA 9 - FREQUÊNCIA DE MONITORAMENTO EM BIODOSSÍLIDO SEGUNDO REGULAMENTAÇÃO DOS ESTADOS UNIDOS, UNIÃO EUROPEIA, MÉXICO E BRASIL

Regulamento	Frequência de monitoramento (vezes por ano)						
	Uma	Duas	Quatro	Seis	Oito	Doze	
	ST (t ano ⁻¹)						
CFR 40 Parte 503 ⁽¹⁾	< 290	-	290-1500	1500-15000	-	> 15000	
Documento trabalho UE ⁽²⁾	Parâmetros agronômicos	< 50	50- 250	250-2500	-	2500-5000	> 5000
	Substâncias Inorgânicas	< 50	50- 250	250-2500	-	2500-5000	> 5000
	Orgânicos (sem Dioxinas)	250-1000	1000-2500	2500-5000	> 5000	-	-
	Dioxinas	1000-5000	> 5000				
	Microrganismos	< 50	50- 250	250-2500	-	2500-5000	> 5000
México ⁽³⁾	< 1500	1500-15000	>15000				
Conama 375/06 ⁽⁴⁾	< 60	60 - 240	240 - 1500	1500 - 15000		> 15000	

FONTE: ⁽¹⁾ USEPA (2007), ⁽²⁾ Milieu; WRc; RPA (2010), ⁽³⁾ México (2003), ⁽⁴⁾ Brasil (2006)

As frequências de monitoramento do biossólido (TABELA 9) referem-se a parâmetros de sanidade e substâncias inorgânicas na CFR 40 Parte 503 e a parâmetros agronômicos, de substâncias inorgânicas, sanidade e substâncias orgânicas na Resolução Conama 375/06.

O relatório sobre Impactos ambientais, econômicos e sociais no uso de lodo de esgoto em solo encomendado pela Comissão Europeia (MILIEU; WRc; RPA, 2010) sugere, na opção de moderadas mudanças da norma europeia, uma frequência de monitoramento distinta para cada um dos seguintes parâmetros: parâmetros agronômicos, substâncias inorgânicas, orgânicos (exceto dioxinas), dioxinas e microrganismos. Na norma mexicana a frequência de monitoramento refere-se a substâncias inorgânicas, indicador bacteriológico de contaminação, patógenos e parasitos.

A CFR 40 Parte 503 define que é permitida a redução da frequência de monitoramento depois de dois anos que o biossólido tenha sido monitorado conforme a frequência estabelecida na TABELA 9.

Segundo a norma mexicana, o gerador pode ser isento de realizar a amostragem e análise de um ou mais dos parâmetros definidos, desde que a detecção

destes seja em quantidades menores do que os limites fixados, ou quando devido à origem do lodo e bio sólido, estes não contenham os poluentes estabelecidos na norma. Em ambos os casos, deverá demonstrar por escrito e sob juramento, sendo a informação passível de verificação pelas autoridades competentes (MÉXICO, 2003).

A Resolução Conama 375/06 estabelece que a caracterização do lodo de esgoto, representada por amostragem, é válida exclusivamente para o lote gerado no período compreendido entre esta amostragem e a subsequente. Determina que caso os valores para substâncias potencialmente tóxicas alcancem 80% dos limites estabelecidos, a frequência de monitoramento deverá ser aumentada, segundo parâmetros definidos pelo órgão ambiental competente, e a UGL deverá implementar as medidas adequadas para reduzir estes valores. Também estabelece, que a critério do órgão ambiental licenciador, em conjunto com os órgãos de saúde e de agricultura competentes, as frequências de amostragem podem ser aumentadas, devidamente justificadas (BRASIL, 2006).

2.5 ASPECTOS RELACIONADOS ÀS CULTURAS E ÁREAS DE APLICAÇÃO DE BIOSSÓLIDOS

2.5.1 Cultivos aptos a receberem bio sólidos

Nos Estados Unidos o termo "Bio sólido de Qualidade Excepcional" foi introduzido para descrever bio sólidos que atendem, simultaneamente, as exigências de classe A, os limites de concentração de substâncias inorgânicas (TABELA 4) e uma das opções (de a. - h. do item 2.4.1) para redução de atratividade de vetores. Este termo não foi definido na CFR Parte 503, mas é aceito nacionalmente e determina que o Bio sólido de Qualidade Excepcional possa ser livremente aplicado em solo sem qualquer restrição. No entanto, a taxa de aplicação deve estar de acordo com as necessidades de nutrientes para o crescimento das plantas. Da mesma forma, não são estabelecidas restrições de uso para o bio sólido de padrão avançado no

documento de trabalho da regulamentação da UE. Já para o bioossólido Classe B (EUA) e para o de padrão convencional (UE) são estabelecidas restrições de uso, as quais são resumidas no QUADRO 8 (IRANPOUR *et al.*, 2004).

Aplicação	Classe B (EUA)	Padrão convencional (UE)
Alimentos ou outras culturas cujo produto da colheita não toca a superfície do solo	Não colher antes de 30 dias	-
Alimentos cujas partes colhidas estão totalmente acima do solo, mas tocam a superfície do solo.	Não colher antes de 14 meses	Não colher antes de 12 meses
Frutas e vegetais em contato com o solo e comidos crus		Não colher antes de 30 meses
Alimentos cujas partes colhidas estão abaixo da superfície da terra: a) bioossólidos permanecem na área por mais de 4 meses antes da incorporação no solo b) bioossólidos permanecem na área por menos de 4 meses antes da incorporação no solo	Não colher antes de: a) 20 meses b) 38 meses	
Produção de grama usada em área com elevado potencial de exposição pública	Não colher antes de 12 meses	
Pastagens	Sem pastejo por 30 dias	Aplicação em profundidade e sem pastejo por seis semanas. Forrageiras sem colheita em seis semanas após a aplicação
Terreno com alto potencial de exposição pública (ex. parque ou campo de futebol)	Acesso restrito por 12 meses	Proibida a aplicação
Terreno com baixo potencial de exposição pública (ex. terras agrícolas privadas)	Acesso restrito por 30 dias	Aplicação em profundidade ou e aração imediata (terras aráveis)
Árvores frutíferas, vinhas, plantações de árvores e reflorestamento e recuperação de áreas degradadas.		Aplicação em profundidade e sem acesso ao público por 10 meses após a aplicação

QUADRO 8 - RESTRIÇÕES DE USO PARA O BÍOSSÓLIDO CLASSE B E DE PADRÃO CONVENCIONAL SEGUNDO A REGULAMENTAÇÃO DOS ESTADOS UNIDOS E DA UNIÃO EUROPEIA

FONTE: Iranpour *et al.*(2004).

No Brasil, uma vez que a partir de agosto de 2011 somente é permitido o uso do lodo Classe A, e no estado do Paraná é proibida a utilização de lodo de esgoto em pastagens e cultivo de olerícolas (hortas), tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo, como amendoim, mandioca e batata. Em solos onde for aplicado lodo de esgoto, as pastagens poderão ser implantadas após um período mínimo de 24 meses da última aplicação e somente após um período mínimo de 48 meses da última aplicação,

podem ser cultivadas olerícolas, tubérculos, raízes e demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo, bem como, cultivos inundáveis. Dessa forma, o lodo de esgoto enquadrado como classe A pode ser utilizados em culturas cujos produtos são consumidos após industrialização ou alimentos não consumidos "in natura", tais como: feijão, soja, sorgo, canola, trigo, cevada, forrageiras para adubação verde e reflorestamento (BRASIL, 2006; PARANÁ, 2009).

A Resolução Conama 375/06 permitia a utilização de lodo de esgoto classe B, somente para cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com a aplicação mecanizada, em sulcos ou covas seguida de incorporação (BRASIL, 2006).

A Resolução Conama 375/06 não é aplicável para utilização de lodo de esgoto em áreas degradadas, a qual não é enquadrada como uso agrícola de lodo de esgoto. Dessa forma, para esta forma de destinação faz-se necessária à elaboração de projeto específico e de autorização ambiental do órgão ambiental estadual.

2.5.2 Taxa de aplicação de biossólido

Segundo a Diretiva 86/278/EEC a aplicação do lodo deve levar em conta as necessidades nutricionais das plantas e não pode comprometer a qualidade do solo e das águas superficiais e subterrâneas e no caso da aplicação em solos com pH inferior a 6, os Estados membros deverão ter em conta o aumento da mobilidade das substâncias inorgânicas e da sua absorção pelas plantas e, se for necessário, deverão reduzir os valores-limite de concentração de substâncias inorgânicas nos solos (COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1986).

Segundo Harrison *et al.* (2006) há diferenças importantes entre as abordagens da Europa e dos EUA na determinação de taxa de aplicação de lodo em solos agrícolas. Em alguns países europeus a taxa de aplicação de lodo é limitada diretamente pela quantidade de matéria seca de lodo por hectare ao ano (variando de 1 a 4 t ha⁻¹ ano⁻¹) e em outros a limitação é baseada na taxa de aplicação de P no solo, que é muito mais restritiva que a taxa baseada limitação de N, utilizada nos EUA.

Na Dinamarca, por exemplo, a taxa de aplicação não pode exceder a aplicação de 30 kg de P ha⁻¹ ano⁻¹, o que corresponde a cerca de 1 t ha⁻¹ ano⁻¹ de ST de lodo. Já nos EUA a taxa limite é de 10 t ha⁻¹ ano⁻¹ de ST de lodo.

A norma mexicana não apresenta critérios para cálculo da taxa de aplicação (MÉXICO, 2003) e no Canadá a taxa de aplicação do biossólido é definida pelas províncias, sendo que das onze províncias sete possuem a taxa de aplicação baseada somente na taxa agronômica. Algumas províncias estabelecem restrições para a frequência de aplicação. Por exemplo, no Quebec a taxa de aplicação é calculada com base na taxa agronômica, considerando o fornecimento de N e P, no entanto, para o uso florestal o limite é de 200 kg de N disponível ha⁻¹ ano⁻¹ e para biossólido C2 (classe com maior teor de substâncias inorgânicas) uma taxa máxima de 22 t ha⁻¹ de ST por 5 anos (CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT, 2010).

A Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006) estabelece que a taxa de aplicação máxima em base seca (t ha⁻¹ ano⁻¹) deve ser o menor valor calculado de acordo com os seguintes critérios:

- a) A aplicação máxima anual não deve exceder o quociente entre a quantidade de N recomendada para a cultura (em kg ha⁻¹), segundo a recomendação agronômica oficial do Estado, e o teor de N disponível no lodo de esgoto (N_{disp} em kg t⁻¹), calculado de acordo da seguinte forma:

$$N_{\text{disp}} = (FM/100) \times (N_{Kj} - N_{NH_3}) + 0,5 \times (N_{NH_3}) + (N_{NO_3} + N_{NO_2}),$$

onde:

FM: fração de mineralização do nitrogênio (%);

N_{Kj}: Nitrogênio Kjeldahl (mg kg⁻¹);

N_{NH3}: Nitrogênio amoniacal (mg kg⁻¹) e

N_{NO3} + N_{NO2}: Nitrogênio Nitrato e Nitrito (mg kg⁻¹).

- b) O cálculo da taxa de aplicação máxima anual deverá levar em conta os resultados dos ensaios de elevação de pH provocado pelo lodo de esgoto, no solo predominante na região de modo a garantir que o pH final da mistura solo-lodo de esgoto não ultrapasse o limite de 7,0; e
- c) Deve-se observar os limites de carga total acumulada teórica no solo quanto à aplicação de substâncias inorgânicas, conforme a TABELA 5.

É importante destacar no caso da aplicação de lodo higienizado por estabilização alcalina, a elevação do pH do solo a valores superiores a sete poderá provocar mais facilmente efeitos negativos nos cultivos agrícolas, conforme observado por Chueiri *et al.* (2007) e por Tamanini *et al.* (2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atender aos objetivos específicos, o estudo foi dividido em 5 itens.

No primeiro item, 3.1, realizou-se a caracterização da área do estudo de caso, a qual foi utilizada para apresentar:

- os resultados da destinação agrícola do lodo de esgoto no estado do Paraná, Brasil, no período de 2007 a 2013, item 4.1;
- a avaliação das diferenças em relação aos parâmetros agronômicos e às substâncias inorgânicas entre os lotes de lodo de esgoto aeróbios e mistos das Unidades de Gerenciamento de Lodo (UGLs) da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) e entre os lotes mistos das UGLs do interior do Paraná e da RMC, item 4.2;
- a análise crítica da Resolução Conama 375/06, cujos resultados são apresentados no item 4.4.

O segundo (3.2) e terceiro (3.3) itens descrevem, respectivamente, os materiais e métodos utilizados para obtenção de informações sobre a gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto e para a avaliação das diferenças em relação aos parâmetros agronômicos e às substâncias inorgânicas entre os lotes de lodo de esgoto destinados a uso agrícola no Paraná, no período de 2007 a 2013.

O quarto item, 3.4, consistiu de levantamento bibliográfico de pesquisas nacionais e internacionais sobre as propriedades físico-químicas de sorção ao lodo de esgoto de compostos orgânicos contidos na Resolução Conama 375/06, cujos resultados são apresentados no capítulo 4.3.

No quinto item, 3.5, apresentam-se os materiais e métodos para análise crítica da Resolução Conama 375/06.

No texto adotou-se os termos “lodo gerado” ou “geração de lodo” para designar o lodo bruto líquido descartado de cada ETE e “lodo produzido” ou “produção de lodo” para o lodo desaguado e higienizado que teve por destinação final a agricultura.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO DE CASO

O estado do Paraná possui 399 municípios, dos quais 191 contavam com sistema de esgotamento sanitário em 2012, correspondendo a cerca de 310 milhões de metros cúbicos de esgoto tratado. Desse total, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a Sanepar foi responsável pelo tratamento de cerca de 295 milhões $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$, em 166 municípios (BRASIL, 2012). Nesses municípios, no ano de 2012, o esgoto coletado foi tratado em 227 ETEs (SANEPAR, 2012a), nas quais o tratamento biológico foi em reatores anaeróbios, tipo Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), com exceção da ETE Belém no município de Curitiba, com tratamento biológico aeróbio, em sistema de lodos ativados de aeração prolongada e da ETE industrial Audi em São José dos Pinhais (a qual não foi objeto do presente estudo).

Em todo o Paraná, nas ETEs com tratamento em reatores anaeróbios, tipo UASB, verificou-se a existência ou não de unidades de pós-tratamento como: flotação por ar dissolvido, filtro biológico percolador, lagoa de polimento, lagoa aerada, filtro anaeróbio e filtro biológico aerado submerso. Em nenhuma das ETEs objeto do presente estudo, verificou-se a existência de decantador primário em operação.

A região mais populosa do estado, a RMC, com 29 municípios, em 2012 possuía 20 municípios com sistema de esgotamento sanitário, operados pela Sanepar, nos quais 122.485 milhões $\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$ (BRASIL, 2012) de esgoto doméstico foram tratados em 24 ETEs.

A Sanepar, no estado do Paraná, no período do estudo, estava dividida administrativamente em 20 unidades regionais (URs) agrupadas em 5 gerências gerais, sendo cada constituída por 2 a 5 URs (FIGURA 3). A gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto na empresa era coordenada pela Unidade de Serviço de Esgoto, responsável por estabelecer diretrizes e procedimentos técnicos; realizar o diagnóstico dos sistemas; promover a capacitação técnica e realizar o controle dos resultados do processo.

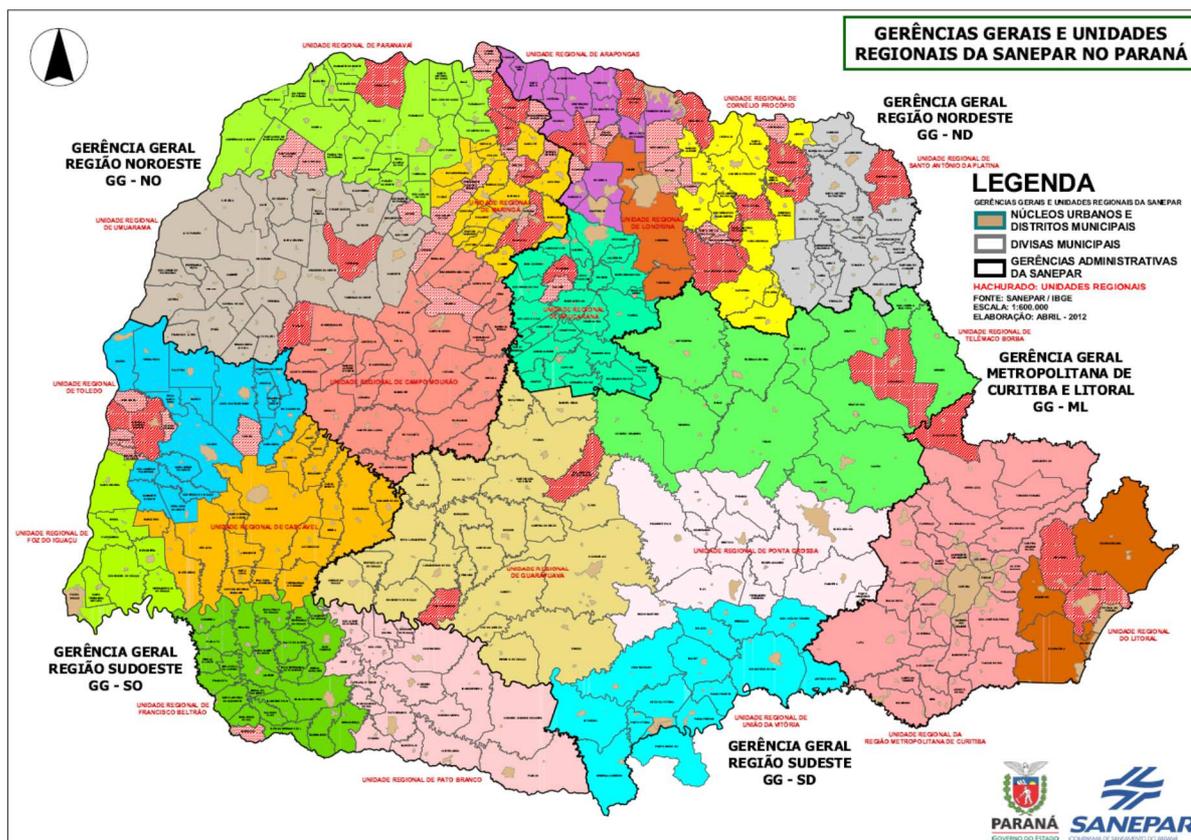


FIGURA 3 - DIVISÃO ADMINISTRATIVA DA SANEPAR NO ESTADO DO PARANÁ
 FONTE: Sanepar (2012b)

A implementação pela Sanepar do uso agrícola de lodo de esgoto representa a etapa final de um processo de estudos e avaliações, realizados desde 1988. Foram quase 20 anos de desenvolvimento contínuo de pesquisas que envolveram a realização de Programas Interdisciplinares de Pesquisa e a participação de pesquisadores de diversas instituições de pesquisa de todo o Brasil (LARA, 2001; ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2001). As pesquisas resultaram na produção de artigos científicos e contribuíram para elaboração da Instrução Técnica do IAP CEP/DTA n. 001/2002 (PARANÁ, 2002) para a utilização agrícola do lodo de esgoto, que consolidou os resultados da pesquisa através de um amplo conjunto de debates.

A Instrução Técnica do IAP CEP/DTA n. 001/2002 (PARANÁ, 2002) serviu como base para os debates na elaboração da Resolução Conama 375/06, bem como para elaboração da Resolução Sema 001/07 (PARANÁ, 2007) e posteriormente da Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009).

No Paraná, desde 2002, o processo de uso agrícola do lodo de esgoto era realizado na RMC e em Foz do Iguaçu e a partir de 2007 iniciaram-se os procedimentos para ampliação do processo às demais regiões do estado. Após 2011, o uso agrícola passou a ser consolidado no interior do Paraná.

Desde o ano de 2007, o volume total de descarte de lodo bruto líquido de cada ETE é registrado mensalmente em sistema de controle corporativo da Sanepar. A partir de 2014, iniciou-se também a determinação do valor médio mensal de ST do lodo bruto líquido descartado por ETE. A determinação de ST no lodo de esgoto tem por objetivo possibilitar o cálculo da geração de lodo de uma ETE em termos de massa (toneladas), a partir do volume de lodo descartado do processo de tratamento de esgoto, visto que a quantidade de água presente no lodo descartado de reatores de diferentes sistemas de tratamento é variável, podendo estar entre 94 a 99% (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001).

Em 2013, o estado do Paraná possuía 81 UGLs, constituídas por uma ou mais ETEs, licenciadas pelo órgão ambiental estadual para realizar a gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto.

No processo, a assistência agrônômica foi realizada por profissional próprio da Sanepar ou por profissional externo à empresa, em parceria, como por exemplo, com o Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater), com cooperativa de agricultores ou com o engenheiro agrônomo responsável pela área agrícola, bem como, por meio de contratação do serviço. Inicialmente, a partir de 2002, a assistência agrônômica foi desenvolvida por meio de contratação do serviço, na RMC, e por convênio com a Emater, em Foz do Iguaçu.

Na RMC, nos anos de 2005 a 2006, a assistência agrônômica foi realizada pela Emater, por meio de convênio. No entanto, devido à grande demanda de áreas para destinação do material e da pouca disponibilidade de profissionais, em 2007, a Sanepar internalizou o processo de assistência agrônômica. A partir de 2011, devido à necessidade de atendimento às demais regionais da empresa, o serviço de assistência agrônômica na RMC passou a ser contratado, sendo realizado por empresa terceirizada.

No interior do estado, até o ano de 2008 a assistência agrônômica foi realizada, predominantemente, por engenheiros agrônomos da Emater. No entanto,

devido à dificuldade de disponibilidade de profissionais para a atividade em alguns locais, a partir desta data, um engenheiro agrônomo do quadro profissional da Sanepar também passou a desenvolver esta função. A partir de 2013, a assistência agrônômica, passou a ser de forma descentralizada nas cinco gerências gerais com a atuação de engenheiros agrônomos do quadro da empresa.

3.2 GESTÃO DO PROCESSO DE USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO DE 2007 A 2013

Realizou-se a descrição das etapas da gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto a partir do levantamento de informações por meio da consulta a documentos normativos, relatórios de rastreabilidade, laudos laboratoriais de análises de lodo de esgoto e projetos agronômicos fornecidos pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), bem como, por meio de visitas a ETEs, UGLs, áreas agrícolas e consultas verbais aos gestores do processo na empresa, referentes ao período de 2007 a 2013.

A gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná foi dividida em duas etapas. Na primeira realizou-se a caracterização e avaliação da gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto na RMC no período de 2007, ano em que iniciou a vigência da Resolução Conama 375/06, a 2013, cujos resultados são apresentados no item 4.1.1. A segunda apresenta os resultados da destinação agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná no período de 2011 a 2013, uma vez que até o ano de 2010 o processo de uso agrícola ainda não estava consolidado no interior do estado.

De um total de 49 relatórios de rastreabilidade, 576 projetos agronômicos e de laudos laboratoriais de 228 lotes de lodo de esgoto, em meio físico e digital, foram obtidas as seguintes informações:

- quantidade, em t de massa úmida e de ST, de lodo de esgoto destinado ao uso agrícola;
- quantidade de hectares de áreas agrícolas que receberam lodo de esgoto;

- taxa de aplicação de lodo de esgoto nas áreas agrícolas;
- fator limitante no cálculo da taxa de aplicação;
- área de aplicação por área agrícola;
- quantidade de nutrientes, N, P e K, e de corretivo de acidez de solo fornecida pela aplicação do lodo de esgoto;
- custo de compra de fertilizantes e corretivos de acidez do solo evitado pelo agricultor, devido ao uso do lodo de esgoto;
- cultivos agrícolas e florestais, nos quais o lodo de esgoto foi utilizado;
- número de agricultores que utilizaram o lodo de esgoto;
- distância entre a UGL e a área de aplicação;
- municípios onde estavam localizadas as áreas agrícolas que receberam lodo de esgoto.

Realizou-se o cálculo de vazão média operacional das ETEs e de geração de lodo em m³, por meio de consulta ao sistema corporativo da Sanepar, denominado Sistema de Controle e Vigilância da Qualidade de Água e Esgoto (SQA), do qual foram obtidos os dados mensais de vazão e de descarga de lodo de todas as ETEs da empresa no período de 2007 a 2013.

Foram calculados os custos evitados pelos agricultores, devido ao uso do lodo de esgoto, o qual forneceu N, P, K e corretivo de acidez de solo, utilizando as EQUAÇÕES 1 e 2.

$$CE = [(QE \times 100) / AC] \times PR \quad \text{EQUAÇÃO (1)}$$

Onde:

CE é o custo evitado pelo agricultor com o uso do lodo de esgoto (R\$ ha⁻¹);

AC é porcentagem do nutriente equivalente no adubo comercial (%);

PR é o preço do adubo comercial (R\$ kg⁻¹);

QE é a quantidade de nutriente equivalente no lodo de esgoto aplicado na área agrícola (kg ha⁻¹).

$$QE = QD \times TX \quad \text{EQUAÇÃO (2)}$$

Onde:

QD é a quantidade de nutriente disponível no lodo de esgoto (kg t⁻¹ de ST);

TX é a taxa de aplicação de lodo de esgoto, em ST, na área agrícola (t ha⁻¹).

Os adubos comerciais utilizados para os cálculos foram: ureia, super triplo e cloreto de potássio e o corretivo de acidez do solo foi o calcário dolomítico (PRNT 75). Realizou-se a atualização financeira dos custos evitados pelo agricultor devido ao uso do lodo de esgoto. Os valores foram atualizados para novembro de 2014 utilizando-se o histórico de preços pagos pelo produtor do Departamento de Economia Rural (DERAL) da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (SEAB) dos produtos: ureia, super fosfato triplo, cloreto de potássio e calcário dolomítico (PARANÁ, 2014).

3.3 PARÂMETROS AGRONÔMICOS E SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS EM LOTES DE LODO DE ESGOTO DESTINADOS A USO AGRÍCOLA NO PARANÁ, NO PERÍODO DE 2007 A 2013

A partir do levantamento de dados fornecidos pela Sanepar, foi realizada a sistematização e análise da concentração de parâmetros agronômicos e de substâncias inorgânicas de lotes de lodo de esgoto destinados a uso agrícola no Paraná, no período de 2007 a 2013. O estudo foi desenvolvido em 2 itens, o primeiro refere-se aos resultados da destinação de lotes da RMC no período de 2007 a 2013 e o segundo aborda a destinação de lotes de lodo misto em todo o Paraná no período de 2011 a 2013.

Os resultados de concentração dos parâmetros agronômicos e inorgânicos foram obtidos de laudos laboratoriais das empresas contratadas pela Sanepar para realização da caracterização dos lotes de lodo de esgoto para uso agrícola. Dessa forma, os resultados são provenientes de laudos de oito diferentes laboratórios dos estados do Paraná e de São Paulo.

Todos os dados coletados foram armazenados em planilha do programa Excel (Microsoft). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software Assistat versão 7,7 beta (SILVA, 2014). Aplicou-se a estatística descritiva. Realizou-se o teste de normalidade Shapiro-Wilk e para os parâmetros que apresentaram distribuição normal foi aplicado o teste de t para comparação de médias, a 95% de

confiabilidade, utilizando delineamento experimental inteiramente casualizado com diferentes números de repetições. Para os parâmetros que não apresentaram distribuição normal, utilizou-se o teste de Mann-Whitney para verificação se os tratamentos eram diferentes, ao nível de 95% de confiabilidade.

Lotes de lodo de esgoto gerados em diferentes sistemas de tratamento de esgoto foram objeto do estudo, da seguinte forma:

- lotes de lodo de esgoto aeróbio: provenientes da UGL Belém, com sistema de tratamento de lodos ativados de aeração prolongada e

- lotes de lodo de esgoto misto: provenientes de UGLs que trataram o lodo originado de sistemas de tratamento contendo reatores anaeróbios, tipo UASB, seguidos ou não de unidades de pós-tratamento como: flotação por ar dissolvido, filtro biológico percolador, lagoa de polimento, lagoa aerada, filtro anaeróbio e filtro biológico aerado submerso.

Na análise de parâmetros inorgânicos, determinaram-se os percentis 75, 90, 95 e 99 utilizando o programa Excel (Microsoft). Nesta determinação, os valores de limite de quantificação foram utilizados para os resultados abaixo destes limites.

No cálculo do coeficiente de variação (CV) não foi possível à obtenção de resultados para os parâmetros que foram detectados em menos do que 4 lotes (SILVA, 2014).

Na aplicação do teste de Mann-Whitney, foram excluídos, para cada parâmetro inorgânico, os lotes que apresentaram valores abaixo do limite de quantificação laboratorial.

Destaca-se que os limites de quantificação laboratorial para um mesmo parâmetro diferiram de laboratório para laboratório.

3.3.1 Lotes de lodo de esgoto da RMC destinados a uso agrícola no período de 2007 a 2013

Avaliaram-se os resultados dos parâmetros agronômicos e de substâncias inorgânicas dos lotes destinados a uso agrícola na RMC, no período de 2007 a 2013.

Foram analisados os dados de laudos laboratoriais de 99 lotes de lodo de esgoto, com base nos 239 projetos agronômicos elaborados no período de 2007 a 2010 e de 76 lotes, com base nos 195 projetos elaborados no período 2010 a 2013.

O número de laudos de substâncias inorgânicas (173) diferiu do número de laudos de parâmetros agronômicos (175) analisados, pois se verificou que dois lotes da UGL Belém possuíam um laudo de substâncias inorgânicas para cada lote, mas foram subdivididos em dois sub lotes apresentando dois laudos de parâmetros agronômicos para cada sub lote.

Do total de lotes da RMC, 46 lotes foram caracterizados a partir de contrato de serviços laboratoriais segundo a exigência da Instrução Técnica do IAP CEP/DTA n. 001/2002 (PARANÁ, 2002), a qual não exigia a caracterização de $N_{kjeldahl}$, $N_{amoniacal}$, Nitrito, Enxofre, Sódio, Arsênio, Bário, Molibdênio e Selênio.

Na análise estatística dos dados dos parâmetros sódio e enxofre, os limites de quantificação laboratorial foram utilizados para os resultados dos lotes que apresentaram concentrações abaixo desses limites. Na avaliação dos dados da RMC, no período de 2007 a 2013, o número de lotes analisados para S e Na foi de 49 lotes aeróbios e 80 lotes de lodo misto. Na análise estatística dos dados do parâmetro Na, os resultados abaixo de 10^{-5} % foram substituídos por zero.

Destaca-se que os limites de quantificação laboratorial para uma mesma substância inorgânica diferiram de laboratório para laboratório, os quais são apresentados na TABELA 10.

Os dois tratamentos utilizados na análise estatística, segundo a origem dos lotes de lodo, foram:

- lodo aeróbio, proveniente da UGL aeróbia (UGL Belém) e
- lodo misto, proveniente das UGLs Padilha Sul, CIC Xisto e Atuba Sul.

A TABELA 11 apresenta os tratamentos utilizados, as características das UGLs, quanto ao tipo de lodo de esgoto produzido, desaguamento de lodo e quanto ao número de lotes destinados e número de projetos agronômicos elaborados no período de 2007 a 2013, na RMC.

TABELA 10 – LIMITES DE QUANTIFICAÇÃO LABORATORIAL VERIFICADOS NOS LAUDOS ANALÍTICOS DE DIFERENTES LABORATÓRIOS PARA SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS QUE APRESENTARAM RESULTADOS ABAIXO DO LIMITE

Parâmetro	Limites de quantificação laboratorial (mg kg ⁻¹)	Laudos com resultado abaixo do LQ
As	0,005 - 0,01 - 0,2 - 0,8- 1- 2- 5- 10- 20	11
Ba	1 - 5 - 10	14
Cd	0,01 - 0,05 - 0,06 - 0,07 - 0,08 - 0,085 - 0,099 - 0,1 - 0,2 - 0,5 – 1 - 2 - 10	114
Cr	1 - 5	4
Cu	1	2
Hg	0,0000147 - 0,0001 - 0,04 - 0,1 - 0,5 - 0,7 - 5 - 10	95
Mo	0,001- 0,2 - 0,5 - 0,6 - 0,7- 0,8- 1 - 2 - 5 - 10	66
Ni	0,0089 - 1 - 10	18
Pb	1 - 50	3
Se	0,5 - 0,6 - 0,7 - 0,8 - 0,9 - 1 - 2 - 5 - 10	94

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Laudos referentes aos lotes de lodo produzidos na RMC destinados a uso agrícola no, período 2007 a 2013

TABELA 11 - CARACTERÍSTICAS DAS UGLs E DOS LOTES DE LODO DESTINADOS AO USO AGRÍCOLA NOS ANOS DE 2007 A 2013 NA RMC

Período	Lodo produzido	Tratamento de esgoto	Desaguamento do lodo	Lotes destinados (nº)	Projetos agrônômicos (nº)
2007 a 2010	Aeróbio	Aeróbio (a)	Prensas desaguadoras e centrífugas	55	166
	Misto	Anaeróbio + pós tratamento (b)	Prensas desaguadoras, centrífugas e leitos de secagem	44	73
	Total			99	239
2011 a 2013	Aeróbio	Aeróbio (a)	Centrífugas	29	109
	Misto	Anaeróbio + pós tratamento (b)	Centrífugas e leitos de secagem	47	86
	Total			76	195
2007 a 2013	Total			175	434

FONTE: O autor (2014)

NOTA: (a) Lodos ativados de aeração prolongada; (b) Reator anaeróbio tipo UASB, seguido de pós tratamento; incluiu as UGLs ETE CIC Xisto, ETE Padilha e ETE Atuba Sul

Com objetivo de subsidiar a comparação do teor de ST, Sólidos Fixos Totais (SFT) e pH após o desaguamento em centrífugas e em leitos de secagem das UGLs da RMC realizou-se, em 2014, uma campanha amostral de lodo desaguado em 8 ETEs da RMC. Os sistemas de tratamento de esgoto e de desaguamento de lodo das ETEs são apresentados no QUADRO 9.

Nome	Município	Vazão média (L s ⁻¹)	Sistema de tratamento de esgoto	Sistema de desaguamento de lodo
ETE Belém	Curitiba	1.243	Lodos ativados de aeração prolongada	Mecânico (Centrífuga)
ETE Atuba Sul	Curitiba	1.250	UASB + Flotação por ar dissolvido	Mecânico (Centrífuga)
ETE Santa Quitéria	Curitiba	438	UASB + Flotação por ar dissolvido	Mecânico (Centrífuga)
ETE CIC Xisto	Curitiba	361	UASB + Lagoa	Mecânico (Centrífuga)
ETE Fazenda Rio Grande	Fazenda Rio Grande	99	UASB + Lagoa	Mecânico (Centrífuga)
ETE Cachoeira	Araucária	61	UASB	Leito de secagem
ETE Cambuí	Campo Largo	47	Ralf + Flotação por ar dissolvido	Leito de secagem
ETE Colombo Sede	Colombo	7	Ralf + Filtro Anaeróbio	Leito de secagem

QUADRO 9 - CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO NAS ETEs DA RMC ONDE FORAM COLETADAS AMOSTRAS DE LODO DE ESGOTO DESAGUADO, NO PRIMEIRO TRIMESTRE DE 2014

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Vazão média de janeiro a março de 2014. Ralf - Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado, UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket.

Foram coletadas amostras de lodo de esgoto após o desaguamento do material em cada uma das ETEs selecionadas (QUADRO 9), nos meses de fevereiro a março de 2014. Coletou-se amostras do lodo desaguado em leitos de secagem 20 dias após o enchimento do leito. Foram coletadas amostras simples em 15 pontos, ao longo de toda a profundidade, em zigue-zague (FIGURA 4a), de modo que a amostra composta, formada a partir destas amostras simples, representasse o melhor possível o leito de secagem.

Nos sistemas com desaguamento mecânico em centrífuga o lodo desaguado foi amostrado por meio de uma coleta pontual na saída do desaguamento mecânico (FIGURA 4b).

Foram realizadas, no laboratório da ETE CIC Xisto da Sanepar, as análises de pH, ST e SVT das amostras de lodo, de acordo com procedimento descrito em American Public Health Association (APHA, 2005). Os resultados foram expressos em porcentagem em relação à base seca.



FIGURA 4 - LOCAIS DE AMOSTRAGEM DE LODO DESAGUADO EM ETEs DA RMC. a) EM SISTEMAS DE DESAGUAMENTO EM LEITOS DE SECAGEM. b) EM SISTEMAS COM CENTRÍFUGA

FONTE: O autor (2014)

3.3.2 Lotes de lodo de esgoto misto do Paraná destinados a uso agrícola no período de 2011 a 2013

Foi realizada a sistematização e análise estatística dos resultados de parâmetros agronômicos e de substâncias inorgânicas dos lotes de lodo de esgoto misto. Foram analisados os dados de 100 lotes de lodo de esgoto destinados ao uso agrícola, provenientes de 29 UGLs abrangendo 37 municípios do estado (FIGURA 5).

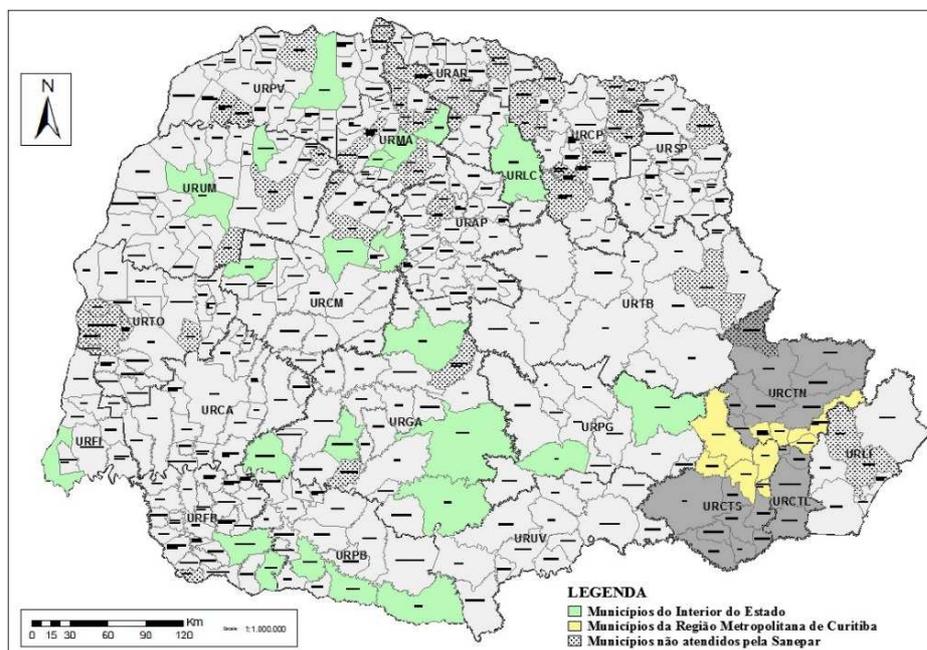


FIGURA 5 - MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PARANÁ, CUJAS UGLs DESTINARAM LOTES DE LODO DE ESGOTO PARA USO AGRÍCOLA NO PERÍODO DE 2011 A 2013
 FONTE: O autor (2014)

As UGLs foram agrupadas, compondo os dois tratamentos do delineamento experimental, considerando o período de 2011 a 2013, da seguinte forma:

- tratamento 1: UGLs da RMC com produção de lodo misto que incluiu as UGLs ETE CIC Xisto, ETE Padilha e ETE Atuba Sul e
- tratamento 2: UGLs com produção de lodo misto do interior do Paraná, incluiu 25 UGLs em 23 municípios do interior do Paraná (FIGURA 5).

A TABELA 12 apresenta as características dos dois tratamentos utilizados no delineamento experimental, quanto ao número de lotes destinados e número de projetos agrônômicos elaborados no período de 2011 a 2013, no estado do Paraná, Brasil.

TABELA 12 - LOTES DE LODO DE ESGOTO MISTO DESTINADOS AO USO AGRÍCOLA NO PERÍODO DE 2011 A 2013, ESTADO DO PARANÁ, BRASIL

Lote de lodo produzido	Lotes destinados (nº)	Projetos agrônômicos (nº)
Misto - RMC	47	86
Misto - Interior	53	142
TOTAL	100	228

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Lodo gerado em ETEs com tratamento em reator anaeróbico, tipo UASB, seguido ou não de pós tratamento, desaguado em centrífugas ou leitos de secagem

Destaca-se que os limites de quantificação laboratorial para uma mesma substância inorgânica diferiram de laboratório para laboratório nos laudos referentes aos lotes de lodo de esgoto misto destinados ao uso agrícola no Paraná no período de 2011 a 2013, os quais são apresentados na TABELA 13.

TABELA 13 – LIMITES DE QUANTIFICAÇÃO LABORATORIAL VERIFICADOS NOS LAUDOS ANALÍTICOS DE DIFERENTES LABORATÓRIOS PARA SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS QUE APRESENTARAM RESULTADOS ABAIXO DO LIMITE

Parâmetro	Limites de quantificação laboratorial (mg kg ⁻¹)	Laudos com resultado abaixo do LQ
As	0,001 - 0,01 – 0,04 - 0,7 - 0,8- 1- 3- 5- 10- 20	85
Ba	5 - 10	8
Cd	0,066 – 0,067– 0,071 - 0,072 - 0,082 - 0,086 – 0,092 – 0,095 - 0,098 – 0,099 - 0,1 - 1 – 2 - 5 - 10	46
Cr	1 - 5	2
Hg	0,0002 - 0,001 – 0,009 - 0,01 – 0,04 -0,05 - 10	68
Mo	0,1 - 0,4 - 0,7- 0,8- 1 - 5 – 6 - 10	57
Ni	1 - 10	2
Pb	4	2
Se	0,001 -0,01 - 0,1 – 0,4 - 0,5 - 0,6 - 0,7 - 0,8 - 0,9 - 1 - 2 - 5 - 10	92

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Laudos referentes aos lotes de lodo misto destinados a uso agrícola no Paraná, período 2011 a 2013

3.4 COMPOSTOS ORGÂNICOS DA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06 E SUAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE SORÇÃO AO LODO DE ESGOTO

Realizou-se um levantamento bibliográfico sobre as propriedades físico-químicas de compostos orgânicos relacionados à degradação química e biológica e à sorção ao lodo. Densidade, solubilidade em água, coeficientes de partição octanol/água (K_{ow}), coeficientes de partição carbono orgânico/água (K_{oc}), pressão de vapor, constante de Henry, tempo de meia vida foram algumas das propriedades avaliadas.

Foram pesquisadas 43 publicações internacionais sobre o tema, visto que ainda são incipientes os trabalhos científicos brasileiros relacionados ao comportamento de compostos orgânicos no tratamento de esgoto. Utilizaram-se artigos sobre os denominados “compostos orgânicos emergentes” (COE), visto que a maior parte das publicações recentes sobre o tema trata especificamente deste grupo de compostos orgânicos e que as características relacionadas à remoção e aos mecanismos de remoção no tratamento de esgoto são comuns a todos os compostos orgânicos.

Com base na revisão bibliográfica, realizou-se a análise de dados das propriedades físico-químicas dos compostos orgânicos contidos nas Resoluções Conama 375/06, visando à identificação quanto ao potencial de sorção ao lodo de esgoto.

3.5 RESOLUÇÃO CONAMA 375/06 E SUA APLICABILIDADE NA GESTÃO DO USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO ESTADO DO PARANÁ

Realizou-se uma análise crítica da Resolução Conama 375/06 com o objetivo de identificar as dificuldades de aplicação dos critérios e procedimentos nela estabelecidos na gestão do processo de uso agrícola do estado do Paraná.

A análise da Resolução foi realizada segundo a ordem sequencial do documento, sendo abordados, prioritariamente, os aspectos considerados conflitantes e/ou que possam ser melhorados. Dessa forma, para melhor entendimento do capítulo recomenda-se a utilização da Resolução Conama 375/06, que consta em anexo ao presente estudo. Utilizou-se da comparação com legislações nacionais e internacionais e da análise do método de gestão do uso agrícola de lodo de esgoto adotado no Paraná, avaliando a aplicabilidade do conteúdo da Resolução para a realidade do processo no estado.

Utilizou-se material bibliográfico e documentos técnicos disponibilizados pela Sanepar e informações obtidas por meio de comunicação pessoal com gestores que

acompanharam o processo de uso agrícola de lodo de esgoto, para complementar as informações presentes em relatórios e documentos normativos.

Com o objetivo de subsidiar a revisão do documento, realizou-se a formulação de propostas de alterações no conteúdo e na estrutura da Resolução, bem como, foram sugeridos temas para o desenvolvimento de pesquisas que poderão embasar a tomada de decisão.

As sugestões de alteração de texto foram apresentadas durante a discussão de cada seção da Resolução, bem como, os temas que devem ser mais bem debatidos nas reuniões técnicas de discussão da revisão da norma.

Em relação à qualidade de lodo priorizou-se no texto a abordagem sobre lodo Classe A, uma vez que no Paraná somente é permitida a existência desta classe de lodo.

Para subsidiar a avaliação da “Seção II - da frequência de monitoramento do lodo de esgoto ou produto derivado” da Resolução Conama 375/06, cujos resultados são apresentados no item 4.4.2, foram levantados os custos de serviços de análises laboratoriais. Os orçamentos de serviços de análises laboratorial para caracterização de um lote de lodo de esgoto foram solicitados a 4 laboratórios dos estados de São Paulo e Paraná, nos meses de janeiro e fevereiro de 2014, tendo como referência as metodologias, critérios e procedimentos descritos na Resolução Conama 375/06.

Realizou-se uma simulação visando comparar os custos de caracterização de lotes de lodo de esgoto para UGLs de diferentes portes do estado do Paraná, utilizando as faixas de frequência de monitoramento e de parâmetros exigidos pelas normas brasileira (BRASIL, 2006), americana (USEPA, 2007), mexicana (MÉXICO, 2003) e europeia, opção de moderadas mudanças (MILIEU; WRc; RPA, 2010), para lodo equivalente a Classe A.

A partir de informações fornecidas pela Sanepar quanto ao volume e teor de ST do lodo bruto líquido descartado nas ETEs antes do desaguamento, realizou-se a estimativa de geração de lodo bruto em ST, utilizando a EQUAÇÃO 3:

$$G = [V \times \mu \times (ST/100)] / 1000 \quad \text{EQUAÇÃO (3)}$$

Onde:

G é a produção anual de lodo em ST ($t \text{ ano}^{-1}$);

V é o volume total de lodo na entrada do desaguamento ($m^3 \text{ ano}^{-1}$);

μ é a massa específica do lodo na entrada do desaguamento (kg m^{-3}) e ST é o teor médio de sólidos totais do lodo na entrada do processo de desaguamento (%).

Para realização do cálculo adotou-se a massa específica de 1.000 kg m^{-3} . Para as UGLs da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) utilizou-se o volume (m^3) e ST (%) do lodo bruto líquido descartado por ETE que compõem uma UGL no ano de 2013. Para as demais UGLs utilizou-se o volume (m^3) gerado em 2013 e a média de ST (%) do lodo bruto líquido descartado das ETEs, de janeiro a julho de 2014, uma vez que para essas ETEs não havia registro dos ST do lodo no ano de 2013.

A partir do resultado da estimativa anual de geração de lodo foram selecionadas UGLs que representassem cada uma das faixas de frequência de caracterização estabelecidas pela Resolução Conama 375/06 (TABELA 14). Na simulação não foi utilizada a faixa de frequência acima de $15.000 \text{ t ano}^{-1}$ (BRASIL, 2006), visto que a UGL Belém, a maior do estado, possui um geração de ST de lodo de 3.929 t ano^{-1} .

TABELA 14 - CLASSIFICAÇÃO DE UGLs DO ESTADO DO PARANÁ DE ACORDO COM A GERAÇÃO DE LODO E A FREQUÊNCIA DE MONITORAMENTO ESTABELECIDA PELA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06

UGL	Região	Geração de lodo em ST (t ano^{-1})	Critérios da Resolução Conama 375/06	
			Faixa de quantidade de lodo destinado para aplicação na agricultura em ST (t ano^{-1})	Frequência de monitoramento
Belém	RMC	3.929	1.500 a 15.000	Bimestral
Atuba	RMC	1.643	1.500 a 15.000	Bimestral
Norte	Londrina	1.400	240 a 1.500	Trimestral
Sul	Maringá	950	240 a 1.500	Trimestral
Ronda	Ponta Grossa	400	240 a 1.500	Trimestral
Vassoural	Guarapuava	233	60 a 240	Semestral
Ouro Verde	Foz do Iguaçu	170	60 a 240	Semestral
Pitanga	Guarapuava	34	< 60	Anual

FONTE: O autor (2014)

Realizou-se o cálculo de custo de caracterização por lote em cada uma das UGLs selecionadas, utilizando o menor custo por grupo de parâmetros apresentado no levantamento de preços. Calculou-se o custo por lote de acordo com os critérios estabelecidos pelas normas americana (USEPA, 2007), mexicana (MÉXICO, 2003), brasileira (BRASIL, 2006) e pelo relatório final sobre os impactos do uso do lodo em

solo para UE, de acordo com a sugestão da opção de moderadas mudanças (MILIEU; WRC; RPA, 2010). Como as normas americana e mexicana não exigem a realização de parâmetros agronômicos e considerando que os mesmos são necessários para o cálculo da taxa de aplicação, adotou-se a mesma frequência de monitoramento de substâncias inorgânicas para caracterização destes parâmetros.

No caso do cálculo de custo de caracterização do lodo segundo a norma americana, utilizou-se a frequência de monitoramento estabelecida pela CFR 40 Parte 503 (USEPA, 2007) para parâmetros sanitários, substâncias inorgânicas e potencial agronômico. Para parâmetros sanitários foram adotados os critérios para atendimento de Lodo Classe A, utilizando a alternativa de tratamento denominada monitoramento do processo (o qual inclui análise de coliformes fecais, salmonela, ovos viáveis de helmintos e vírus entéricos) (USEPA, 2007). No cálculo de custo de caracterização do lodo de acordo com a norma mexicana, utilizou-se o custo de análises para os parâmetros de sanidade (coliformes fecais, salmonela, ovos viáveis de helmintos), de substâncias inorgânicas e de potencial agronômico.

Para UE, no cálculo de monitoramento para os parâmetros de sanidade utilizou-se o custo de 2 análises para determinação de Coliformes termotolerantes (cujo procedimento analítico é semelhante ao da determinação de *Escherichia coli*) uma vez que o relatório estabelece como critério: alcançar uma redução de *Escherichia coli* para menos de 5×10^5 unidades formadoras de colônias por grama (peso úmido) de lodo tratado. Para os parâmetros substâncias orgânicas, utilizou-se o custo de análise dos 34 compostos orgânicos exigidos pela Resolução Conama 375/06.

Nos cálculos, utilizou-se o custo de análise laboratorial das 11 substâncias inorgânicas exigidas na Resolução Conama 375/06, apesar das normas americana, mexicana e europeia não exigirem na caracterização do lodo, a análise de todas essas 11 substâncias inorgânicas.

Estimou-se o custo do transporte de lodo no Paraná, com base em informações fornecidas pela Sanepar, em relação a valores cobrados para o transporte interurbano de resíduos em caminhões de 12 m^3 , no mês de abril de 2014. Utilizou-se o valor médio de $\text{R\$ } 0,53 \text{ km}^{-1} \text{ t}^{-1}$ e uma massa específica de 700 kg m^{-3} , média verificada operacionalmente pela Sanepar para lodos com maiores teores de

ST, desaguados em leito de secagem. Moretto *et al.* (2011) observaram que acima de um teor de ST de 27% a densidade do lodo decai rapidamente.

A partir dos resultados de custos para caracterização dos lotes de lodo, realizou-se a formulação de propostas de alterações do conteúdo da Resolução Conama 375/06 referente à frequência de monitoramento de lodo, com o objetivo de embasar a tomada de decisão e subsidiar a revisão do documento.

Para subsidiar a avaliação da “Seção VII - da aplicação” da Resolução Conama 375/06, cujos resultados são apresentados no item 4.4.6, calcularam-se, utilizando o programa Excel, os percentis 75, 90 e 99 das cargas teóricas dos lotes de lodo aplicados em áreas agrícolas do estado do Paraná, no período de 2007 a 2013. No cálculo das cargas teóricas, utilizaram-se os limites de quantificação, para resultados de concentração de substâncias inorgânicas abaixo do limite de quantificação nos lotes de lodo de esgoto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESTUDO DE CASO DA GESTÃO DO PROCESSO DE USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO ESTADO DO PARANÁ

A gestão de uso agrícola de lodo de esgoto compreende atividades em duas esferas de ação: uma no âmbito da UGL e outra no âmbito agrícola. Para melhor entendimento dessas atividades elaborou-se um fluxograma (FIGURA 6) e um quadro resumo com os objetivos de cada etapa do processo (QUADRO 10). Em seguida é feita uma descrição dos aspectos mais relevantes no processo de uso agrícola de lodo de esgoto adotado no estado do Paraná.

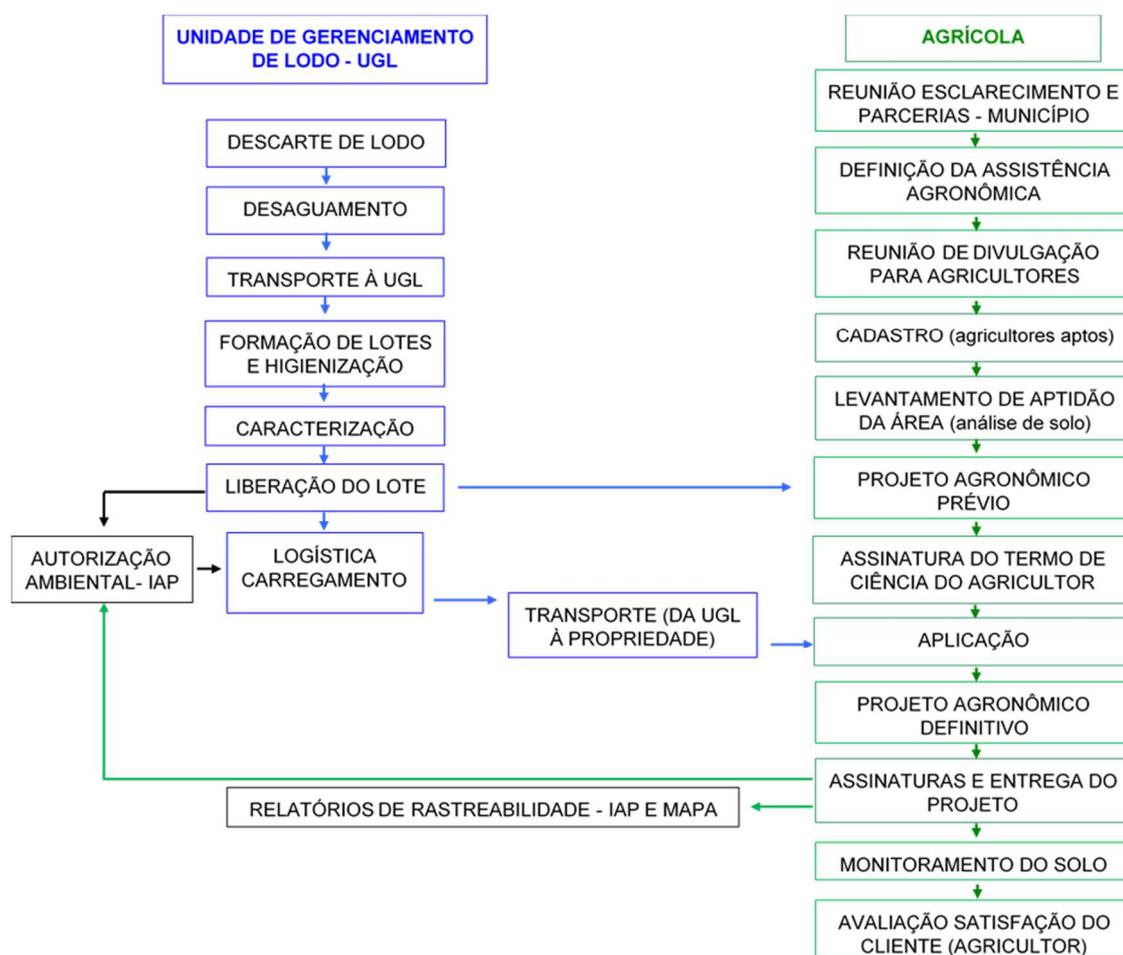


FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE GESTÃO DO PROCESSO DE USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO PARANÁ
 FONTE: O autor (2014)

ÂMBITO DA UGL	
Descarte de lodo bruto líquido dos reatores	Manter a eficiência do tratamento de esgoto. É necessário mensurar cada descarte de lodo realizado nas ETEs que compõem a UGL, visando o monitoramento da produção de lodo da UGL.
Desaguamento de lodo	Reduzir o volume do lodo de esgoto. Deve-se realizar o controle da quantidade de lodo desaguado, visando dimensionar o volume do lote de lodo e a quantidade de cal necessária para higienização.
Formação de Lote	Controlar a quantidade e a origem do lodo e identificar o lote. A formação do lote de lodo de esgoto da UGL envolve o transporte de lodo desaguado das ETEs até a UGL e o transbordo de lodo nos limites da UGL.
Higienização	Higienizar o lodo conforme descrito no Plano de Gerenciamento da UGL, de modo a atender aos requisitos e limites de qualidade da Res. SEMA 021/09.
Caracterização do lote de lodo de esgoto	Atender as determinações das Resoluções Sema 021/09, quanto à amostragem e contratação de laboratório para realização das análises.
Liberação do Lote	Verificar se os lotes higienizados atendem aos critérios estabelecidos pela legislação. Os resultados das análises devem ser registrados em uma planilha de controle, que consiste na planilha de rastreabilidade.
Transporte do lodo à área de aplicação	Transportar o lodo até a área de aplicação, por meio de contrato de transporte ou realizado pelo agricultor, para tanto é necessária a solicitação prévia ao IAP de autorização ambiental (AA) para transporte e disposição final do lote.
ÂMBITO AGRÍCOLA	
Reuniões de esclarecimento	Apresentar o processo de uso agrícola de lodo de esgoto para entidades ligadas à saúde, ambiente e agricultura do município.
Definição da assistência agrônoma	Definir o profissional que irá elaborar os projetos agrônômicos e orientá-lo quanto aos critérios exigidos.
Reunião de divulgação para agricultores	Divulgar o uso agrícola de lodo de esgoto, com o objetivo de gerar demanda, identificar agricultores interessados, áreas e cultivos aptos para aplicação.
Cadastro de agricultores	Realizar o cadastro de agricultores que cultivam culturas aptas, interessados em receber lodo.
Levantamento de aptidão	Verificar a aptidão das áreas de aplicação conforme os critérios da legislação.
Projeto agrônômico prévio	Determinar a quantidade de lodo a ser aplicada com base nas características do lodo, do solo e do cultivo agrícola.
Obtenção de termo de ciência do agricultor (proprietário e/ou arrendador)	O termo de ciência é o documento prévio ao projeto agrônômico, pois muitas vezes há um erro na estimativa da quantidade de lodo no lote, fato que pode gerar uma diferença na quantidade de área onde o material será aplicado. Contém as exigências legais, os cuidados e da quantidade de lodo
Aplicação do lodo em área agrícola	Aplicar o lodo em área agrícola em um período máximo de 15 dias após o descarregamento e fechamento do projeto agrônômico de acordo com a quantidade total de lodo enviado
Projeto agrônômico definitivo	É finalizado o projeto agrônômico definitivo, com base no projeto agrônômico prévio e na quantidade de lodo aplicada na área agrícola.
Entrega do projeto agrônômico	As três vias do projeto agrônômicas, devidamente assinadas por: responsável pela UGL, agrônomo responsável e agricultor são entregues. As cópias dos projetos agrônômicos são entregues ao IAP na solicitação de AA para o próximo lote de lodo. Os dados dos projetos são utilizados para os relatórios enviados ao IAP e ao MAPA.
Monitoramento de solo	Monitorar as características do solo após a aplicação de lodo, conforme determina a legislação.
Avaliação de satisfação	Avaliar a opinião do cliente (agricultor), para a melhoria contínua do processo.

QUADRO 10 - RESUMO DAS ETAPAS DO PROCESSO DE USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO ESTADO DO PARANÁ

FONTE: O autor (2014)

A primeira etapa do tratamento do lodo nas UGLs foi o desaguamento, em prensas desaguadoras (FIGURA 7) e centrífugas (FIGURA 8) nas ETEs de grande porte, e em leitos de secagem nas ETEs de menor capacidade (FIGURA 9).



FIGURA 7 - PRENSA DESAGUADORA, UGL BELÉM, CURITIBA, PR (DESATIVADA EM 2011)
FONTE: O autor (2007)



FIGURA 8 - CENTRÍFUGAS, UGL BELÉM, CURITIBA, PR
FONTE: O autor (2014)



FIGURA 9 - LEITOS DE SECAGEM, ETE CAMBUÍ, CAMPO LARGO, PR
FONTE: O autor (2014)

O processo de higienização adotado foi o de Estabilização Alcalina Prolongada (EAP), o qual eleva o pH do lodo a 12 com posterior período de cura de 30 dias, reduzindo os agentes patogênicos aos níveis exigidos pela legislação (PARANÁ, 2009). Dessa forma, a formação do lote de lodo de esgoto aconteceu 30 dias antes da coleta de amostras para realização das análises laboratoriais, momento no qual não foi adicionado mais lodo ao lote.

A dosagem de cal aplicada foi de 30 a 50% em relação aos ST do lodo, sendo que no processo de higienização realizado no interior do estado, verificou-se a aplicação de menor dosagem comparada à aplicada na RMC.

A higienização do lodo nas ETEs com desaguamento em leito de secagem (FIGURA 10 e 11) foi realizada de acordo com uma das seguintes formas:

- a mistura da cal foi realizada logo após cada retirada de lodo do leito, sendo o lodo misturado à cal e armazenado em pátio até a formação do lote;
- o lodo retirado de cada descarga do leito foi armazenado até obtenção da quantidade necessária para formação de um lote e nesse momento foi realizada a mistura da cal ao lodo.



FIGURA 10 - BETONEIRA UTILIZADA PARA HIGIENIZAÇÃO DE LODO DESAGUADO EM LEITO DE SECAGEM, UGL VASSOURAL, GUARAPUAVA, PR
FONTE: Marques, C. J. (2012)



FIGURA 11 - MAROMBA UTILIZADA PARA HIGIENIZAÇÃO DE LODO DESAGUADO EM LEITO DE SECAGEM, UGL OURO VERDE, FOZ DO IGUAÇU, PR
FONTE: O autor (2013)

Nas ETEs que possuíam desaguamento mecânico, em prensa ou centrífuga, a mistura da cal foi realizada imediatamente após o desaguamento, em um misturador mecânico (FIGURAS 12 e 13), sendo a mistura armazenada em pátio até a formação de um lote. No presente estudo, todas as ETEs que possuíam desaguamento em centrífuga ou prensa estavam licenciadas como UGL.



FIGURA 12 - MISTURADOR MECÂNICO DE CAL E LODO, ETE SANTA QUITÉRIA, CURITIBA, PR
FONTE: O autor (2014)



FIGURA 13 - LODO APÓS MISTURADOR MECÂNICO DE CAL, UGL BELÉM, CURITIBA, PR
FONTE: O autor (2011)

Nas ETEs que não estavam licenciadas como UGL, o lodo desaguado foi armazenado até a formação de quantidade que viabilizou economicamente o transporte até a UGL licenciada, local onde o lodo foi higienizado. Eventualmente o processo de higienização foi realizado na própria ETE geradora.

Nas UGLs do interior do Paraná, predominantemente, formou-se um lote ao ano. Enquanto nas UGLs da RMC os lotes foram formados mensalmente (UGL Belém) ou trimestralmente (demais UGLs da RMC).

No processo de higienização por EAP é necessário que o lote de lodo depois de formado permaneça no mínimo por 60 dias, armazenado em pátio (30 dias para o período de cura e 30 dias necessários para realização de análise de ovos viáveis de helmintos) (FIGURA 14). No caso da geração de lodo da UGL Belém, apesar da Resolução Conama 375/06 estabelecer um monitoramento bimestral, realizou-se uma caracterização mensal visando otimizar o uso do pátio de armazenamento e facilitar a logística de transporte para as áreas agrícolas.



FIGURA 14 - LODO HIGIENIZADO COM CAL ARMAZENADO EM PÁTIO PARA CURA, UGL VASSOURAL, GUARAPUAVA, PR
FONTE: O autor (2012)

Posteriormente à higienização, caracterizou-se cada lote de lodo de esgoto, conforme os parâmetros estabelecidos pela Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009). Foi realizada a liberação do lote para uso agrícola após a comprovação de que este atendia aos limites estabelecidos pela legislação, quanto à sanidade, estabilidade

e substâncias inorgânicas, por meio da interpretação dos resultados dos laudos laboratoriais.

No caso de algum lote de lodo apresentar características impróprias para uso agrícola em relação à sanidade, o mesmo passa por nova higienização e no caso de não atender aos limites de substâncias inorgânicas, a alternativa de disposição final é a disposição em aterros para resíduos Classe II - não inertes.

O material foi disponibilizado aos agricultores previamente cadastrados, os quais cultivavam plantas aptas a receberem o lodo e cujas áreas apresentavam aptidão para aplicação do material (PARANÁ, 2009). A avaliação de aptidão agrícola das áreas foi realizada por engenheiro agrônomo. Foram realizadas coletas de amostras de solo para caracterização quanto à fertilidade do solo (FIGURA 15) e elaborados os projetos agronômicos. No projeto determinou-se a taxa de aplicação, considerando as características agronômicas do lodo, do solo e as necessidades nutricionais da cultura e, quando necessário, definiu-se a complementação de adubação.



FIGURA 15 - COLETA DE SOLO, LAPA, PR
FONTE: O autor (2009)

A determinação da taxa de aplicação máxima de lodo (em ST) foi realizada utilizando o menor valor calculado, considerando os seguintes critérios:

- a) necessidade de nitrogênio (N) da cultura: realizou-se o cálculo de fornecimento de N disponível no lodo para a cultura no primeiro cultivo, conforme determina a legislação vigente (BRASIL, 2006; PARANÁ, 2009);
- b) necessidade de correção de acidez do solo: calculou-se a necessidade de correção de acidez do solo para elevação da saturação de bases ao nível exigido pela cultura (IAPAR, 2003; OLEYNIK *et al.*, 2004; POGGERE *et al.*, 2012) e
- c) limite de carga total acumulada de substâncias inorgânicas no solo: realizou-se o cálculo teórico de acúmulo de substâncias inorgânicas no solo, considerando a quantidade do elemento no lodo (PARANÁ, 2009).

Os agricultores receberam orientações técnicas e assinaram os projetos agronômicos (FIGURA 16), atestando que estavam cientes de todas as exigências e orientações de uso; comprometendo-se a segui-las adequadamente. O lodo foi fornecido sem custo para o agricultor.



FIGURA 16 - ORIENTAÇÕES AO AGRICULTOR, FOZ DO IGUAÇU, PR
FONTE: O autor (2011)

4.1.1 Uso agrícola de lodo de esgoto produzido na RMC no período de 2007 a 2013

Na RMC, em 2013, a geração de lodo de esgoto, com base em dados operacionais, foi estimada em 8.011 t de ST ao ano. A estimativa foi realizada a partir do volume de lodo bruto líquido descartado de cada ETE, de $264.715 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$, adotando-se uma média teórica de ST de 4%. A ETE Belém, com sistema de tratamento de lodos ativados de aeração prolongada, foi a maior geradora de lodo, responsável por uma geração, em ST, de 4.297 t ano^{-1} (estimada a partir do volume descartado de 171.868 m^3 com 2,5% ST) em 2013.

A FIGURA 17 e a TABELA 15 mostram a quantidade anual destinada ao uso agrícola do lodo de esgoto produzido na RMC, no período de 2007 a 2013.

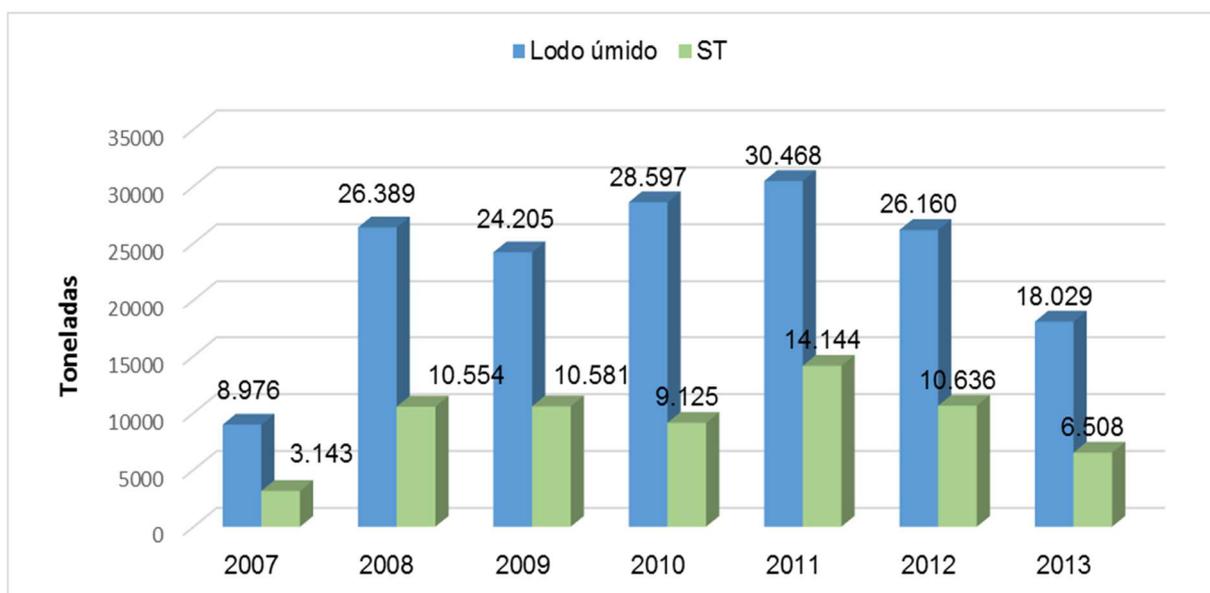


FIGURA 17 - QUANTIDADE DE LODO DE ESGOTO, PRODUZIDO NA RMC, APLICADA EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013

FONTES: O autor (2014)

NOTA: As quantidades de lodo úmido e de sólidos totais (ST) referem-se a lodo desaguado com adição de cal da higienização.

No período de 2007 a 2013, a gestão e o tratamento do lodo de esgoto, visando o uso agrícola, na RMC foi realizada em 4 UGLs, constituídas por uma ou mais ETEs. Essas UGLs produziram cerca de 30 lotes de lodo por ano, cujo tamanho foi de acordo com o porte da UGL. No período de 2007 a 2010, foram aplicadas em 2.288 ha de áreas agrícolas 88.167 t de lodo de esgoto higienizadas por EAP, com

umidade média de 59%. No período de 2011 a 2013, foram aplicadas 74.658 t de lodo EAP (31.287 t ST) em 2.221 ha de áreas agrícolas.

TABELA 15 - QUANTIDADE DE LODOS DE ESGOTO, PRODUZIDO NA RMC, APLICADA EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013

Lodo produzido na UGL	Ano	Quantidade de lodo destinada		Área aplicada (ha)
		Lodo úmido (t)	Sólidos totais de lodo (t)	
Aeróbio (a)	2007	7.593	2.530	252
	2008	20.306	7.525	516
	2009	18.249	7.755	416
	2010	22.736	6.507	503
	2011	22.266	10.145	653
	2012	17.749	6.234	413
	2013	13.699	4.342	419
	Total	122.598	45.038	3.172
Misto (b)	2007	1383	613	44
	2008	6083	3029	202
	2009	5956	2827	182
	2010	5861	2618	173
	2011	8.203	3.999	290
	2012	8.411	4.402	286
	2013	4.330	2.166	161
	Total	40.227	19.654	1.338
TOTAL		162.825	64.692	4.510

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Tratamento de esgoto por: (a) Lodos ativados de aeração prolongada; (b) Reator anaeróbio tipo UASB seguido de pós-tratamento. As quantidades de lodo úmido e de sólidos totais (ST) referem-se a lodo com adição de cal da higienização.

Observa-se (FIGURA 17, TABELA 15) que inicialmente houve um aumento, mas a partir de 2012 houve uma redução na quantidade de lodo destinada. Dificuldades logísticas na distribuição contribuíram para esta redução, algumas relacionadas com o elevado número de dias com chuva na região, em média 14 dias de chuva por mês no período (INMET, 2014), gerando dificuldades de descarregamento do material nas áreas agrícolas. Muitas vezes era necessário esperar de 3 a 4 dias após a chuva, para uma secagem do solo que permitia a entrada e descarregamento do caminhão em área agrícola (FIGURA 18). O outro fator foi a destinação, no ano de 2013, a aterro industrial de 19.076 t de lodo geradas na RMC. Segundo relato dos gestores do processo, além das dificuldades na logística para entrega do material nas áreas agrícolas, a demanda agrícola, concentrada em duas épocas do ano (cultivos de verão e de inverno), problemas com a gestão de contratos de análises laboratoriais e a redução no custo da destinação em aterro foram os

principais motivos que levaram a destinação a aterro. Segundo dados do contrato realizado pela Sanepar, no mês de maio de 2014, o custo de destinação na RMC era R\$ 117,45 por tonelada (transporte e taxa do aterro) ou R\$ 95,00 (somente a taxa do aterro).



FIGURA 18 - DESCARREGAMENTO DE CAMINHÕES DE LODO DE ESGOTO EM ÁREA AGRÍCOLA, LAPA, PR
FONTE: O autor (2010)

A UGL Belém apresentou o maior número de lotes e de quantidade de lodo destinada a uso agrícola (TABELA 15). A soma das vazões médias mensais das ETEs que compõem as UGLs que produziram lodo misto no ano de 2010 foi de 2.387 L s^{-1} e em 2013 de 2.757 L s^{-1} , mas apesar desta vazão superior à da UGL aeróbia (912 L s^{-1} , em 2010 e 1.195 L s^{-1} em 2013) a quantidade de lodo bruto misto gerado nas UGLs, de 39.048 m^3 em 2010 e 61.807 m^3 em 2013 foi inferior ao lodo bruto gerado na UGL aeróbia (156.285 m^3 em 2010 e 171.868 m^3 em 2013). Verificou-se, ao realizar o cálculo de volume de lodo gerado por volume de esgoto afluyente, adotando-se um teor de ST médio teórico de 2,5% para UGL aeróbia e de 4,0% para o lodo misto das demais UGLs, que estas últimas geraram 75% menos lodo do que a UGL aeróbia. Segundo Von Sperling e Gonçalves (2001) sistemas de lodos ativados de aeração prolongada geram de 24 a 32% mais lodo que sistemas UASB.

A taxa média de aplicação do lodo (ST) foi de 14,6 t ha⁻¹ (14,3 e 15,3 t ha⁻¹ respectivamente para os lotes de lodo aeróbio e de lodo misto) em propriedades com área média de 9,6 ha, proporcionando aos agricultores uma redução média no custo com a compra de fertilizantes e corretivos de acidez do solo de R\$ 584,19 ha⁻¹, obtido dos projetos agronômicos e atualizados para novembro de 2014. Esse custo evitado foi devido ao fornecimento de nutrientes N, P, K e da correção de acidez de solo promovida pela aplicação do lodo de esgoto, que forneceu em média 85,7% do calcário (PRNT 75%), 69,3% do N, 82,6% do P₂O₅ e 37,0% do K₂O demandado pelos cultivos agrícolas do estudo de caso.

O lodo foi destinado aos cultivos de milho, soja, feijão, azevém, cevada, trigo, adubação verde, eucalipto e na implantação e pós-colheita de fruteiras de caroço. Foram beneficiados 105 agricultores, cujas propriedades agrícolas estavam distribuídas nos municípios de Antônio Olinto, Campo do Tenente, Campo Largo, Contenda, Lapa, Mandirituba, Palmeira, Ponta Grossa, Porto Amazonas, São João do Triunfo, São José dos Pinhais e São Mateus do Sul. A distância mínima entre a UGL e a área de aplicação foi de 32 km e a máxima de 213 km.

Devido à baixa concentração de substâncias inorgânicas nos lotes, no cálculo de determinação da taxa de aplicação de lodo para as áreas agrícolas do estudo, o critério de acúmulo de substâncias inorgânicas no solo não foi limitante em nenhuma das recomendações agronômicas elaboradas. A necessidade de correção de acidez do solo, utilizando-se o cálculo pelo método de saturação por bases do solo (V%), foi o fator que limitou a determinação da taxa de aplicação de lodo, (em t ha⁻¹), em 88% dos projetos agronômicos. O método V% do solo não é citado nas Resoluções Conama 375/06 e Sema 021/09, mas mostrou-se seguro quanto à recomendação agrícola em estudo realizado por Poggere *et al.* (2012).

Os níveis de indicadores bacteriológicos e de agentes patogênicos dos lotes da RMC disponibilizados ao uso agrícola no período de 2007 a 2013 corresponderam a lodo classe A (BRASIL, 2006). A TABELA 16 apresenta um resumo dos resultados dos parâmetros de sanidade dos lotes da RMC aplicados em áreas agrícolas no período. Do total de 173 lotes, 52 e 59 lotes não foram caracterizados, respectivamente, quanto a *Salmonella* sp e vírus, uma vez que estes lotes foram caracterizados a partir de contrato de serviços laboratoriais segundo a exigência da

Instrução Técnica do IAP CEP/DTA n. 001/2002 (PARANÁ, 2002), a qual não exigia a caracterização destes parâmetros.

TABELA 16 - PARÂMETROS DE SANIDADE DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO PRODUZIDOS NA RMC, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013

Parâmetro	Limite Resolução Sema 021/09	Média*	Quantidade de laudos laboratoriais		
			Total	Resultados abaixo do LQ	Resultados iguais a zero
Coliformes termotolerantes (NMP g ⁻¹ de ST)	<10 ³	492	173	49	22
Ovos viáveis de helmintos (g ⁻¹ de ST)	<0,25	0,05	173	102	60
<i>Salmonella</i> sp. (em 10g ⁻¹ de ST)	ausência	-	121	45	76
Vírus (UFP ou UFFg ⁻¹ de ST)	<0,25	-	114	81	33

FONTE: O autor (2014)

NOTA: LQ - Limite de quantificação da análise laboratorial. *Média excluindo os resultados iguais a zero.

No período de 2007 a 2013, 18 lotes da RMC foram caracterizados quanto às substâncias orgânicas exigidas pela Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009). Num primeiro momento, os lotes não estavam sendo caracterizados quanto a estas substâncias em virtude do contrato de serviços laboratoriais vigente seguir a Instrução Técnica do IAP CEP/DTA n. 001/2002 (PARANÁ, 2002) a qual não exigia a caracterização dessas substâncias.

Em 2008, a Sanepar solicitou ao IAP a diminuição da frequência do número de análise de substâncias orgânicas nos lotes produzidos nas UGLs da RMC, com base em histórico de resultados de análises dessas substâncias abaixo do limite de quantificação laboratorial em lotes da RMC. O IAP, por meio do Ofício n. 41 IAP/DIRAM/DLP de 06 de outubro de 2008 autorizou a caracterização de somente um lote ao ano por UGL quanto às substâncias orgânicas listadas na Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009). Dos 18 lotes analisados, 16 apresentaram os resultados abaixo do limite de quantificação laboratorial para as 34 substâncias analisadas (PARANÁ, 2009) e 2 apresentaram substâncias orgânicas acima do limite de quantificação laboratorial (TABELA 17), o lote aeróbio A da UGL Belém e o lote misto B da UGL Padilha Sul.

TABELA 17 – SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS DETECTADAS EM LOTES DE LODO DE ESGOTO, PRODUZIDOS NA RMC, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013

Substância orgânica	Concentração (mg kg ⁻¹)				Permitida no solo Resoluções Conama 375/06 e Sema 021/09
	Lote de lodo		Aplicada no solo		
	A	B	A	B	
Cresóis	0,048	0,447	4,4x10 ⁻⁴	1,3x10 ⁻³	0,16
2,4,6-Triclorofenol	0,369	-	3,4x10 ⁻³	-	2,4
Pentaclorofenol	0,139	-	1,3x10 ⁻³	-	0,16
Fenantreno	0,133	-	1,2x10 ⁻³	-	3,3
1,2-Diclorobenzeno	-	0,03	-	8,8x10 ⁻⁵	0,73
Dioxinas e furanos	-	5x10 ⁻⁶	-	1,5x10 ⁻⁸	-

FONTE: O autor (2014)

NOTA: O cálculo da quantidade de substância orgânica aplicada no solo foi realizado utilizando a quantidade de 2 milhões de kg de solo por ha. Adotou-se a taxa de aplicação utilizada nos projetos agrônômicos de 18,5 e 5,9 t ha⁻¹, respectivamente, para os lotes A e B.

Em virtude do cálculo teórico da concentração das substâncias orgânicas, detectadas, aplicadas no solo apresentar resultados muito abaixo do limite para solo permitido pelas Resoluções Conama 375/06 e Sema 021/09 (TABELA 17), não foi realizado nenhum estudo para verificar as causas da presença destes compostos nos lotes e conforme determina a Resolução Conama 375/06 orientou-se que fossem realizadas análises desses compostos no solo das áreas agrícola que receberam esses lotes de lodo de esgoto.

4.1.2 Uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná de 2011 a 2013

A geração de lodo de esgoto no Paraná, no período de 2011 a 2013, com base em dados operacionais, foi estimada em 57.492 t ano⁻¹ de ST. A estimativa foi realizada a partir do volume descartado de 1.437.309 m³ ano⁻¹, adotando-se uma média teórica de 4% ST. A ETE Belém, com vazão média de 1.091 L s⁻¹ no período, foi a maior geradora de lodo, responsável por uma geração média anual de 4.638 t (estimada a partir do volume médio anual descartado de 185.532 m³ a 2,5% ST).

No período de 2011 a 2013, foram aplicadas 107.416 t de lodo de esgoto higienizadas por EAP (52.335 t de ST), com teor médio de 53,7% ST, em 5.529 ha de

áreas agrícolas do estado do Paraná (TABELA 18). As UGLs da RMC foram responsáveis por 54% do total do lodo destinado.

TABELA 18 - QUANTIDADE DE LODO DE ESGOTO APLICADA EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL, NO PERÍODO DE 2011 A 2013

Lodo produzido na UGL	Ano	Quantidade de lodo destinada		Área aplicada (ha)
		Lodo úmido (t)	Sólidos totais de lodo (t)	
Aeróbio (a) - RMC	2011	22.266	10.145	653
	2012	17.749	6.234	413
	2013	13.699	4.342	419
	Total	53.714	20.720	1.485
Misto (b) - RMC	2011	8.203	3.999	290
	2012	8.411	4.402	286
	2013	4.330	2.166	161
	Total	20.944	10.567	736
Misto (b) - Interior	2011	13.859	9.623	1.721
	2012	10.085	6.606	894
	2013	8.814	4.818	694
	Total	32.759	21.048	3.308
TOTAL		107.416	52.335	5.529

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Tratamento de esgoto por: (a) Lodos ativados de aeração prolongada; (b) Reator anaeróbio, tipo UASB, seguido ou não de pós-tratamento. As quantidades de lodo úmido e de sólidos totais (ST) referem-se a lodo com adição de cal da higienização.

Observa-se (TABELA 18 e FIGURA 19) que houve uma redução na quantidade anual destinada ao uso agrícola.

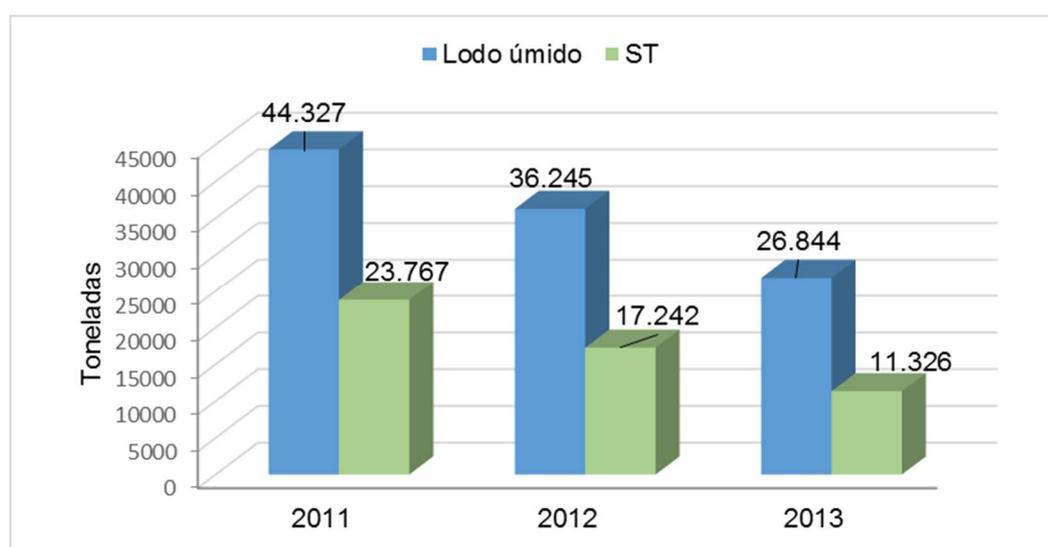


FIGURA 19 - QUANTIDADE DE LODO DE ESGOTO APLICADO EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO ESTADO DO PARANÁ NOS ANOS DE 2011, 2012, 2013

FONTE: O Autor (2014)

NOTA: As quantidades de lodo úmido e de sólidos totais (ST) referem-se a lodo com adição de cal da higienização.

As UGLs da RMC foram as que mais contribuíram para essa redução, uma vez que a destinação de lodo úmido em 2011 de 30.468 t (14.144 t de ST) foi reduzida para 18.029 t (6.508 t de ST) em 2013 (TABELA 18).

Verifica-se (TABELA 18) que no interior do Paraná também houve uma redução do lodo destinado para agricultura. Dois fatores podem explicar este fato, o primeiro refere-se à destinação do lodo, que estava armazenado a mais de dois anos, em 2011, de UGLs da região de Maringá (10.559 t de lodo úmido correspondendo a 7.209 t de ST) e, em 2012, de UGLs da região de Campo Mourão, as quais, destinaram para uso agrícola 2.321 t de lodo úmido (1.353 t de ST). Nos anos posteriores, conforme verificado nos relatórios de rastreabilidade, estas UGLs passaram a destinar somente o lodo produzido anualmente. O segundo fator refere-se ao fato da não implementação do uso agrícola por um número significativo de UGLs ao longo destes três anos. O número de UGLs que destinaram lodo para uso agrícola nos anos de 2011, 2012 e 2013, foram respectivamente 12, 19 e 18. No ano de 2013, laudos laboratoriais de caracterização de lotes de lodo com resultados inconsistentes, principalmente em relação a parâmetros agronômicos, não permitiram a destinação agrícola do material em uma UGL da regional de Ponta Grossa, que desde 2008 vinha destinando o lodo para uso na agricultura.

Destaca-se que o material teve boa aceitação por parte dos agricultores, portando não sendo esse o motivo da pequena expansão do processo, o qual, segundo relatos dos gestores, foi, principalmente, a falta de infraestrutura aliada a complexidade da gestão do processo.

No período de 2011 a 2013, o lodo foi destinado para aplicação nos cultivos de adubação verde, amora, azevém, café, cana, cevada, citrus, feijão, milho, soja, implantação de grama e reflorestamentos de eucalipto e pinus. No período, foram beneficiados 104 agricultores, cujas propriedades agrícolas estavam distribuídas em 41 municípios do Estado. Destaca-se que os níveis de indicadores bacteriológicos e de agentes patogênicos dos lotes disponibilizados ao uso agrícola no período corresponderam a lodo classe A (BRASIL, 2006), atendendo os limites exigidos pela Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009).

A TABELA 19 compara a distância média entre as UGLs e as áreas agrícolas, o tamanho médio das áreas agrícolas e a taxa de aplicação média.

TABELA 19 – DISTÂNCIA MÉDIA ATÉ AS ÁREAS AGRÍCOLAS, TAMANHO MÉDIO DE ÁREAS E TAXA DE APLICAÇÃO MÉDIA DE LODO DE ESGOTO APLICADO EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL, NO PERÍODO DE 2011 A 2013

Lodo produzido na UGL	Distância média da UGL a área agrícola (km)	Tamanho médio das áreas agrícolas (ha)	Taxa de aplicação média em ST (t ha ⁻¹)
A. Aeróbio – RMC	82	14	15
B. Misto - RMC	88	9	14
C. Misto - Interior	37	23	8
Diferentes ⁽¹⁾	Sim	A ≠ B e B ≠ C	A ≠ C e B ≠ C
MÉDIA	65	16,7	11,6

FONTE: O autor (2014)

NOTA: ⁽¹⁾ Foi aplicado o teste de Mann-Whitney para verificação da diferença entre os tratamentos ao nível de 95% de confiabilidade.

A distância mínima entre as UGLs e as áreas de aplicação foi de 2 km, a máxima de 140 km e a média de 65 km (TABELA 19). A distância média percorrida das UGLs da RMC foram superiores a distância de média de 37 km das UGLs do interior. Isso porque na RMC as áreas agrícolas mais próximas dedicam-se principalmente ao cultivo de olerícolas, as quais não podem receber lodo. Segundo Moreira (2011), a RMC é a região que mais produz olerícolas no Paraná, com cerca de 34% da produção estadual.

O outro fator que levou o envio do lodo a maiores distâncias na RMC está relacionado à baixa aptidão, principalmente em relação à declividade, do solo para uso agrícola de lodo de esgoto em áreas próximas. Fato que pode ser observado (FIGURA 20) nas áreas cinza do mapa de aptidão para uso de lodo de esgoto no estado do Paraná, desenvolvido por SOUZA *et al.* (2008).

A Resolução Conama 375/06 estabelece que até uma declividade de 10% é permitida a aplicação do lodo superficialmente sem incorporação, de 10 a 15% a aplicação do lodo superficialmente com incorporação, de 15 a 18% a aplicação deve ser subsuperficial e em sulcos para cultivos agrícolas e de 18 a 25% a aplicação em covas (BRASIL, 2006). Na RMC, no manejo de áreas agrícolas, predomina o cultivo mecanizado com aplicação de adubação em área total sem e com incorporação, sendo que o cultivo florestal, normalmente, é realizado em áreas de maior declividade.

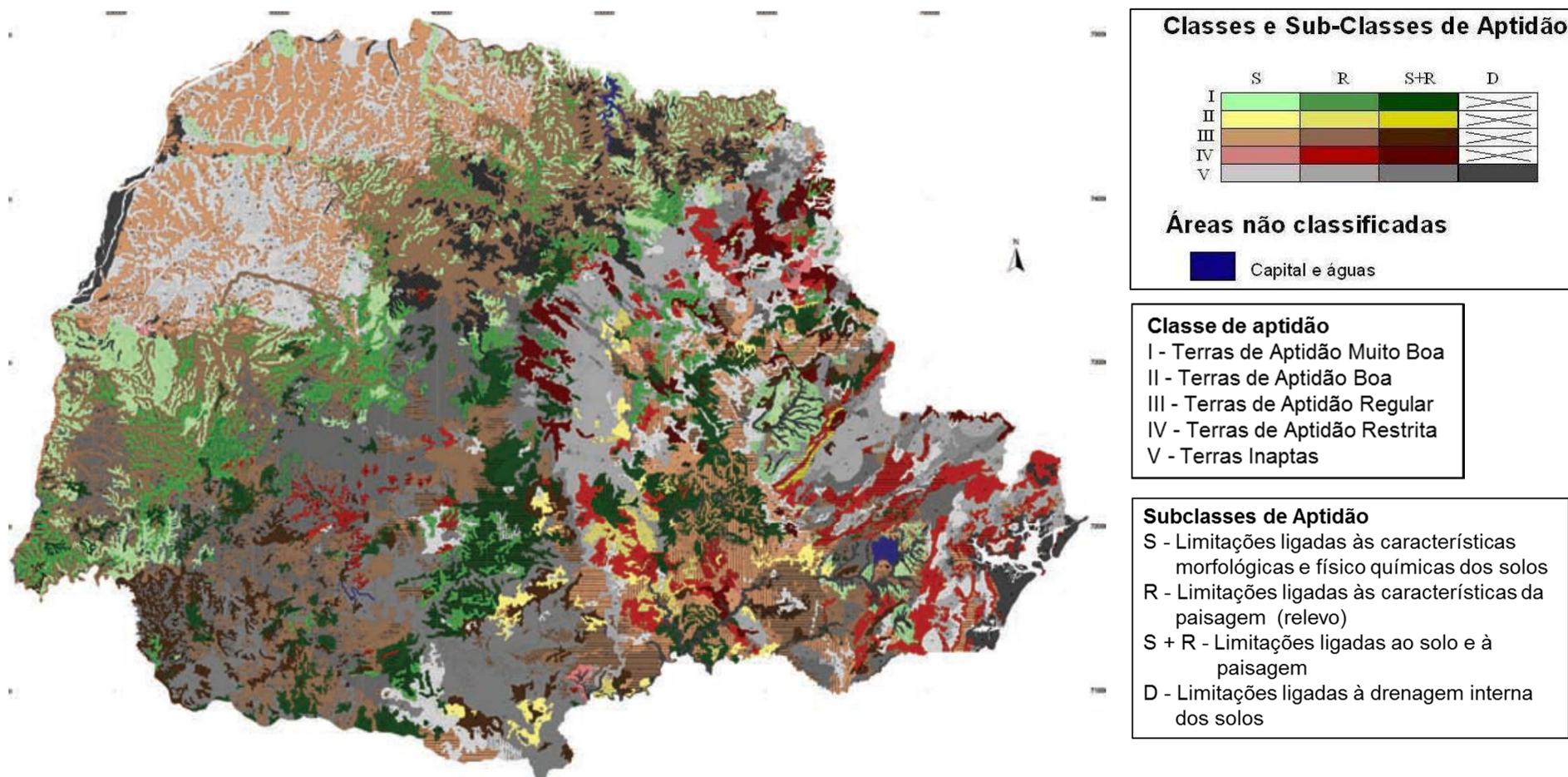


FIGURA 20 - MAPA DE APTIDÃO DE ÁREAS AGRÍCOLA DO ESTADO DO PARANÁ PARA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO
 FONTE: Souza *et al.* (2008)

Na parte leste, norte e noroeste da RMC predominam declividades acima de 45% caracterizando-se como sub-região inapta ao uso agrícola, sendo apta apenas ao manejo florestal. As porções, central e sul, apresentam relevo geralmente plano a ondulado com declividades que variam de 0 a 20%, no entanto 15% dessas áreas correspondem à área urbanizada do aglomerado metropolitano e 25% são solos associados às áreas de várzea ou planícies de inundação dos rios Iguaçu, da Várzea, Passaúna e Verde e ao relevo fortemente ondulado e montanhoso, cujos solos são considerados inaptos. Na parte oeste da RMC, principalmente nos municípios da Lapa e Campo do Tenente, predominam declividades de 0 a 20% (IPARDES, 2004). Dessa forma, no presente estudo, predominou aplicação de lodo, em áreas mais distantes, nas regiões oeste e sudoeste da RMC.

Verificou-se um tamanho médio de 16,7 ha das áreas agrícolas onde o lodo foi aplicado, sendo que as áreas agrícolas que receberam lodo misto da RMC apresentaram tamanho inferior (TABELA 19). Esse resultado pode ser reflexo da distribuição de área média por estabelecimento agropecuário do Paraná, uma vez que na RMC a área média por estabelecimento agropecuário é de 36 ha, sendo que o estrato de 10 a 20 ha representa 50,3% do total de estabelecimentos, enquanto no Paraná esses números são respectivamente 43 ha e 41,8% (IPARDES, 2004).

A taxa de aplicação média do lodo foi de 11,6 t ha⁻¹ ST (TABELA 19). A limitação por N foi o fator que limitou a taxa de aplicação em 10% dos projetos agrônômicos, correspondendo aos elaborados para áreas que apresentavam solos com V% baixo e/ou para culturas, cujas recomendações de adubação nitrogenada eram menores. A necessidade de correção de acidez do solo utilizando-se o cálculo pelo método de saturação por bases (V%) do solo foi o fator que limitou a determinação da taxa de aplicação de lodo, em t ha⁻¹, em 90% dos projetos agrônômicos.

No presente estudo, a taxa de aplicação média, em ST, foi próxima àquela utilizada na Austrália para bio sólido estabilizado com cal, de 13 t ha⁻¹ (BEECHER, 2008) e inferior à de referência em Saskatchewan, Manitoba e Alberta no Canadá para sistemas de cultivo de trigo e canola, as quais foram, em ST, respectivamente, de 28 e 30 t ha⁻¹, utilizando para o cálculo uma demanda de N de 94 e 107 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (VAN HAM, 2008).

O interior do estado apresentou a menor média de taxa de aplicação, devido aos maiores V% dos solos aonde o lodo foi aplicado, que levaram a uma maior limitação na taxa de aplicação. O percentil 75 do V% nos solos das áreas agrícolas foi de 60,9 e de 48,4, respectivamente, no interior do estado e na RMC.

O uso do lodo de esgoto no Paraná, no período de 2011 a 2013, proporcionou aos agricultores uma redução média no custo com a compra de fertilizantes e corretivos de acidez do solo de R\$ 443,28 por hectare, obtido dos projetos agrônômicos e atualizados para novembro de 2014. Esse custo evitado foi devido ao fornecimento de nutrientes N, P, K e da correção de acidez de solo promovida pela aplicação do lodo de esgoto. O lodo aplicado nas áreas agrícolas do Paraná no período forneceu 90% do calcário (PRNT 75%), 69% do Nitrogênio, 83% do P₂O₅ e 35% do K₂O demandados pelos cultivos agrícolas deste estudo de caso.

Os níveis de indicadores bacteriológicos e de agentes patogênicos dos lotes mistos do Paraná disponibilizados ao uso agrícola no período de 2011 a 2013 corresponderam a lodo classe A (PARANÁ, 2009). A TABELA 20 apresenta um resumo dos resultados dos parâmetros de sanidade dos lotes mistos aplicados em áreas agrícolas no período.

TABELA 20 – PARÂMETROS DE SANIDADE DOS LOTES MISTOS DE LODO DE ESGOTO PRODUZIDOS NO PARANÁ, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2011 A 2013

Parâmetro	Limite Resolução Sema 021/09	Média*	Quantidade de laudos laboratoriais		
			Total	Resultados abaixo do LQ	Resultados iguais a zero
Coliformes termotolerantes (NMP g ⁻¹ de ST)	<10 ³	364	100	79	2
Ovos viáveis de helmintos (g ⁻¹ de ST)	<0,25	0,12	100	45	47
<i>Salmonella</i> sp. (em 10g ⁻¹ de ST)	ausência	-	100	26	74
Vírus (UFP ou UFFg ⁻¹ de ST)	<0,25	-	70	61	9

FONTES: O autor (2014)

NOTA: LQ - Limite de quantificação da análise laboratorial. *Média excluindo os resultados iguais a zero.

Do total de 100 lotes mistos, 30 lotes não foram caracterizados quanto a vírus (TABELA 20). No ano de 2007, a Sanepar incluiu em seus Planos de Gerenciamento de UGLs, necessários para o licenciamento das UGLs, a proposta de alteração da frequência de caracterização de vírus estabelecida pela Resolução SEMA 021/09, a

qual consistiu na caracterização do parâmetro anualmente em 25% das UGLs de cada Unidade Regional (UR) da empresa. O critério de priorização foi o porte da UGL sendo que em 4 anos seria possível a caracterização de lotes de lodo de esgoto de todas as UGLs da UR. Após este período, todos os lotes passariam a ser caracterizados quanto a vírus.

A justificativa para alteração de frequência de caracterização teve por base a comprovação, por meio de bibliografias, da eficiência do processo de estabilização alcalina na inativação de vírus entéricos; a comprovação da ausência de Enterovírus em lodo bruto e higienizado de 6 ETE do Paraná e a dificuldade de realização de análises laboratoriais do parâmetro, uma vez que foram contatados diversos laboratórios em todo o território brasileiro, no ano de 2007, obtendo-se o retorno de somente um laboratório que realizava este tipo de análise. O laboratório demonstrou-se apto a realizar a análise somente do Gênero Enterovírus com procedimentos de agendamento e envio das amostras extremamente complexos. O laboratório exigia um planejamento de envio de amostras semestral, no qual se devia programar a entrega de amostras em períodos diferentes. Quinze dias de antecedência da data programada, era necessário agendar a entrega das amostras e solicitar os frascos com meio de cultura para coleta de amostras. O laboratório limitava cada entrega a 4 amostras, as quais deveriam chegar ao laboratório num prazo máximo de 24 horas após o horário de coleta. A perda do prazo acarretaria em multa de 10% do valor da análise, que tinha em 2007 um custo aproximado de R\$ 1.200,00, mediante pagamento antecipado. O prazo de emissão dos laudos com os resultados era de 60 dias. Diante da complexidade da situação, a empresa concluiu que a realização de análises do parâmetro vírus entéricos, conforme a frequência estabelecida pela legislação comprometeria a destinação agrícola do lodo de esgoto (SANEPAR, 2008).

No período de 2011 a 2013, 54 lotes mistos destinados a uso agrícola no Paraná foram caracterizados quanto às substâncias orgânicas exigidas pela Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009). Em virtude da diminuição da frequência do número de análise de substâncias orgânicas nos lotes produzidos nas UGLs da RMC, autorizada por meio do Ofício n. 41 IAP/DIRAM/DLP de 06 de outubro de 2008 do IAP, somente 6 lotes mistos da RMC foram caracterizados quanto às substâncias orgânicas. Dos 54 lotes analisados, 52 apresentaram os resultados abaixo do limite

de quantificação laboratorial para as 34 substâncias analisadas (PARANÁ, 2009) e 2 apresentaram algumas substâncias orgânicas acima do limite de quantificação laboratorial, o lote misto B produzido na RMC da TABELA 17 e o lote de lodo misto de 2012 da UGL de Foz do Iguaçu (TABELA 21).

TABELA 21 – SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS DETECTADAS EM LOTE DE LODO DE ESGOTO MISTO PRODUZIDO NO PARANÁ, APLICADO EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2011 A 2013

Substância orgânica	Concentração (mg kg ⁻¹)		
	Lote de lodo	Aplicada no solo	Permitida no solo Resoluções Conama 375/06 e Sema 021/09
1,2,3-Triclorobenzeno	0,004	1,95x10 ⁻⁵	0,01
1,2,4-Triclorobenzeno	0,004	1,95x10 ⁻⁵	0,011
1,3,5-Triclorobenzeno	0,45	2,19x10 ⁻³	0,5
Di-n-butilftalato	0,62	3,02x10 ⁻³	0,7
Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	0,51	2,49x10 ⁻³	1,0
Dimetil ftalato	0,41	2,00x10 ⁻³	0,25
Cresóis	0,011	5,36x10 ⁻⁵	0,16

FONTE: O autor (2014)

NOTA: O cálculo da quantidade de substância orgânica aplicada no solo foi realizado utilizando a quantidade de 2 milhões de kg de solo por ha. Adotou-se a taxa de aplicação utilizada no projeto agrônômico de 9,75 t ha⁻¹.

Os resultados do cálculo teórico da concentração das substâncias orgânicas, detectadas, aplicadas no solo foram muito abaixo do limite para solo permitido pelas Resoluções Conama 375/06 e Sema 021/09 (TABELA 21). Dessa forma, não foi realizado nenhum estudo para verificar as causas da presença destes compostos nos lotes e conforme determina a Resolução Conama 375/06 orientou-se que fossem realizadas análises desses compostos no solo das áreas agrícola que receberam esses lotes de lodo de esgoto.

4.2 PARÂMETROS AGRONÔMICOS E SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS EM LOTES DE LODO DE ESGOTO DESTINADOS A USO AGRÍCOLA NO PARANÁ, NO PERÍODO DE 2007 A 2013

4.2.1 Parâmetros agronômicos dos lotes de lodo de esgoto destinados a uso agrícola no estado do Paraná, no período de 2007 a 2013

O presente item é dividido em duas partes. A primeira apresenta os resultados da avaliação dos parâmetros agronômicos dos lotes da RMC destinados a uso agrícola, no período de 2007 a 2013, uma vez que até o ano de 2010 o processo de uso agrícola ainda não estava consolidado no interior do estado. A segunda parte refere-se aos parâmetros agronômicos dos lotes de lodo de esgoto misto destinados a uso agrícola no Paraná no período de 2011 a 2013.

4.2.1.1 Parâmetros agronômicos dos lotes de lodo de esgoto da RMC destinados a uso agrícola no período de 2007 a 2013

A TABELA 22 apresenta os resultados dos parâmetros agronômicos dos lotes da RMC destinados ao uso agrícola no período de 2007 a 2013.

Os lotes de lodo de esgoto misto apresentaram a maior média de ST (TABELA 22). São possivelmente três fatores que contribuíram para esse resultado. O primeiro refere-se às características do lodo, segundo Gonçalves, Ludovice e Von Sperling, (2001) a capacidade de desaguamento varia de acordo com o tipo de lodo e de acordo com Spellman (1997), quanto maior a porcentagem de sólidos fixos no lodo, mais fácil será o processo de desaguamento desse resíduo. Observa-se na TABELA 23, a qual apresenta os resultados de uma campanha amostral de lodo bruto desaguado, sem adição de cal, em 8 ETEs da RMC, que o lodo desaguado em centrífuga da ETE Belém apresentou menor teor de ST e de SFT do lodo desaguado quando comparado

ao lodo desaguado em centrífuga das demais ETEs. Da mesma forma, entre os lodos desaguados em leitos de secagem, o lodo da ETE Cambuí apresentou o menor teor de ST e de SFT.

TABELA 22 - MÉDIA E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE PARÂMETROS AGRONÔMICOS DOS LOTES DE LODO DA RMC, HIGIENIZADOS POR ESTABILIZAÇÃO ALCALINA PROLONGADA, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013

Parâmetro	Unidade	Lotes Aeróbios (n = 84)		Lotes Mistos (n = 91)		Diferentes ⁽¹⁾	Total de Lotes (n= 175)	
		Média	CV%	Média	CV%		Média	CV%
pH _{H₂O}		11,8	7,4	11,6	8,9	Não	11,7	8,3
ST	%	34,9	31,2	50,8	27,2	Sim	43,2	29,2
SVT	(% de ST)	33,2	67,8	20,1	61,8	Sim	26,4	68,6
C _{org}		16,2	49,8	11,9	61,2	Sim	13,9	55,2
P _{total}		0,77	8,3	0,42	97,7	Sim	0,58	87,6
K _{total}		0,16	67,8	0,10	174,4	Sim	0,13	113,2
Ca _{total}		18,4	72,7	12,9	41,6	Não	15,5	65,0
Mg _{total}		3,84	93,7	6,0	49,7	Sim	4,96	66,7

FONTE: O autor (2014)

NOTA: n: número de lotes analisados, ST: sólidos totais, SVT sólidos voláteis totais, C_{org}: carbono orgânico, P: fósforo, K: potássio, Ca: cálcio, Mg: magnésio. Os parâmetros P, K, Ca, Mg, S, C_{org}, SVT são apresentados em teores totais. ⁽¹⁾ Foi aplicado o teste de Mann-Whitney para verificação da diferença entre os tratamentos ao nível de 95% de confiabilidade.

TABELA 23 - RESULTADOS DE pH, SÓLIDOS TOTAIS E SÓLIDOS FIXOS TOTAIS DAS AMOSTRAS DE LODO DE ESGOTO BRUTO DESAGUADO, COLETADAS NO PRIMEIRO TRIMESTRE DE 2014, EM OITO ETEs DA RMC

Local	Sistema de tratamento de esgoto	Sistema de desaguamento de lodo	pH	ST SFT (%)	
				ST	SFT
ETE Belém	Lodos ativados de aeração prolongada	Centrífuga	6,1	15,9	34,4
ETE Atuba Sul	UASB + Flotação por ar dissolvido	Centrífuga	7,1	20,0	49,1
ETE Santa Quitéria	UASB + Flotação por ar dissolvido	Centrífuga	6,7	17,1	57,9
ETE CIC Xisto	UASB + Lagoa	Centrífuga	7,0	19,1	52,9
ETE Fazenda Rio Grande	UASB + Lagoa	Centrífuga	6,9	20,7	57,8
ETE Colombo Sede	Ralf + Filtro Anaeróbio	Leito de secagem	6,7	35,3	57,8
ETE Cambuí	Ralf + Flotação por ar dissolvido	Leito de secagem	7,0	22,5	39,2
ETE Cachoeira	UASB	Leito de secagem	6,5	29,3	54,2

FONTE: O autor (2014)

NOTA: UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket, Ralf - Reator Anaeróbio de Lodo Fluidizado.

O segundo fator diz respeito à formação do lote de lodo, uma vez que parte do lodo que compõe os lotes de lodo misto da RMC foi proveniente de desaguamento em leito de secagem, o qual resulta em lodo com maior teor de ST (TABELA 23). O terceiro fator está relacionado ao menor número de lotes por ano nas UGLs que produzem lodo misto, o que faz com que o lodo permaneça por maior período de tempo estocado em pátio até o fechamento do lote. Neste período, a evaporação contribui para a elevação do teor de ST.

Em relação ao K, observou-se que as médias dos tratamentos são diferentes (TABELA 22). O K é solúvel e no processo de tratamento de esgoto e desaguamento do lodo ocorrem perdas significativas de potássio pela retirada de água, em que o elemento se encontra solubilizado. O maior teor de K nos lotes da UGL aeróbia pode estar relacionado ao menor teor de ST desses lotes. Os teores de K verificados no presente estudo foram semelhantes aos encontrados por Borges e Coutinho (2004); Backes *et al.* (2009); Pires *et al.* (2007) e Gomes, Nascimento e Biondi (2007).

Na TABELA 22, observa-se que as médias de pH dos lotes não se mantiveram no nível de 12 até o momento da caracterização dos lotes, fato que não comprometeu a higienização dos mesmos, uma vez que esses apresentaram níveis de sanidade equivalentes a lodo classe A (TABELA 16) de acordo com a Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006). As médias de pH e Ca dos lotes de lodo aeróbio e de lodo misto das UGLs da RMC não foram diferentes, no entanto as médias de Mg foram diferentes, fato que pode estar associado ao uso de cal com diferentes teores desta substância para higienização dos lotes de lodo (TABELA 22). Pegorini *et al.* (2006a) obtiveram níveis de pH mais elevados na mistura de cal calcítica (CaO 93%) para as mesmas dosagens das outras cales em lodo de esgoto, incluindo aquelas com maiores proporções de MgO. No mesmo estudo, os autores verificaram que os lodos mais secos (49% e 60% de ST) demandaram doses menores de CaO para alcalinização e manutenção do pH, enquanto lodos mais úmidos demandaram maiores dosagens.

No período de 2007 a 2013, do total de lotes de lodo da RMC destinados a uso agrícola, 46 lotes foram caracterizados a partir de contrato de serviços laboratoriais segundo a Instrução Técnica do IAP CEP/DTA n. 001/2002 (PARANÁ, 2002), a qual não exigia a caracterização de $N_{kjeldahl}$, $N_{amoniacal}$, Nitrato, Nitrito. O

parâmetro de caracterização de Nitrogênio destes lotes foi o N_{total} , cujos resultados seguiram distribuição normal pelo teste Shapiro-Wilk (W). Desta forma, foi aplicado o teste de t para comparação de médias a 95% de confiabilidade (TABELA 24).

TABELA 24 - MÉDIA E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL DOS LOTES DE LODO DA RMC, HIGIENIZADOS POR ESTABILIZAÇÃO ALCALINA PROLONGADA, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013

Parâmetro	Lotes Aeróbios (n = 35)		Lotes Mistos (n = 11)		Total de Lotes (n= 46)	
	Média (% de ST)	CV%	Média (% de ST)	CV%	Média (% de ST)	CV%
NTOTAL	2,18 a	31,2	1,5 b	22,1	2,0	31,3

FONTE: O autor (2014)

NOTA: n: número de lotes analisados. As médias seguidas pela mesma letra não diferiram estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste t ao nível de 95% de confiabilidade.

A TABELA 25 apresenta os resultados de $N_{kjeldahl}$, $N_{amoniacal}$, Nitrato e Nitrito, Enxofre e Sódio dos 129 lotes da RMC destinados a uso agrícola, que foram caracterizados quanto a esses parâmetros no período de 2007 a 2013.

TABELA 25 - MÉDIA E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE PARÂMETROS AGRONÔMICOS DOS LOTES DE LODO DA RMC, HIGIENIZADOS POR ESTABILIZAÇÃO ALCALINA PROLONGADA, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013

Parâmetro	Unidade	Lotes Aeróbios (n = 49)		Lotes Mistos (n = 80)		Diferentes ⁽¹⁾	Total (n= 129)	
		Média	CV%	Média	CV%		Média	CV%
$N_{kjeldahl}$	(% de ST)	1,86	49,6	1,00	64,1	Sim	1,33	57,8
$N_{amoniacal}$		0,12	177,3	0,07	138,5	Não	0,08	171,9
$N_{nitrato+nitrito}$		0,04	525,9	0,01	264,4	Não	0,02	620,8
S_{total}		0,22	106,8	1,2	70,8	Sim	0,81	83,2
N_{total}		0,09	82,4	0,09	96,2	Não	0,09	91,3

FONTE: O autor (2014)

NOTA: n: número de lotes analisados. ⁽¹⁾ Foi aplicado o teste de Mann-Whitney para verificação da diferença entre os tratamentos ao nível de 95% de confiabilidade. Cálculo considerando os limites de detecção para resultados abaixo desses limites.

As médias de SVT, C_{org} , P (TABELA 22), N_{total} (TABELA 24) e $N_{kjeldahl}$ (TABELA 25) nos lotes de lodo da UGL aeróbia apresentaram-se superiores às dos lotes de lodo misto.

Borges e Coutinho (2004) verificaram teores de N e P em lodo de processo de tratamento de esgoto aeróbio superiores aos observados por Gomes, Nascimento e Biondi (2007) em lodo de sistema contendo etapa anaeróbia de tratamento. Andreoli *et al.* (1997) verificaram que a composição do lodo bruto proveniente de sistemas com

tratamento anaeróbio de esgoto pode apresentar grandes variações em função da periodicidade de descarga do lodo do reator biológico, sendo um lodo mais mineralizado, com menor conteúdo de MO e nutrientes quando comparado ao lodo gerado exclusivamente em sistema de tratamento de esgoto aeróbio. Segundo Eckenfelder, Patoczka e Pulliam (1988) as bactérias anaeróbias contêm aproximadamente a mesma composição celular que todos os outros tipos de bactérias. A diferença é que a produção de células é menor em sistemas anaeróbicos e, portanto, os requisitos de nutrientes são proporcionalmente menor.

A diferença das médias de N_{kjeldahl} (soma de N orgânico e N_{amoniaco}) entre dos lotes de lodo (TABELA 25), possivelmente, seja explicada pelo maior teor de N orgânico nos lotes de lodo aeróbios, uma vez que as médias de N_{amoniaco} não foram diferentes.

Também não foram diferentes as concentrações de Nitrito e Nitrato ($N_{\text{NO}_2} + N_{\text{NO}_3}$), sendo que a presença desses compostos nos lotes de lodo misto pode ser explicada pela oxidação do N_{amoniaco} no período de armazenamento para cura e formação dos lotes. As médias de $N_{\text{NO}_2} + N_{\text{NO}_3}$, igualmente às do N_{amoniaco} , foram baixas, indicando uma baixa mineralização do N orgânico. A determinação destes compostos de N é necessária para realização do cálculo do N disponível (N_{disp}) no lote de lodo, conforme estabelece a Resolução Conama 375/06, no entanto, devido às baixas concentrações verificadas, poder-se-ia omitir os valores de $N_{\text{NO}_2} + N_{\text{NO}_3}$ no cálculo de determinação do N disponível. Por exemplo, ao realizar o cálculo de N_{disp} , utilizando-se um fator de mineralização (FM) de 20% e as médias observadas para lotes de lodo aeróbio e de lodo misto da RMC (TABELA 25) obtém-se respectivamente N_{disp} de 32,14 e 16,06 em kg t^{-1} , considerando os valores de $N_{\text{NO}_2} + N_{\text{NO}_3}$ e de 32,10 e 16,05 kg t^{-1} omitindo-se os valores de $N_{\text{NO}_2} + N_{\text{NO}_3}$ no cálculo.

A média de valores de N_{kjeldahl} para os tratamentos (TABELA 25), inferior à observada por Nogueira *et al.* (2010), de 2,9 a 4,1 %, para lodo da ETE Barueri, São Paulo, foi devido ao processo de higienização do lodo, uma vez que a elevação de pH provoca a perda de N por volatilização do N_{amoniaco} (CARNEIRO; SOTTOMAIOR; ANDREOLI, 2005).

As médias de Na não foram diferentes para os tratamentos. As concentrações de Na (TABELA 25) foram superiores às verificadas por Pires *et al.* (2007) e Gomes,

Nascimento e Biondi (2007) respectivamente de 0,03% e 0,01%. Em estudo da aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto, contendo 0,03% de Na, Nascimento *et al.* (2004) observaram aumentos significativos de sódio trocável apenas para o Argissolo, a partir da dose equivalente a 30 t ha⁻¹.

Em relação ao S, a média dos lotes de lodo misto apresentou-se maior que a dos lotes aeróbios (TABELA 25). Sigolo e Pinheiro (2010) sugerem que o enxofre se encontra na composição microbiológica, ao menos na sua camada superficial, de bactérias redutoras de sulfato ou oxidantes de sulfetos, normalmente encontradas no lodo de esgoto. Junio *et al.* (2012) verificaram que o teor de S na folha do milho não foi influenciado pela aplicação de composto de lodo de esgoto contendo 12,4 g kg⁻¹ de S, proveniente de reator UASB.

4.2.1.2 Parâmetros agrônômicos dos lotes de lodo de esgoto misto destinados a uso agrícola no período de 2011 a 2013 no Paraná

A TABELA 26 apresenta as médias de ST dos lotes, provenientes de UGLs que produzem lodo misto, destinados a uso agrícola no Paraná no período de 2011 a 2013. Os resultados para este parâmetro apresentaram uma distribuição normal pelo teste Shapiro-Wilk (W) e desta forma, foi aplicado o teste de t para comparação de médias a 95% de confiabilidade.

TABELA 26 - MÉDIA E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE SÓLIDOS TOTAIS DOS LOTES DE LODO MISTO, HIGIENIZADOS POR ESTABILIZAÇÃO ALCALINA PROLONGADA, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PARANÁ, DE 2011 A 2013

Parâmetro	Lotes RMC (n = 47)		Lotes Interior (n = 53)		Total de Lotes (n= 100)	
	Média (%)	CV%	Média (%)	CV%	Média (%)	CV%
ST	50,0 b	21,0	64,8 a	20,2	57,9	20,8

FONTE: O autor (2014)

NOTA: n: número de lotes analisados. ST: sólidos totais. As médias seguidas pela mesma letra não diferiram estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste t ao nível de 95% de confiabilidade.

Os lotes de lodo misto das UGLs do interior do estado apresentaram maior média de ST quando comparados aos lotes de lodo misto da RMC (TABELA 26). São possivelmente três fatores que contribuíram para esse resultado, os quais estão

relacionados principalmente com a evaporação, entre outros fatores. O primeiro refere-se à forma de desaguamento, uma vez que das 25 UGLs do interior, 22 possuem desaguamento em leito de secagem, enquanto na RMC, comparativamente, uma maior quantidade de lodo foi desaguada em centrífuga. O segundo fator está relacionado ao menor número de lotes por ano em cada UGL do interior, o que fez com que o lodo permanecesse por maior período de tempo estocado em pátio até o fechamento do lote. O terceiro fator está relacionado às condições climáticas, uma vez que a maior parte das UGLs do interior está localizada em região de clima temperado com verões quentes, enquanto as da RMC localizam-se em regiões de verões amenos (média do mês mais quente inferior a 22°C).

Devido ao menor teor médio de ST (TABELA 26), o lodo da RMC, de estado físico pastoso, não pôde ser transportado em caminhões graneleiros e ser aplicado com equipamento próprio do agricultor, como aconteceu no interior do estado. Na RMC, conseqüentemente, o transporte de lodo foi realizado em caminhões caçamba basculante e a aplicação foi com equipamentos da Sanepar, emprestados aos agricultores (FIGURA 21).

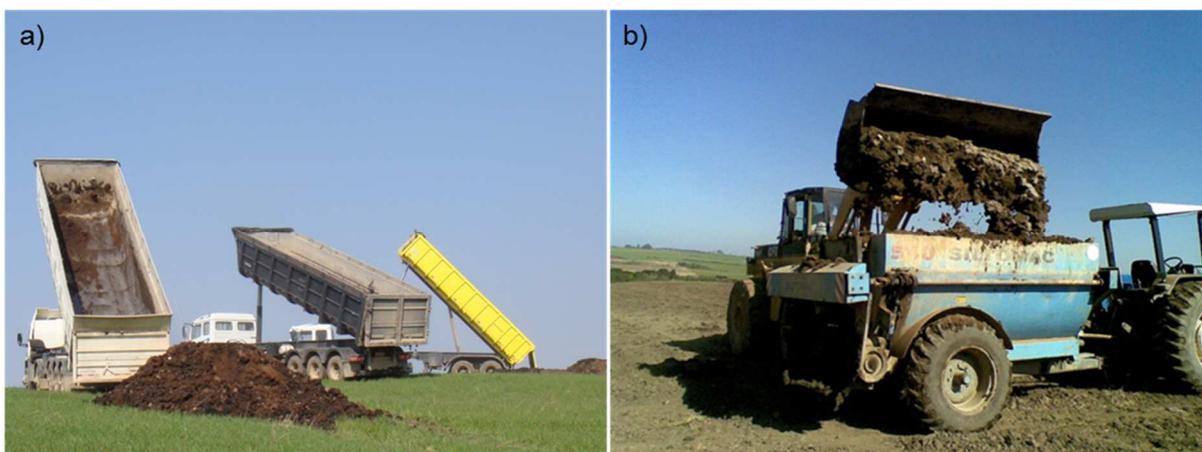


FIGURA 21 - a) CAMINHÕES CAÇAMBA BASCULANTES. b) EQUIPAMENTOS EMPRESTADOS PELA SANEPAR AOS AGRICULTORES PARA APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO
FONTE: O autor (2010)

A TABELA 27 apresenta os resultados dos demais parâmetros agronômicos dos lotes de lodo misto destinados a uso agrícola no Paraná, de 2011 a 2013.

TABELA 27 - MÉDIA E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE PARÂMETROS AGRONÔMICOS DOS LOTES DE LODO MISTO, HIGIENIZADOS POR ESTABILIZAÇÃO ALCALINA PROLONGADA, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PARANÁ, DE 2011 A 2013

Parâmetro	Unidade	Lotes RMC (n = 47)		Lotes Interior (n = 53)		Diferentes ⁽¹⁾	Total de Lotes (n= 100)	
		Média	CV%	Média	CV%		Média	CV%
pH _{H₂O}		11,7	8,0	8,2	28,2	Sim	9,8	18,4
SVT		18,3	51,0	31,0	37,0	Sim	25,0	42,4
C _{org}		12,0	67,9	16,4	66,7	Sim	14,3	68,5
N _{kjeldahl}		0,9	83,5	2,3	60,7	Sim	1,7	70,1
N _{amoniacal}		0,1	146,0	0,9	73,1	Sim	0,5	95,8
N _{nitrito+nitrato}	(% de ST)	0,01	219,1	0,2	208,9	Sim	0,12	274,4
P _{total}		0,4	71,3	0,3	49,6	Não	0,4	63,7
K _{total}		0,10	141,7	0,07	176,2	Sim	0,08	158,9
Ca _{total}		12,4	32,4	10,3	115,8	Sim	11,3	81,4
Mg _{total}		7,0	35,0	2,2	158,7	Sim	4,5	69,9
S _{total}		1,0	98,0	0,8	184,6	Não	0,9	141,6
Na _{total}		0,09	115,2	0,12	289,7	Não	0,1	248,4

FONTE: O autor (2014)

NOTA: n: número de lotes analisados. SVT sólidos voláteis totais, C_{org}: carbono orgânico, N: nitrogênio, P: fósforo, K: potássio, Ca: cálcio, Mg: magnésio, S: enxofre, Na: sódio. Os parâmetros P, K, Ca, Mg, S, C_{org}, SVT, Na e S são apresentados em teores totais. ⁽¹⁾ Foi aplicado o teste de Mann-Whitney para verificação da diferença entre os tratamentos ao nível de 95% de confiabilidade. Cálculo considerando os limites de detecção para resultados abaixo desses limites.

Observou-se (TABELA 27) que as médias de pH, SVT, C_{org}, N_{kjeldahl}, N_{amoniacal}, Nitrito e Nitrato, K, Ca e Mg dos lotes de lodo misto do interior foram diferentes daquelas dos lotes da RMC. Verificaram-se menores médias de pH, Ca e Mg no lodo das UGLs do interior, provavelmente devido às diferenças nos processos de higienização e formação dos lotes. A dosagem de cal aplicada nos lotes das UGLs do interior do estado foram próximas a 30% em relação aos ST do lodo, enquanto na RMC esta dosagem foi de cerca de 50%.

Além disso, devido ao processo de higienização adotado e a formação de um lote por ano na maioria das UGLs do interior, os lotes formados possuíam desde lodo com idade de cerca de 30 dias antes do fechamento do lote, até lodo que recebeu a mistura de cal a 10 a 11 meses, período no qual provavelmente aconteceu a redução do pH. O decréscimo de pH no lodo de esgoto, por se tratar de um material rico em MO, decorre da formação de ácidos orgânicos e reações de nitrificação de nitrogênio amoniacal (YAN; SCHUBERT; MENGEL, 1996).

As médias de pH dos lotes não se mantiveram no nível de 12 até o momento da caracterização dos lotes (TABELA 27), fato que não afetou a higienização dos

mesmos, uma vez que esses apresentaram níveis de sanidade equivalentes a lodo classe A (TABELA 20) de acordo com a Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006).

Observa-se na TABELA 27, que os lotes das UGLs do interior apresentaram médias de SVT, C_{org} , $N_{kjeldahl}$, $N_{amoniacal}$, Nitrito e Nitrato mais elevadas que as dos lotes das UGLs da RMC. A maior média de $N_{amoniacal}$ dos lotes de lodo mistos do interior pode estar relacionada à menor média de pH e conseqüente menor perda por volatilização do $N_{amoniacal}$. Enquanto as maiores médias de Nitrito e Nitrato, devido à oxidação do $N_{amoniacal}$, podem estar relacionadas ao maior período de tempo que os lotes do interior permaneceram armazenados em pátio.

O maior teor de K nos lotes das UGL do interior pode estar relacionado ao menor teor de ST desses lotes (TABELA 27). As médias de P, S e Na dos lotes de lodo das UGLs do interior não foram diferentes daquelas dos lotes das UGLs da RMC (TABELA 27).

4.2.2 Substâncias inorgânicas dos lotes de lodo de esgoto destinados a uso agrícola no estado do Paraná, no período de 2007 a 2013

No Paraná, os lodos foram gerados em ETEs cujo esgoto aflúente era essencialmente doméstico. A aceitação de efluentes industriais na rede de esgotamento doméstico da concessionária de saneamento, Sanepar, foi condicionada ao atendimento, por parte da indústria, de critérios de qualidade do efluente.

O presente item é dividido em duas partes. A primeira apresenta os resultados da avaliação de substâncias inorgânicas dos lotes da RMC destinados a uso agrícola, no período de 2007 a 2013 e a segunda parte refere-se às substâncias inorgânicas dos lotes mistos de lodo de esgoto destinados a uso agrícola no Paraná no período de 2011 a 2013.

4.2.2.1 Substâncias inorgânicas dos lotes de lodo de esgoto da RMC destinados no período de 2007 a 2013

Os resultados de substâncias inorgânicas a seguir referem-se aos lotes de lodo produzidos nas UGLs da RMC destinados ao uso agrícola no período de 2007 a 2013.

A caracterização dos lotes, inicialmente, foi realizada por meio de contrato de serviços laboratoriais segundo a Instrução Técnica do IAP CEP/DTA n. 001/2002 (PARANÁ, 2002), a qual não exigia a determinação de As, Ba, Mo e Se. Dessa forma, somente 48 dos lotes da UGL aeróbia e 79 das UGLs de lodo misto possuíam laudos com o resultado desses parâmetros.

A TABELA 28 apresenta a comparação entre os limites da Resolução Sema 021/09 com os percentis 75, 90, 95 e 99 para as substâncias inorgânicas dos lotes avaliados, cujo cálculo considerou o limite de quantificação para resultados abaixo deste limite.

TABELA 28 - PERCENTIS 75, 90, 95 e 99 DAS SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS DOS LOTES DE LODO DA RMC APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS, NO PERÍODO DE 2007 A 2013, COMPARADOS AOS LIMITES DA RESOLUÇÃO SEMA 021/09

Substância Inorgânica	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
	mg kg ⁻¹ de ST										
Percentil 75	10	190	1	65	101	1,1	10	35	29	10	501
Percentil 90	10	239	2	94	121	10	10	57	61	10	614
Percentil 95	20	275	2	107	160	10	10	71	79	14	694
Percentil 99	20	354	6	238	200	10	12	93	137	22	1118
Resolução Sema 021/09	41	1300	20	1000	1000	16	50	420	300	100	2500

FONTE: O autor (2014)

NOTA: As: Arsênio, Ba: Bário, Cd: Cádmio, Cr: Cromo, Cu: Cobre, Hg: Mercúrio, Mo: Molibdênio, Ni: Níquel, Pb: Chumbo, Se: Selênio, Zn: Zinco. Cálculo considerando os limites de detecção para resultados abaixo desses limites.

Pode ser observado na TABELA 28 que os teores de substâncias inorgânicas dos lotes de lodo destinados da RMC ao uso agrícola no período de 2007 a 2013 encontravam-se abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009), a qual é mais restritiva que a Conama 375/2006 (BRASIL, 2006) para os parâmetros Cd, Cu, Hg e Zn.

A média das concentrações das substâncias inorgânicas foram em média 91% abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009), como pode ser observado na TABELA 29. Fato que demonstra a segurança na utilização agrícola do lodo produzido nas UGLs na RMC e que comprova que o controle do recebimento de efluentes industriais na rede de esgotamento doméstico é eficaz para obtenção de lodos com baixos teores de substâncias inorgânicas.

TABELA 29 - MÉDIA DAS PORCENTAGENS DAS MÉDIAS DAS CONCENTRAÇÕES DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS ABAIXO DO LIMITE DA RESOLUÇÃO SEMA 021/09, DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO DA RMC DESTINADOS A USO AGRÍCOLA DE 2007 A 2013

Substância Inorgânica	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn	Média (%)
Abaixo do limite da Resolução Sema 021/09	89	89	97	95	92	87	92	94	90	95	85	91

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Cálculo considerando os limites de detecção para resultados abaixo desses limites.

A TABELA 30 contém as concentrações mínimas, máximas e médias, os coeficientes de variação e o número de laudos analisados para cada substância inorgânica, sendo que para esta análise estatística foram excluídos os resultados dos laudos abaixo do limite de quantificação laboratorial.

TABELA 30 - CONCENTRAÇÕES MÍNIMAS, MÁXIMAS E MÉDIAS, COEFICIENTES DE VARIAÇÃO E NÚMERO DE LAUDOS, DE LOTES DE LODO DE ESGOTO DA RMC DESTINADOS A USO AGRÍCOLA DE 2007 A 2013 COM RESULTADOS ACIMA DO LIMITE DE DETECÇÃO LABORATORIAL

Substância Inorgânica	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
Mínimo (mg kg ⁻¹ de ST)	1,1	12	0,025	0,97	1,6	0,002	0,02	2,9	1,33	6,13	9,45
Máximo (mg kg ⁻¹ de ST)	10,3	357,6	4,3	370	202,5	2,76	12,2	93,0	137,3	22,8	1299
Média (mg kg ⁻¹ de ST)	2,8	165,7	0,83	47,6	85,5	0,7	2,0	29,1	29,0	10,9	369,3
CV (%)	81,4	36,8	95,8	86,9	40,2	67,9	117,2	68,5	82,8	33,6	43.330
n. de laudos	16	113	59	169	171	77	61	155	170	33	173
Resolução Sema 021/09	41	1300	20	1000	1000	16	50	420	300	100	2500

FONTE: O autor (2014)

As concentrações das substâncias inorgânicas nos lotes de lodo de esgoto destinados a uso agrícola na RMC no período de 2007 a 2013 não apresentaram distribuição normal. Dessa forma foi aplicado o teste de Mann-Whitney para verificação da diferença entre os tratamentos ao nível de 95% de confiabilidade, conforme apresentado na TABELA 31.

TABELA 31 - MÉDIA DE CONCENTRAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO AERÓBIOS E MISTOS DA RMC QUE APRESENTARAM RESULTADOS ACIMA DO LIMITE DE DETECÇÃO LABORATORIAL, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013

Substância Inorgânica	Média (mg kg ⁻¹ ST)		nº de lotes		CV%		Diferentes (1)
	Lotes Aeróbios	Lotes mistos	Lotes Aeróbios	Lotes mistos	Lotes Aeróbios	Lotes mistos	
	As	4,8	2,2	4	12	77,2	
Ba	178,9	158,5	41	72	37,6	35,3	Não
Cd	0,83	0,82	32	27	78,3	113,3	Não
Cr	68,3	28,6	81	88	2.402	63,1	Sim
Cu	87,1	84,1	81	90	32,3	46,6	Não
Hg	0,60	0,75	28	49	76,9	62,7	Não
Mo	0,77	2,62	20	41	113,9	98,5	Sim
Ni	39,9	20,8	67	88	57,48	57,1	Sim
Pb	34,0	24,5	81	89	89,2	60,8	Não
Se	10,0	11,8	15	18	36,3	30,0	Sim
Zn	290,5	441,9	83	90	59,4	47,9	Sim

FONTE: O autor (2014)

NOTA: As: Arsênio, Ba: Bário, Cd: Cádmio, Cr: Cromo, Cu: Cobre, Hg: Mercúrio, Mo: Molibdênio, Ni: Níquel, Pb: Chumbo, Se: Selênio, Zn: Zinco. Foi aplicado o teste de Mann-Whitney para verificação da diferença entre os tratamentos ao nível de 95% de confiabilidade. Cálculo excluindo as concentrações abaixo do limite de detecção laboratorial.

Verificaram-se elevados coeficientes de variação nos resultados de concentração de substâncias inorgânicas nos lotes (TABELA 30, TABELA 31).

Os elevados coeficientes de variação, especialmente os verificados para Zn (TABELA 30) e Cr (TABELA 31), foram devido à amplitude observada entre a concentração mínima e máxima (TABELA 30). No entanto, destaca-se que, apesar desta elevada variação, as concentrações máximas estavam abaixo dos limites da legislação vigente (TABELA 30).

Segundo Berton e Nogueira (2010), é grande a variabilidade da concentração de substâncias inorgânicas em lodo de esgoto gerado em diferentes ETEs, fato verificado nos resultados de caracterização do lodo de esgoto da ETE Barueri. Segundo Pegorini *et al.* (2006b), em pesquisa de amostras de lodo de esgoto de 40 ETEs do estado do Paraná, as descargas industriais nas redes de coleta de esgoto doméstico são responsáveis pela grande variação da concentração das substâncias.

Os lotes da UGL aeróbia apresentaram médias superiores para os parâmetros Cr e Ni e médias inferiores para os parâmetros Mo, Se e Zn em relação às médias dos lotes de lodo misto da RMC (TABELA 31).

4.2.2.2 Substâncias inorgânicas dos lotes de lodo de esgoto misto do Paraná destinados ao uso agrícola no período de 2011 a 2013

Os resultados de substâncias inorgânicas a seguir referem-se aos lotes de lodo misto destinados ao uso agrícola no período de 2011 a 2013 no Paraná. A TABELA 32 apresenta a comparação entre os limites da Resolução Sema 021/09 com os percentis 75, 90, 95 e 99 para as substâncias inorgânicas dos lotes avaliados, cujo cálculo considerou o limite de quantificação para resultados abaixo deste limite.

TABELA 32 - PERCENTIS 75, 90, 95 e 99 DAS SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS DOS LOTES DE LODO MISTOS APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS DO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO DE 2011 A 2013, COMPARADOS AOS LIMITES DA RESOLUÇÃO SEMA 021/09

Substância Inorgânica	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
	mg kg ⁻¹ de ST										
Percentil 75	1,6	235	6,4	40	158	0,86	5,85	53	77	1	537
Percentil 90	10	438	13	63	251	10	10	67	125	10	695
Percentil 95	10	897	17	106	426	10	12	77	164	10	887
Percentil 99	20	1175	32	267	763	10	36	166	329	23	1028
Resolução Sema 021/09	41	1300	20	1000	1000	16	50	420	300	100	2500

FONTE: O autor (2014)

NOTA: As: Arsênio, Ba: Bário, Cd: Cádmio, Cr: Cromo, Cu: Cobre, Hg: Mercúrio, Mo: Molibdênio, Ni: Níquel, Pb: Chumbo, Se: Selênio, Zn: Zinco. Cálculo considerando os limites de detecção para resultados abaixo desses limites.

Verifica-se na TABELA 32 que percentil 99 do Cd ultrapassou o limite da Resolução Sema 021/09, este fato aconteceu com dois lotes de lodo cuja concentração de Cd foi de 27,3 e 32 mg kg⁻¹ devido a um equívoco de análise dos gestores responsáveis, os quais compararam os resultados dos laudos com os limites da Resolução Conama 375/06 de 39 mg kg⁻¹ para Cd e liberaram os lotes para uso agrícola. No entanto, cabe ressaltar que o limite de carga acumulada de ambas as Resoluções, de 4 kg ha⁻¹ não foi ultrapassado, sendo de 0,097; 0,30 e 0,35 kg ha⁻¹ nas áreas que receberam esses lotes de lodo.

A média das médias dos teores de substâncias inorgânicas dos lotes de lodo misto destinados ao uso agrícola estava 89% abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009) (TABELA 33).

TABELA 33 - MÉDIA DAS PORCENTAGENS DAS MÉDIAS DAS CONCENTRAÇÕES DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS ABAIXO DO LIMITE DA RESOLUÇÃO SEMA 021/09, DOS LOTES DE LODO DE ESGOTO DA RMC DESTINADOS A USO AGRÍCOLA DE 2007 A 2013

Substância Inorgânica	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn	Média
Abaixo do limite da Resolução Sema 021/09	95	82	78	69	87	89	92	92	82	98	83	89

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Cálculo considerando os limites de detecção para resultados abaixo desses limites.

A TABELA 34 contém as concentrações mínimas, máximas e médias, os coeficientes de variação e o número de laudos analisados para cada substância inorgânica, uma vez que para esta análise estatística foram excluídos os laudos que apresentaram resultados abaixo do limite de quantificação laboratorial.

TABELA 34 - CONCENTRAÇÕES MÍNIMAS, MÁXIMAS E MÉDIAS, COEFICIENTES DE VARIAÇÃO E NÚMERO DE LAUDOS, DE LOTES DE LODO DE ESGOTO MISTO DESTINADOS A USO AGRÍCOLA NO PARANÁ, DE 2011 A 2013 COM RESULTADOS ACIMA DO LIMITE DE DETECÇÃO LABORATORIAL

Substância Inorgânica	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
Mínimo (mg kg ⁻¹ de ST)	0,1	25	0,5	3,6	1,7	0,03	0,41	3,7	4,7	4,9	67,2
Máximo (mg kg ⁻¹ de ST)	10	1175	32	267	764	2,76	36	167	330	23	1028
Média (mg kg ⁻¹ de ST)	2,4	251	7,8	38	129	0,8	5,6	35	55	10	424
CV (%)	95,9	90	84	116	103	70	115	80	101	55	50
n. de laudos	15	92	54	98	100	31	43	98	98	8	100
Resolução Sema 021/09	41	1300	20	1000	1000	16	50	420	300	100	2500

FONTE: O autor (2014)

Os parâmetros As e Se não foram detectados respectivamente em 15% e 8% dos lotes (TABELA 34). O monitoramento dessas substâncias em biossólidos não é exigido pela Diretiva 86/278/EEC da UE (COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1986).

A TABELA 35 apresenta as médias dos parâmetros inorgânicos dos lotes de lodo misto que apresentaram teores acima do limite de quantificação laboratorial, destinados a uso agrícola no Paraná, no período de 2011 a 2013. Destaca-se que o número total de lotes mistos destinados foi de 47 e 53, respectivamente, das UGLs da RMC e do interior do estado. As concentrações das substâncias inorgânicas nesses lotes, não apresentaram distribuição normal. Dessa forma, foi aplicado o teste de Mann-Whitney para verificação da diferença entre os tratamentos ao nível de 95% de confiabilidade, conforme apresentado na TABELA 35.

TABELA 35 - MÉDIA DOS PARÂMETROS INORGÂNICOS DE LOTES DE LODO MISTO QUE APRESENTARAM RESULTADOS ACIMA DO LIMITE DE DETECÇÃO LABORATORIAL, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PARANÁ, NO PERÍODO DE 2011 A 2013

Substância Inorgânica	Média (mg kg ⁻¹ ST)		nº de lotes		CV%		Diferentes (1)
	Lotes RMC	Lotes Interior	Lotes RMC	Lotes Interior	Lotes RMC	Lotes Interior	
As	2,2	3,4	12	3	47,4	-	Não
Ba	160,5	319,9	40	52	38,0	86,5	Sim
Cd	1,3	8,9	8	46	42,5	72,1	Sim
Cr	27,0	48,2	45	53	58,0	118,8	Sim
Cu	69,3	183,2	47	53	35,1	89,6	Sim
Hg	0,83	0,03	30	1	66,2	-	Sim
Mo	3,8	7,4	21	22	66,0	112,8	Não
Ni	16,9	51,1	45	53	53,3	57,9	Sim
Pb	20,2	86,9	47	51	56,8	69,5	Sim
Se	12,2	6,8	5	3	48,9	-	Sim
Zn	392,1	451,7	47	53	46,5	51,1	Não

FONTE: O autor (2014)

NOTA: As: Arsênio, Ba: Bário, Cd: Cádmio, Cr: Cromo, Cu: Cobre, Hg: Mercúrio, Mo: Molibdênio, Ni: Níquel, Pb: Chumbo, Se: Selênio, Zn: Zinco. Foi aplicado o teste de Mann-Whitney para verificação da diferença entre os tratamentos ao nível de 95% de confiabilidade. Cálculo excluindo as concentrações abaixo do limite de detecção laboratorial.

As médias dos lotes mistos do interior para as substâncias inorgânicas: Ba, Cd, Cr, Cu, Ni e Pb foram superiores às médias dos lotes produzidos nas UGLs da RMC. (TABELA 35). Pegorini *et al.* (2006b) observaram valores superiores em lodo de esgoto no Paraná, para os elementos Cr, Cu, Ni, Pb e Zn nas regiões derivadas de basalto, cujos solos tipicamente contém maiores concentrações destes elementos. Para os parâmetros Hg e Se a média das concentrações dos lotes mistos da RMC foi superior aos lotes do interior do estado.

No cálculo de determinação da taxa de aplicação de lodo para as áreas agrícolas no período, o critério de acúmulo de substâncias inorgânicas no solo não foi o fator limitante em nenhuma das recomendações agronômicas elaboradas.

4.3 SORÇÃO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS DA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06 EM LODO DE ESGOTO

4.3.1 Remoção de compostos orgânicos em estações de tratamento de esgoto

Uma grande variedade de compostos orgânicos antropogênicos regularmente entra nos sistemas de tratamento de esgoto doméstico, incluindo hormônios, compostos farmacêuticos, produtos de higiene pessoal, produtos químicos domésticos e industriais, entre outros (HALLING-SØRENSEN *et al.*, 1998; KOLPIN *et al.*, 2002; MCARDELL *et al.*, 2003; HYLAND *et al.*, 2012).

Pesquisas em diferentes países têm mostrado uma redução significativa na concentração de compostos orgânicos na fase líquida durante o tratamento do esgoto (TERNES, 1998; STUMPF *et al.*, 1999; HEBERER, 2002; GOLET *et al.*, 2003; TERNES *et al.*, 2004). Na ETE, os mecanismos de remoção desses compostos incluem a degradação química (por processo abiótico, como a hidrólise), biodegradação, volatilização e a sorção à fase sólida do tratamento (ROGERS, 1996; STEVENS-GARMON *et al.*, 2011; HYLAND *et al.*, 2012).

Os dois principais processos responsáveis pela redução da concentração dos compostos orgânicos na fase aquosa, durante o tratamento de esgoto, são: a biodegradação e a sorção à fase sólida. A volatilização não é um processo importante na remoção dos compostos polares, solúveis em água (SCHWARZENBACH *et al.*, 2003; HYLAND *et al.*, 2012). Stevens-Garmon *et al.* (2011) verificaram, em estudo de sorção em lodo, que a maioria dos 34 compostos orgânicos pesquisados possuía uma constante de Henry (H), coeficiente de particionamento gás-água, baixa, indicando que a volatilização é insignificante como um mecanismo de remoção para esses compostos. Segundo Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (1992, citado por MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010) quando a pressão de vapor é relativamente alta com relação a sua solubilidade em água, a constante da Lei de Henry também é alta e o composto volatilizará, de acordo com a seguinte relação:

- não volátil: $< 3 \times 10^{-7} \text{ atm m}^3 \text{ mol}^{-1}$;
- baixa volatilidade: de 3×10^{-7} a $1 \times 10^{-5} \text{ atm m}^3 \text{ mol}^{-1}$;
- volatilidade moderada: de 1×10^{-5} a $1 \times 10^{-3} \text{ atm m}^3 \text{ mol}^{-1}$;
- alta volatilidade: $> 1 \times 10^{-3} \text{ atm m}^3 \text{ mol}^{-1}$.

A biotransformação é, muitas vezes, o processo de remoção dominante para alguns compostos orgânicos (CLARA *et al.*, 2005; URASE; KIKUTA, 2005; JOSS *et al.*, 2006; WICK *et al.*, 2009). No entanto, uma determinação exata das taxas de biodegradação é difícil devido à geração de um grande número de produtos de degradação (TERNES *et al.*, 2004).

Com o objetivo de verificar o potencial de biodegradação de compostos orgânicos, Joss *et al.* (2006) determinaram a constante de degradação de pseudo-primeira ordem (k_{biol}) para 35 COE, estabelecendo a seguinte relação para k_{biol} :

- $k_{\text{biol}} < 0,1 \text{ L g}_{\text{SST}}^{-1} \text{ dia}^{-1}$: não ocorre significativa remoção por biodegradação ($< 20\%$);
- $k_{\text{biol}} > 0,1$ e $< 10 \text{ L g}_{\text{SST}}^{-1} \text{ dia}^{-1}$: compostos moderadamente removidos por biodegradação (remoção entre 20 e 90%) e
- $k_{\text{biol}} > 10 \text{ L g}_{\text{SST}}^{-1} \text{ dia}^{-1}$: mais de 90% de remoção por degradação biológica, a eficiência da degradação depende fortemente da configuração do reator biológico.

A transformação de compostos orgânicos em ETEs é dependente das propriedades físico-químicas do composto e das condições de tratamento do esgoto (XIA; BHANDARI; PILLAR, 2005). Segundo Jørgensen e Halling-Sørensen (2000) durante o processo de tratamento de esgoto, o composto original pode ser: a) completamente transformado em CO_2 , b) parcialmente transformado, gerando metabólitos, ou c) inalterado.

Em situação de degradação anaeróbia não é provável que aconteça a biodegradação para os compostos orgânicos persistentes (LEITE; AFONSO; AQUINO, 2010; TERNES *et al.*, 2004). A baixa biodegradabilidade anaeróbia dos compostos orgânicos persistentes provavelmente decorre da presença dos anéis aromáticos fenólicos em suas estruturas, que são mais dificilmente degradados na ausência de oxigênio dissolvido (AQUINO; BRANDT; CHERNICHARO, 2013).

Para alguns compostos orgânicos, são as características físico-químicas do composto que determinam o mecanismo de remoção na ETE, não sendo influenciado pelas condições de tratamento do esgoto. Suárez *et al.* (2008) verificaram eficiências de remoção de diclofenaco, ibuprofeno e fragrâncias bastante semelhantes para ETEs de diversos países, indicando que a configuração específica de cada ETE não afetou a remoção destes compostos durante o tratamento de esgoto.

Os tempos de detenção hidráulica podem ser menores que os tempos de meia-vida (o tempo que leva para que 50% do composto seja degradado) para compostos orgânicos que entram em ETEs (HALLING-SØRENSEN *et al.*, 1998), resultando em descarte de compostos orgânicos solúveis no efluente, antes da degradação acontecer. Em uma ETE, devido à recirculação do lodo entre as unidades de tratamento, o tempo de residência dos sólidos biológicos (idade do lodo) é superior ao tempo de retenção hidráulica da fase líquida, podendo chegar a até 30 dias (HAMMER; HAMMER, 2001). Entretanto, a idade do lodo ainda pode ser menor que a meia vida de alguns compostos orgânicos, como alguns produtos farmacêuticos (HALLING- SØRENSEN *et al.*, 1998).

Em uma ETE, a taxa de remoção de compostos orgânicos da fase líquida devido à sorção à fase sólida pode ser prevista com base nos valores do coeficiente de distribuição sólido-água, K_d (SCHWARZENBACH *et al.*, 2003; TERNES *et al.*, 2004, CARBALLA *et al.*, 2007), no qual para um composto em condições de equilíbrio, a concentração do composto sorvido no lodo (C_{sorvido}) é proporcional à sua concentração na solução ($C_{\text{solúvel}}$):

$$C_{\text{sorvido}} = K_d \text{ SST } C_{\text{solúvel}} \quad (\text{EQUAÇÃO 4})$$

Onde:

C_{sorvido} é a concentração do composto sorvida sobre o lodo ($\mu\text{g L}^{-1}$);

K_d é o coeficiente de distribuição sólido-água do composto (L kg^{-1});

SST é a concentração de sólidos em suspensão no esgoto bruto ou produção de sólidos em suspensão no tratamento primário e/ou secundário por litro de esgoto (kg L^{-1}) e

$C_{\text{solúvel}}$ é a concentração dissolvida do composto ($\mu\text{g L}^{-1}$).

Compostos orgânicos hidrofóbicos, não ionizados, possuem característica de partição à MO e essa separação pode ser prevista utilizando o K_d , obtido a partir do

coeficiente de distribuição normalizado para o teor de carbono orgânico, K_{oc} (SCHWARZENBACH *et al.*, 2003):

$$K_d = f_{oc}K_{oc} \quad (\text{EQUAÇÃO 5})$$

Onde:

K_d é o coeficiente de distribuição sólido-água do composto ($L\ kg^{-1}$); K_{oc} é o coeficiente de distribuição normalizado pelo carbono orgânico ($L\ kg_{oc}^{-1}$) e f_{oc} é a fração de carbono orgânico presente no sólido ($kg_{oc}\ kg_{solid}^{-1}$).

O coeficiente de partição octanol-água, K_{ow} , é um parâmetro usado na descrição do comportamento de uma substância orgânica no ambiente, sendo uma medida de hidrofobicidade. Dessa forma, o K_{ow} tem sido amplamente utilizado para estimar K_{oc} (MATTER-MÜLLER *et al.*, 1980; SABLJIĆ *et al.*, 1995; SCHWARZENBACH *et al.*, 2003; STEVENS-GARMON *et al.*, 2011; HYLAND *et al.*, 2012):

$$\log K_{oc} = a \log K_{ow} + b \quad (\text{EQUAÇÃO 6})$$

Onde:

K_{ow} é o coeficiente de partição octanol-água, a e b são constantes estimadas a partir de dados empíricos e K_{oc} é o coeficiente de distribuição normalizado pelo carbono orgânico ($L\ kg_{oc}^{-1}$).

O K_{ow} é adimensional e relaciona as concentrações de um soluto em água e em octanol. O composto octanol é um solvente orgânico utilizado para prever a partição de compostos orgânicos entre a fase orgânica natural, principalmente em solos e sedimentos, e a água (SCHWARZENBACH *et al.*, 2003).

O K_{ow} é utilizado para prever a sorção não específica de um composto na MO, servindo para identificar se o composto tem caráter hidrofóbico, ou seja, é propenso a partição à MO e, em alguns casos, propenso a partição em organismos vivos (bioacumulação). Para determinar se este descritor também pode estar relacionado com a sorção de compostos orgânicos em sólidos de lodo de esgoto, utiliza-se o valor K_{oc} que é o coeficiente de distribuição normalizado pelo carbono orgânico (EQUAÇÃO 6). A determinação de K_{oc} , com base em valores de K_{ow} , considera a premissa de que a sorção inespecífica de compostos orgânicos não iônicos à MO pode ser aproximada pela compartimentação desses compostos na fase hidrofóbica do octanol (HYLAND *et al.*, 2012).

A tendência dos compostos orgânicos para acumular nos sólidos de lodo de esgoto pode ser avaliada usando as seguintes relações (ROGERS, 1996):

$\log K_{ow} < 2,5$: baixo potencial de sorção;

$\log K_{ow} > 2,5$ e $< 4,0$: médio potencial de sorção e

$\log K_{ow} > 4,0$: alto potencial de sorção

Segundo Hyland *et al.* (2012) a previsão de sorção em lodos com base nos valores K_{ow} é uma abordagem razoável para compostos orgânicos neutros, no entanto, a sorção ao lodo de substâncias orgânicas com carga pode ser regulada por interações eletrostáticas.

Ternes *et al.* (2004) verificaram que a composição e o pH do lodo são determinantes nos casos de interações específicas de sorção. Um exemplo desta situação foi observado no estudo para o fármaco diclofenaco que, no lodo primário, com pH 6,6, apresentou um alto coeficiente de sorção ($K_d = 459 \pm 32 \text{ L kg}^{-1}$) e no lodo secundário, de pH 7,5, apresentou um baixo valor de K_d ($K_d = 16 \pm 3 \text{ L kg}^{-1}$), sugerindo que uma maior proporção de diclofenaco é protonada a pH 6,6 do que a pH 7,5. Com base neste estudo, Ternes *et al.* (2004) relacionaram o K_d a dois mecanismos principais, os quais são:

- . Absorção: interações hidrofóbicas de grupos alifáticos e aromáticos de um composto com a membrana celular lipofílica dos microrganismos e as frações lipídicas do lodo. Está relacionada com a lipofilicidade da substância, caracterizada pelo coeficiente K_{ow} .
- . Adsorção: interações eletrostáticas de grupos químicos carregados positivamente com as superfícies de carga negativa da superfície dos microrganismos. Está associada à tendência de uma substância a ser ionizada ou dissociada em fase aquosa, a qual é caracterizada pela constante de dissociação (pK_a).

Dessa forma, o potencial de sorção de um composto orgânico é uma função tanto do seu carácter lipofílico (K_{ow}), como de acidez (pK_a). A sorção de compostos orgânicos com carga nos sólidos de lodo não se correlaciona com a sua hidrofobicidade, como acontece com os compostos neutros. Isso implica que interações eletrostáticas podem estar dirigindo a sorção, mas não é possível

determinar de forma exata a natureza específica destes mecanismos (HYLAND *et al.*, 2012).

Para os compostos orgânicos emergentes (COE) que contêm grupos funcionais que podem ser protonados e desprotonados, o pH do lodo pode ter um papel crucial (TERNES *et al.*, 2004; JONES; VOULVOULIS; LESTER, 2006; CARBALLA *et al.*, 2008; HÖRSING *et al.*, 2011). Assim, para os compostos ácidos e básicos o coeficiente de distribuição octanol-água dependente do pH (D_{ow}) é, respectivamente, determinado pelas equações a seguir (SCHWARZENBACH *et al.*, 2003):

$$\log D_{ow} = \log K_{ow} + \log (1/(1 + 10^{pH - pK_a})) \quad (\text{EQUAÇÃO 7})$$

$$\log D_{ow} = \log K_{ow} + \log (1/(1 + 10^{pK_a - pH})) \quad (\text{EQUAÇÃO 8})$$

Hyland *et al.* (2012), numa pesquisa com 19 COE (incluindo anti-inflamatórios, tranquilizantes, antidepressivos), observaram, para compostos orgânicos não ionizados uma correlação entre $\log K_{oc}$ e $\log K_{ow}$ e para compostos aniônicos, quando o $\log D_{ow}$ era superior a 2, uma correlação entre $\log K_{oc}$ e $\log D_{ow}$. A mesma situação foi verificada por Stevens-Garmon *et al.* (2011) para COE negativamente carregados com valores de $\log D_{ow} > 2$, os quais seguiram a mesma tendência de sorção ao lodo determinada para as espécies neutras.

As diferentes composições de lodos, lodo primário, lodo secundário e lodo digerido podem gerar diferenças nos valores de K_d para um mesmo composto. Ao verificar que os valores de K_d de alguns fármacos foram diferentes em lodos primários e em secundários, Ternes *et al.* (2004) concluem que a composição e o pH do lodo influencia na sorção dos compostos que possuem interações eletrostáticas específicas de sorção, sendo que no lodo secundário os microrganismos representam a maior parte dos sólidos em suspensão, enquanto o lodo primário contém menor quantidade de microrganismos e grande fração de lipídios.

Outros autores não observaram diferenças significativas nos valores de K_d para um mesmo composto em lodos de diferentes origens. Stevens-Garmon *et al.* (2011) não verificaram diferença na sorção de 34 COE avaliados em sólidos de lodos primários e de lodos ativado (lodo secundário) de uma mesma ETE e entre sólidos de lodos ativados provenientes de tanques nitrificação de ETEs diferentes.

Hyland *et al.* (2012) não encontraram diferenças significativas entre os valores de $\log K_d$, em estudo sobre sorção de COE em lodos secundários (lodos ativados) de seis diferentes ETEs dos EUA, sendo que os valores eram semelhantes aos descritos na literatura para lodos secundários. Os resultados deste estudo mostraram pouca variação nas propriedades da fase sólida (f_{oc} e Capacidade de Troca de Cátions- CTC) dos lodos amostrados, apesar de diferenças de localização geográfica e de condições operacionais das ETEs. A fração de carbono orgânico (f_{oc}) de todas as amostras de sólidos variou entre 43% e 47%, com uma média de $44 \pm 1\%$. Da mesma forma, os valores de CTC dos sólidos dos lodos estudados não diferiram estatisticamente entre si, sendo encontrados valores de 54 a 75 cmol dm^{-3} . Os autores concluem que essas propriedades não seriam adequadas para prever a sorção de COE na fase sólida de lodo de esgoto.

Em experimento com três reatores idênticos de lodos ativados operados em escala de bancada, diferindo apenas na idade do lodo (3, 7 e 17 dias) e utilizando compostos ácido, neutro e básico representativos, Hyland *et al.* (2012) verificaram um padrão semelhante de sorção sem correlação linear de valores $\log K_d$ com a idade do lodo.

4.3.2 Características dos compostos orgânicos da Resolução Conama 375/06

A TABELA 36 apresenta as propriedades físico-químicas dos compostos orgânicos contidos na Resolução Conama 375/06, relacionadas ao seu potencial de sorção ao lodo.

TABELA 36 - PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS LISTADOS NA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06

Compostos	CAS n.	S (mg L ⁻¹)	H (atm m ³ mol ⁻¹)	Log K _{ow}
BENZENOS CLORADOS				
1,2-Diclorobenzeno	95-50-1	156	0,00192	3,43
1,3-Diclorobenzeno	541-73-1	125	0,00263	3,53
1,4-Diclorobenzeno	106-46-7	81,3	0,00241	3,44
1,2,3-Triclorobenzeno	87-61-6	18	0,00125	4,05
1,2,4-Triclorobenzeno	120-82-1	49	0,00142	4,02
1,3,5-Triclorobenzeno	108-70-3	6,01	0,00189	4,19
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	634-66-2	5,92	0,00076	4,60
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	95-94-3	0,595	0,00100	4,64
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	634-90-2	5,1	0,00158	4,56
ÉSTERES DE FTALATOS				
Di-n-butilftalato	84-74-2	11,2	0,00000181	4,5
Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	117-81-7	0,27	0,00000027	7,6
Dimetil ftalato	131-11-3	4000	0,000000197	1,6
FENÓIS NÃO CLORADOS				
Cresóis	1319-77-3	9066	0,000000619	1,95
FENÓIS CLORADOS				
2,4-Diclorofenol	120-83-2	5550	0,00000348	3,06
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	800	0,0000026	3,69
Pentaclorofenol	87-86-5	14	0,000000245	5,12
HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS (HPAs)				
Benzo(a)antraceno	56-55-3	0,0094	0,000012	5,76
Benzo(a)pireno	50-32-8	0,00162	0,000000457	6,13
Benzo(k)fluoranteno	207-08-9	0,0008	0,000000584	6,11
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	193-39-5	0,00019	0,000000348	6,70
Naftaleno	91-20-3	31	0,00044	3,30
Fenantreno	85-01-8	1,15	0,0000423	4,46
POLUENTES ORGÂNICOS PERSISTENTES (POPs)				
Aldrin	309-00-2	0,017	0,000044	6,50
Hexaclorobenzeno	118-74-1	0,0062	0,0017	5,73
Clordano	12789-03-6	0,01299	0,0000703	6,26
DDT	50-29-3	0,0055	0,00000832	6,91
Dieldrin	60-57-1	0,195	0,00001	5,40
Dioxinas	1746-01-6	0,0002	0,00005	6,80
Endrin	72-20-8	0,25	0,00000636	5,20
Furanos	51207-31-9	0,000692	0,0000167	6,53
Heptacloro	76-44-8	0,18	0,000294	6,10
Mirex	2385-85-5	0,085	0,000811	6,89
PCB	1336-36-3	0,7	0,000415	7,10
Toxafeno	8001-35-2	0,55	0,000006	5,90

FONTE: Brasil (2006); SRC (2014)

Verifica-se na TABELA 36 que os benzeno clorados apresentam valores da constante Henry (H) acima de 10^{-3} atm m³ mol⁻¹ correspondendo a uma alta volatilidade (ATSDR,1992, *apud* MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010) e que para os diclorobenzenos os valores de log K_{ow} correspondem a um médio potencial de sorção ao lodo (ROGERS, 1996). Dessa forma, caso estejam presentes no esgoto, não é provável que ocorra a sorção destes compostos ao lodo. Segundo ATSDR (2006) a

maior parte dos diclorobenzenos liberada ao ambiente está em forma de vapor e não se dissolve na água, evaporando-se rapidamente. Os três isômeros de triclorobenzenos são substâncias voláteis e podem, portanto, particionar para o ar quando liberado para o meio ambiente.

Observa-se na TABELA 36 que os compostos dimetil ftalato e cresóis apresentam valores de log K_{ow} correspondentes a um baixo potencial de sorção ao lodo (ROGERS, 1996), bem como apresentam solubilidade em água.

Os compostos 2,4-Diclorofenol, 2,4,6-Triclorofenol e naftaleno, de acordo com os valores de log K_{ow} , são classificados como compostos com médio potencial de sorção ao lodo (TABELA 36).

Dos compostos apresentados na TABELA 36 os POPs são os que apresentam maior hidrofobicidade e devido a sua persistência, como pode ser observado nos tempos de meia-vida apresentados na TABELA 37, esses compostos tiveram sua produção e seu uso suspensos.

TABELA 37 - CARACTERÍSTICAS DOS POLUENTES ORGÂNICOS PERSISTENTES

Composto	Massa Molar	Pressão de vapor (mm Hg)	Log K_{oc}	Meia vida (dias)
Aldrin	364,93	$1,2 \times 10^{-4}$ (25°C)	7,76	730 - 14245
HCB	284,79	$1,73 \times 10^{-8}$ (25°C)	6,08	365 - 7305
Clordano	409,8	$2,2 \times 10^5$ a $2,9 \times 10^5$ (25°C)	3,49 - 5,57	730 - 5479
DDT	355,49	$1,60 \times 10^{-7}$ (20°C)	5,18	730 - 14245
Dieldrin	380,93	$5,89 \times 10^{-6}$ (25°C)	6,67	3652 - 4383
Dioxinas	459,8	$7,4 \times 10^{-10}$ (25°C)	-	> 4383
Endrin	380,93	$2,7 \times 10^{-7}$ (25°C)	5,2	3650 - 4383
Furanos	68,08	$3,3 \times 10^{-5}$	-	986 - 8336
Heptacloro	373,5	3×10^{-4} (20°C)	4,34	> 730
Mirex	545,50	3×10^{-74} (25°C)	3,763	4383
PCB	188,7 - 498,7	4×10^{-4} a $6,7 \times 10^{-3}$ (25°C)	-	10 - 548
Toxafeno	414 - 413,8	3×10^{-7} (25°C)	3,69	100 - 4383

FONTE: adaptado de Felix, Navickiene e Dórea (2007)

4.3.3 Sugestões para adequações na Resolução Conama 375/06 quanto aos compostos orgânicos a serem caracterizados em lodo de esgoto

No estado do Paraná, dos 228 lotes de lodo de esgoto destinados a uso agrícola no período de 2007 a 2013, 66 lotes foram caracterizados quanto às

substâncias orgânicas exigidas pela Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006). Desses 66 lotes, 63 apresentaram os resultados abaixo do limite de quantificação laboratorial para as 34 substâncias analisadas e 3 apresentaram substâncias orgânicas acima do limite de quantificação laboratorial (TABELA 38).

TABELA 38 - SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS DETECTADAS EM LOTES DE LODO DE ESGOTO PRODUZIDOS NA RMC, APLICADOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS NO PERÍODO DE 2007 A 2013

Substância Orgânica	Unidade	Lote		
		A	B	C
1,2-Diclorobenzeno		-	0,03	-
1,2,3-Triclorobenzeno		-	-	0,004
1,2,4-Triclorobenzeno		-	-	0,004
1,3,5-Triclorobenzeno		-	-	0,45
Di-n-butilftalato		-	-	0,62
Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	mg kg ⁻¹	-	-	0,51
Dimetil ftalato		-	-	0,41
Cresóis		0,048	0,447	0,011
2,4,6-Triclorofenol		0,369	-	-
Pentaclorofenol		0,139	-	-
Fenantreno		0,133	-	-
Dioxinas e furanos		-	0,000005	-

FONTE: O autor (2014)

Destaca-se, conforme apresentado nas TABELAS 17 e 21, que o cálculo teórico da concentração das substâncias orgânicas, detectadas (TABELA 38), aplicadas no solo resultaram em níveis muito abaixo do limite para solo permitido pelas Resoluções Conama 375/06 e Sema 021/09.

Verifica-se na TABELA 38 que foram detectados em três lotes de lodo de esgoto compostos benzeno clorados; dimetil ftalato e cresóis; e 2,4,6-Triclorofenol, apesar dos primeiros possuírem alta volatilidade e baixo a médio potencial de sorção ao lodo, dos segundos apresentarem baixo potencial de sorção ao lodo e solubilidade em água e do terceiro possuir médio potencial de sorção ao lodo.

Dessa forma, recomenda-se a realização de estudos sobre o comportamento desses compostos orgânicos no tratamento de esgoto e do lodo, de modo a verificar a necessidade ou não dos mesmos constarem da lista de substâncias orgânicas da Resolução Conama 375/06. Da mesma forma, em relação aos compostos que apresentam alto potencial de sorção ao lodo de esgoto, caso estejam presentes no esgoto, é necessário realizar pesquisas que levem em conta características físico-

químicas desses compostos que podem conduzir a sua remoção durante o tratamento do lodo para uso agrícola.

Pesquisas demonstram que quando irradiado com luz de comprimento de onda superior a 285 nm, o 1,2,3,5-tetraclorobenzeno foi degradado em 66% em uma solução de água, o que sugere que a fotólise em águas de superfície seja um importante fator de remoção do composto (TCI AMERICA, 2014). Segundo ATSDR (2001) o di-n-butil ftalato pode ser liberado para atmosfera como vapor, onde geralmente é degradado em poucos dias. No ambiente aquático o composto adere ao sedimento e sofre degradação biológica.

Jianlong *et al.* (2000) em estudo de digestão anaeróbia de lodo verificaram que o dimetil ftalato e di-n-butil ftalato foram degradados rapidamente, com mais de 90% de remoção dos compostos em menos de 4 dias e 7 dias, respectivamente. Lau, Chu e Graham (2005) sugerem que o uso de radiação UV em água ou de tratamento de esgoto (por exemplo, como geralmente aplicada para a desinfecção) tem efeito benéfico na redução das concentrações de di-n-butil ftalato.

Diversos experimentos indicam que os cresóis são degradados por microrganismos em sistemas de lodos ativados com meia-vida entre menos de 24 horas a menos de 7 dias. Em contraste, em condições anaeróbias de sedimentos de água doce a degradação não parece ser tão rápida, embora exista pouca informação disponível (ATSDR, 2008). Kennes, Mendez e Lema (1997) concluíram que a biodegradação contínua de p-cresol pode ser realizada em reatores UASB.

Num estudo utilizando pentaclorofenol radiomarcado o composto foi degradado em tratamento por lodos ativados (ARSENAULT, 1976). O pentaclorofenol também é degradado em condições anaeróbias em lodo de esgoto e sedimentos (HENDRIKSEN; LARSEN; AHRING, 1991).

A solubilidade dos HPAs é maior para os que possuem menor número de anéis aromáticos e de massa molecular do composto, sendo o naftaleno o mais solúvel dos HPAs da Resolução Conama 375/06. Os HPAs mais susceptíveis à biodegradação são aqueles com estrutura mais simples (PEREIRA NETTO *et al.*, 2000).

Segundo Beecher (2008) a compreensão científica sobre contaminantes químicos presentes em biossólido aplicado no solo está bem desenvolvida e existem

países consideraram desnecessária a inclusão de contaminantes orgânicos, como os poluentes prioritários, na regulamentação de uso agrícola.

Diferentemente de outros países (IRANPOUR *et al.*, 2004; BEECHER, 2008; CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT; 2010), no Brasil, como já apresentado, é grande o número de compostos orgânicos que devem ser determinados, por força de lei, além disso, tem-se o agravante do elevado custo das análises laboratoriais para caracterização desses compostos e de que a maior parte das cidades brasileiras não dispõem de laboratórios que possam realizar estas análises laboratoriais.

Uma vez que estão listados compostos orgânicos industriais e agrotóxicos (BRASIL, 2006), a presença e a concentração desses compostos no lodo será resultante principalmente da existência de efluentes industriais na rede de esgotamento sanitário (ROGERS *et al.*, 1989; WANG; JONES, 1994; CETESB, 2009). Dessa forma, o controle por parte das empresas de saneamento no recebimento de efluentes não domésticos na rede de esgoto é a forma mais eficiente para prevenção da contaminação do lodo por estes poluentes.

Sampaio (2013) considera que a razão da Resolução Conama 375 exigir o monitoramento de substâncias orgânicas no lodo, sem estabelecer limites, possa estar relacionada à necessidade de dados sobre a presença e concentração destas substâncias no lodo produzido no Brasil. No entanto, o autor sugere a realização de campanhas de monitoramento, em nível nacional, de lodos oriundos de diversas tipologias de sistemas de esgotamento sanitário como forma mais adequada para a obtenção dessa informação, visto que as determinações analíticas destas substâncias requerem sofisticados métodos laboratoriais e possuem elevado custo.

Apesar do §4º do art. 7º da Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006) estabelecer que as UGLs podem requerer, junto ao órgão ambiental, dispensa ou alteração da lista de substâncias orgânicas a serem analisadas nos lotes de lodo em função das características específicas da bacia de esgotamento sanitário e dos efluentes recebidos, considera-se que, no caso do Paraná, devido ao grande número de UGLs licenciadas esse processo de solicitação seria burocrático e demorado, pois requerer estudos específicos de cada UGL. Dessa forma, seria mais adequado que a Resolução em seu texto estabelecesse os critérios que definissem os casos onde é

necessária a análise ou não de compostos orgânicos no lodo. Um desses critérios poderia ser a variação na qualidade do esgoto afluyente a ETE ou ETEs que compõem a UGL, a exemplo do estabelecido pela Diretiva Europeia que relaciona as variações na qualidade do esgoto afluyente com a frequência das análises (COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1986). A sugestão seria estabelecer uma caracterização inicial dos poluentes orgânicos no lodo e caso ocorra uma variação da qualidade do esgoto afluyente, em relação a parâmetros de fácil determinação como pH, DQO, cor e temperatura, exigir-se-ia o monitoramento dos compostos no lodo. No entanto, para isso é necessário o desenvolvimento de estudos que relacionem estes parâmetros.

É necessária a revisão da Resolução quanto aos compostos orgânicos listados, com base em estudos que levem em conta as propriedades físico-químicas (volatilização, sorção, acidez, etc.) dos compostos orgânicos, as quais permitem compreender os mecanismos de remoção dos compostos orgânicos durante o tratamento do esgoto (ROGERS, 1996; TERNES, 1998; STUMPF *et al.*, 1999; HEBERER, 2002; GOLET *et al.*, 2003; TERNES *et al.*, 2004; STEVENS-GARMON *et al.*, 2011; HYLAND *et al.*, 2012). Dos compostos orgânicos listados na Resolução, os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), os ésteres de ftalato e os POPs são os que apresentam hidrofobicidade e, portanto potencial de sorção ao lodo durante o processo de tratamento de esgoto (TABELA 36). É importante destacar que os POPs têm sua fabricação e uso proibidos no Brasil, dessa forma não poderiam estar presentes no lodo de esgoto, com exceção do hexaclorobenzeno, bifenilas policloradas, dioxinas e furanos, os quais são poluentes não intencionais ou seja são subprodutos da fabricação de outros compostos. Dessa forma, deveriam ser retirados da lista de substâncias orgânicas os POPs que tem a fabricação proibida no Brasil.

Semelhante a estudos realizados por Trably, Patureau e Delgenes (2004); Bagó *et al.* (2005); Benabdallah El-Hadj, Dosta e Mata-Alvarez (2006); Trably e Patureau (2006); Bernal-Martinez *et al.* (2007) e Cai *et al.* (2012), pesquisas brasileiras devem ser desenvolvidas com o objetivo de verificar, no caso de uso agrícola, se processos de tratamento do lodo de esgoto, como o desaguamento, a digestão aeróbia e anaeróbia, a secagem térmica, a compostagem e a estabilização alcalina, promovem a remoção dos compostos sorvidos ao lodo. Outro exemplo é o caso do

desaguamento em leito de secagem, no qual a degradação dos compostos orgânicos pode ser promovida por fatores como a radiação solar, temperatura e tempo de permanência do lodo no leito.

Os resultados destes estudos poderiam ser utilizados para avaliar o destino dos compostos orgânicos durante o tratamento do esgoto e do lodo e auxiliar na revisão dos critérios da Resolução, visando o estabelecimento de procedimentos que favoreçam a remoção de tais compostos, de modo a evitar dispendiosas e demoradas análises laboratoriais.

4.4 A RESOLUÇÃO CONAMA 375/06 E SUA APLICABILIDADE NA GESTÃO DO USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO ESTADO DO PARANÁ

4.4.1 Aspectos relacionados às disposições preliminares da Resolução Conama 375/06

O presente item trata da Seção I – das disposições preliminares, da Resolução Conama 375/06 a qual possui nove artigos. Para melhor organização, o presente item foi dividido em quatro partes. A primeira parte trata das definições e do art. 3º sobre processo de redução de patógenos. A segunda parte aborda os processos de atratividade de vetores. O art. 7º, que define os parâmetros que devem ser determinados para a caracterização do lodo de esgoto, com exceção dos compostos orgânicos, já abordados no capítulo 4.3, é discutido na terceira parte. Na quarta parte, realiza-se a análise dos critérios de licenciamento de UGL, tema abordado no art. 9º da Resolução Conama 375/06.

4.4.1.1 Definições e processos de redução de patógenos

No art. 2º, que estabelece as definições dos termos adotados na Resolução, falta a definição e diferenciação entre os termos caracterização inicial e monitoramento, fato que dificulta o entendimento da Seção II e do Anexo IV, conforme será discutido oportunamente nos itens 4.4.1.3 e 4.4.2.

O art. 3º define que para o lodo ter uso agrícola deve ser submetido a um processo de redução de patógenos e de atratividade de vetores, levando em conta o Anexo I da Resolução. No Anexo I estão listados os processos aceitos para redução significativa de patógenos (PRSP) específicos para obtenção de lodo Classe B, redução adicional de patógenos (PRAP) para obtenção de lodo Classe A e para redução da atratividade de vetores (PRAV). Verifica-se que os PRAP listados para lodo Classe A, são os mesmos listados na CFR 40 Parte 503 (USEPA, 2007).

No entanto, os PRAP representam somente uma das seis alternativas de tratamento apresentadas pela CFR 40 Parte 503 para obtenção de lodo Classe A. Uma alternativa que consta tanto na Parte 503 quanto na Resolução Conama 375 é a possibilidade de adoção de processos equivalentes aos PRAP, desde que haja comprovação de sua eficiência e aprovação pelo órgão ambiental. As duas alternativas da CFR 40 Parte 503: monitoramento do processo e processos indefinidos, as quais envolvem a determinação de ovos viáveis de helmintos e de vírus entéricos e atendimento aos limites estabelecidos, foram adotadas como obrigatórias pela Resolução Conama 375/06. Não são citadas na Resolução Conama 375/06 outras duas alternativas para obtenção de lodo Classe A, citadas na CFR 40 Parte 503 (referentes aos tratamentos que envolvem relações de tempo e temperatura e relações de elevação de pH e temperatura).

Os critérios da Resolução Conama 375/06 em relação a lodo Classe A são mais rigorosos que os da CFR 40 Parte 503. Para a CFR 40 Parte 503 as seis alternativas para obtenção de lodo Classe A devem levar a uma concentração de coliformes fecais inferior a 1000 NMP por grama de lodo em base seca ou uma densidade de *Salmonella* sp inferior a 3 NMP por 4 grama de lodo em base seca. No entanto, na Resolução Conama 375/06 são necessários a determinação e o

atendimento aos limites para ambos os microrganismos. Na norma brasileira também se exige a ausência de vírus entéricos e de ovos de helmintos, enquanto a CFR 40 Parte 503 só exige o monitoramento destes microrganismos quando da não adoção das demais alternativas para obtenção de lodo Classe A.

Está definido na Resolução, Anexo II, que os vírus entéricos a serem pesquisados preferencialmente serão: adenovírus e vírus do Gênero Enterovírus (Poliovírus, Echovírus, Coxsackievírus). Segundo Andreoli *et al.* (2008) uma das maiores dificuldades das empresas de saneamento brasileiras está relacionada à caracterização do lodo quanto à presença de vírus específicos, cuja análise não é feita, atualmente, pela maioria dos laboratórios comerciais, sendo restrita a pesquisas específicas em universidades.

Segundo relatado nos itens 4.1.1 e 4.1.2 do presente estudo, no estado do Paraná, dos 228 lotes de lodo de esgoto destinados a uso agrícola no período de 2007 a 2013, 137 lotes foram caracterizados quanto ao parâmetro vírus. Desses 137 lotes, 97 apresentaram os resultados abaixo do limite de quantificação laboratorial e 40 apresentaram resultados iguais a zero. No item 4.1.2 relatou-se sobre a dificuldade inicial enfrentada pela Sanepar para realização das análises laboratoriais de caracterização desse parâmetro, devido principalmente a escassez de laboratórios aptos a realizar a análise e da complexa logística que envolvia o encaminhamento de amostras. Em consulta verbal aos gestores do processo de uso agrícola de lodo de esgoto, estes informaram que, atualmente, um maior número de laboratórios vem realizando a análise do parâmetro.

Segundo Bastos, Bevilacqua e Mara (2013), a abordagem brasileira não leva em consideração a dificuldade do monitoramento de rotina para patógenos, tampouco o conceito de organismos indicadores e a utilidade de variáveis de controle operacional. Dessa forma, faz-se necessária a realização de pesquisas que verifiquem a eficácia dos processos de higienização na inativação não somente de vírus, mas também de ovos viáveis de helmintos, e o estabelecimento de parâmetros de controle operacional, como por exemplo pH, temperatura, tempo de armazenamento, que possam ser utilizados para atestar a eficácia do processo, juntamente com análises laboratoriais de organismos indicadores.

Em relação a vírus, caso as pesquisas indiquem que é necessária a caracterização deste parâmetro em lodo de esgoto destinado a uso agrícola, é necessário verificar e quantificar de laboratórios aptos e estruturados para realização da análise. Bem como, especificar quais os vírus entéricos devem ser monitorados.

4.4.1.2 Processos de redução de atratividade de vetores

A exigência do art. 3º de adoção de processos de redução de atratividade de vetores (PRAV) é detalhada no Anexo I, cujo texto é retificado pela Resolução Conama 380/06 (BRASIL, 2006b). Os PRAV listados na Resolução Conama 380/06 são os mesmos apresentados pela CFR 40 Parte 503 para lodo de esgoto a ser destinado para aplicação em áreas agrícolas, florestais, de contato público ou áreas degradadas. No entanto, a CFR 40 Parte 503 estabelece que um dos 10 critérios deve ser cumprido, enquanto a Resolução Conama 380/06 relaciona critérios específicos para cada PRAV adotado.

Dos PRAV da Resolução Conama 380/06, no estado do Paraná foram realizados: a estabilização do lodo por digestão aeróbia, no caso da UGL Belém, e por digestão anaeróbia, no caso das demais UGLs, a estabilização alcalina, devido ao processo de higienização e a incorporação ao solo, no caso da aplicação em áreas com declividade superior a 8% (PARANÁ, 2009). No caso da digestão anaeróbia em reatores tipo UASB não é possível medir a redução de SVT conforme determinado nos critérios 1 e 2, uma vez que nesses reatores não há a entrada de lodo e sim de esgoto bruto, conseqüentemente não sendo possível a determinação da redução de SVT do lodo durante o processo de digestão. Situação semelhante acontece em relação à aplicação dos critérios 2 e 3 para o caso digestão aeróbia em processo de lodos ativados por aeração prolongada (ETE Belém), no qual o tempo de permanência do lodo (idade do lodo) é alto, promovendo a digestão do lodo no próprio tanque de aeração (VON SPERLING; GONÇALVES, 2001).

Considera-se também que não é viável operacionalmente o cumprimento do critério 10, que é relativo ao PRAV de incorporação ao solo. Este critério, que

provavelmente refere-se a lodo líquido, mas não especifica no texto, determina que o lodo Classe A deve ser aplicado e incorporado ao solo, decorridos, no máximo, oito horas após sua descarga do processo de redução de patógenos.

A Resolução Conama 375/06 define estabilização como “o processo que leva os lodos de esgoto destinados para o uso agrícola a não apresentarem potencial de geração de odores e de atratividade de vetores, mesmo quando reumidificados” e no § 6º art. 7º estabelece que para fins de utilização agrícola o lodo será considerado estável se a relação entre sólidos voláteis totais e sólidos totais for inferior a 0,70. Dessa forma, considera-se que o lote de lodo, ao atender a condição de estabilidade, já estaria atendendo a exigência de redução de atratividade de vetores, não sendo necessário o estabelecimento de critérios para verificação dos PRAV. No entanto, seria importante revisar o limite do critério de estabilidade, pois segundo Ludovice (2001) em lodos digeridos, a relação SVT/ST situa-se em torno de 0,6 a 0,65, enquanto em lodos não digeridos está entre 0,75 e 0,80.

No estado do Paraná, os lotes de lodo de esgoto higienizados por estabilização alcalina prolongada destinados a uso agrícola no período de 2007 a 2013, apresentaram uma relação média de sólidos voláteis e sólidos totais de 0,28, sendo respectivamente de 0,33; 0,20 e 0,31 para os lotes aeróbios, mistos da RMC e mistos do interior do estado. Dessa forma, demonstrando que o processo de estabilização adotado foi eficaz, com resultados, em média, 40% abaixo do limite da Resolução Conama 375/06.

4.4.1.3 Parâmetros de caracterização do lodo de esgoto

Na Resolução Conama 375/06, o § 1º do art. 7º define os parâmetros que devem ser determinados para a caracterização do lodo de esgoto quanto ao potencial agrônômico, levando em conta os Anexos II, III e IV.

O Anexo III - Cálculo do nitrogênio disponível no lodo de esgoto ou produto derivado, não deveria ser citado nesse parágrafo, uma vez que está relacionado ao

cálculo da taxa de aplicação do lodo e não tem relação com a caracterização do lodo quanto ao potencial agronômico.

O anexo IV - Critérios para amostragem de solo e lodo de esgoto ou produto derivado, também citado no § 1º do art. 7º, não aborda em seu texto os critérios para amostragem de parâmetros agronômicos, portanto necessita ser revisto visando a inclusão dos procedimentos de amostragem de parâmetros agronômicos em lodo de esgoto.

Os § 2º, 3º e 5º do art. 7º estabelecem que a caracterização quanto à presença, respectivamente, de substâncias inorgânicas, orgânicas e de agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos no lodo deve ser de acordo com os Anexos II e IV.

O texto do Anexo IV trata de critérios de amostragem de lodo para caracterização inicial e para monitoramento, apesar da Resolução não apresentar em seu texto a definição e diferenciação entre esses procedimentos. Na análise do texto do anexo IV, verifica-se que os critérios não estão coerentes com a definição de lote, principalmente no caso de lodo digerido. O texto estabelece que para lodo digerido a caracterização inicial e monitoramento de parâmetros inorgânicos e orgânicos, deverá ser feita por meio de análise de 4 (quatro) amostras simples, coletadas com defasagem mínima de 7 (sete) dias. No caso de lodo não digerido ou heterogêneo a caracterização deverá ser realizada a partir da coleta de 4 (quatro) amostras compostas, formadas por sub-amostras de iguais quantidades do material, coletadas em diferentes pontos da pilha de amostragem, sendo que para os parâmetros orgânicos todas as amostras deverão ser simples. Assim, conclui-se, interpretando o texto, que tanto para a caracterização inicial quanto para o monitoramento de parâmetros inorgânicos e orgânicos é necessária a realização de análises laboratoriais de quatro amostras sejam elas simples ou compostas.

O Anexo IV também estabelece que, na amostragem de lodo de esgoto para análises microbiológicas e parasitológicas de caracterização inicial, deverão ser coletadas pelo menos 15 amostras num período de 3 meses. Essa amostragem deverá ser planejada, de forma que as coletas sejam realizadas a intervalos relativamente uniformes, abrangendo todo esse período. No caso de monitoramento, deverá ser coletada uma amostra, em quadruplicata, sendo que a qualidade do lodo

também deverá ser verificada antes da primeira aplicação e quando o lodo for vendido ou distribuído. A amostragem de monitoramento deverá observar os mesmos procedimentos descritos para a caracterização inicial, ou seja, pelo menos 15 amostras num período de 3 meses.

O conteúdo do anexo IV é confuso e não está adequado ao conceito de lote de lodo. Entende-se por lote a quantidade de lodo gerada por uma ETE ou UGL tratada e caracterizada para fins agrícolas, sendo que a finalização do lote acontece no momento da coleta de amostras para sua caracterização, quando não se adiciona mais lodo. Dessa forma, considera-se que a realização de análise laboratorial de uma amostra composta, seguindo os critérios de coleta de amostras estabelecidos pela Instrução Normativa MAPA nº 10/2004 (BRASIL, 2004) para caracterizar um lote de lodo cumpriria o objetivo de assegurar que esse lote, ao ser disponibilizado ao uso agrícola, apresenta as características descritas nos laudos laboratoriais.

4.4.1.4 Licenciamento de UGLs

O art. 9º determina que a aplicação de lodo de esgoto e produtos derivados no solo agrícola somente poderá ocorrer mediante a existência de uma UGL devidamente licenciada pelo órgão ambiental competente, sendo que o §2º o complementa estabelecendo que o licenciamento ambiental da UGL contemplará obrigatoriamente as áreas de aplicação.

Segundo Sampaio (2013) durante as reuniões do Grupo Técnico (GT), encarregado pela elaboração da proposta da Resolução, entendeu-se que a aprovação prévia das áreas inviabilizaria, do ponto de vista logístico, a gestão da aplicação agrícola do lodo.

A atividade agrícola é uma dinâmica, e por mais que haja planejamento, é influenciada por fatores climáticos que podem dificultar a realização do planejado. Na gestão do processo de uso agrícola de lodo no Paraná, no qual são atendidas várias áreas agrícolas ao ano, cerca de 62 propriedades na RMC, segundo relato dos gestores do processo, existem desistências por parte dos agricultores, devido

principalmente a fatores climáticos, e atrasos na logística de carregamento e transporte. Como consequência, projetos agrônômicos elaborados para uma determinada área agrícola não são utilizados, sendo necessária a elaboração de novo projeto para destinação do mesmo lote de lodo para outra área agrícola. Além disso, como o licenciamento possui normalmente uma validade de até 6 anos (PARANÁ, 2009), seria impossível prever as áreas que iriam receber o lodo para um período de tempo tão grande.

Neste contexto, para atender o §2º do art. 9º, no processo de licenciamento no estado do Paraná são listadas no Plano de Gerenciamento de UGL as regiões prioritárias de aplicação de lodo de cada UGL, com base no diagnóstico e zoneamento da aptidão agrícola das terras da região onde está localizada a UGL, que inclui aspectos edafoclimáticos, ambientais e agrícolas, assim como a definição das potencialidades e das limitações da região. O Plano de Gerenciamento da Utilização Agrícola do Lodo de Esgoto é um dos documentos exigidos para o licenciamento ambiental de UGL, sendo definido como o estudo ambiental, elaborado por profissional habilitado (PARANÁ, 2009).

Complementarmente, a Resolução Sema 021/09 (PARANÁ, 2009) define que deverá ser solicitada uma autorização ambiental (AA), ao IAP, para transporte e disposição agrícola de cada lote de lodo de esgoto. Nesta solicitação, é incluído um requerimento contendo as seguintes informações: identificação do lote, quantidade de lodo úmido, nome da UGL de origem do lote, data de início e finalização do lote, são anexados os laudos laboratoriais referente a caracterização do lote e são indicadas as regiões onde o lote será destinado. Na solicitação da AA também são apresentados ao IAP os projetos agrônômicos relativos a disposição agrícola do lote precedente.

4.4.2 Aspectos relacionados à frequência de monitoramento do lodo de esgoto

O presente item trata da Seção II - da frequência de monitoramento do lodo de esgoto ou produto derivado, da Resolução Conama 375/06, a qual possui um artigo com cinco parágrafos.

O texto da Resolução Conama 375/06 é contraditório em relação aos procedimentos para caracterização e monitoramento do lodo de esgoto. A Resolução define lote de lodo de esgoto como: “a quantidade de lodo destinado para uso agrícola, gerada por uma ETE ou UGL no período compreendido entre duas amostragens subsequentes, caracterizada físico-química e microbiologicamente”. No entanto, no § 1º do artigo 10 estabelece que “a caracterização do lodo de esgoto, representada por amostragem, é válida exclusivamente para o lote gerado no período compreendido entre esta amostragem e a subsequente”. Entende-se que houve um erro na redação do texto, uma vez que, considerando a definição de lote, a caracterização do lodo de esgoto, representada por amostragem, deveria ser válida exclusivamente para o lote gerado no período compreendido entre esta amostragem e a anterior.

A TABELA 39 apresenta o custo para caracterização de um lote de lodo de esgoto de acordo com os parâmetros estabelecidos pela Resolução Conama 375/06. Observa-se um custo variável para os diferentes parâmetros, sendo que o custo total de uma caracterização por laboratório foi entre R\$ 2.550,00 a 5.982,00.

TABELA 39 - CUSTO DE ANÁLISES PARA CARACTERIZAÇÃO DE UM LOTE DE LODO DE ESGOTO DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO CONAMA 375/06 EM LABORATÓRIOS BRASILEIROS

Laboratório	Custo por grupo de parâmetros (R\$)				TOTAL
	Agronômicos	Substâncias Inorgânicas	Sanidade	Orgânicos	
A	370,00	280,00	1.150,00	750,00	2.550,00
B	550,00	430,00	1.450,00	810,00	3.240,00
C	772,65	260,91	886,98	4.061,70	5.982,24
D	382,00	286,00	655,00*	2.940,00	4.263,00

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Levantamento de preços realizado em janeiro e fevereiro de 2014. * Ovos viáveis de helmintos = R\$ 210,00, Coliformes termotolerantes = R\$ 25,00, *Salmonella* = R\$ 45,00, Vírus entéricos = R\$ 375,00.

Destaca-se que dois laboratórios informaram que algumas análises seriam subcontratadas, foi o caso do laboratório C para os parâmetros: enterovírus, ovos viáveis de helmintos, dioxinas e furanos e do laboratório D para: C_{org}, P, N_{kjeldahl}, N amoniacal, nitrato, nitrito, S, Ca, Mg, ovos viáveis, vírus entéricos, substâncias inorgânicas e orgânicas. Este fato corrobora com o relato de gestores da companhia de saneamento sobre a dificuldade na contratação do serviço de análises laboratoriais, frente a limitada gama de laboratórios com infraestrutura e capacidade técnica para atender todos os critérios estabelecidos pela Resolução Conama 375/06.

A Resolução Conama 375/06 subdivide a frequência de monitoramento das características do lodo em 5 faixas (TABELA 9), que consideram diferentes quantidades de lodo destinado, mas não há indicação se a unidade de destinação é por UGL ou por ETE. As faixas de monitoramento incluem um limite inferior abaixo de 60 e um limite superior acima de 15.000 t de ST de lodo. O limite superior, acima de 15.000 t, é adotado em normas de vários países, sendo que a diferença está na frequência de análises exigida. Por exemplo, no Brasil (BRASIL, 2006), EUA (USEPA, 2007) e Jordânia (AL-HMOUD, 2008) a frequência para esta faixa é de uma vez por mês, enquanto no México (MÉXICO, 2003) é de 4 vezes ao ano.

No México (MÉXICO, 2003) e na UE (MILIEU; WRc; RPA, 2010) a frequência de monitoramento é definida com base na quantidade de “biossólido produzida”, já para o Brasil (BRASIL, 2006) é em relação ao “lodo destinado” e nos EUA (USEPA, 2007) refere-se à quantidade de “lodo aplicado no solo”. A interpretação é de que a Resolução Conama 375/06 estabelece a frequência de monitoramento com base no lodo destinado pois, parte do lodo gerado pode ter outro uso que não a aplicação na agricultura.

Esse é um aspecto a ser considerado na revisão da Resolução 375/06, uma vez que, no Brasil ainda são escassas as informações sobre a geração de lodo de esgoto por ETE ou UGL. Normalmente, as companhias de saneamento realizam estimativas de geração com base nos dados de população atendida e tipo de tratamento implantado por ETE, no entanto estas estimativas estão muito distantes dos números reais de geração de lodo.

Por exemplo, a Sanepar estimou, a partir de cálculo teórico para o ano de 2013, uma geração de 33.000 t de ST de lodo. Esta quantia foi superior às cerca de 20.000 t de ST geradas naquele ano, com base no controle corporativo da empresa de dados de volume de lodo bruto líquido descartado (em m³ com em média 5% ST) por ETE.

As estimativas de quantidade de “lodo destinado” devem incluir também o acréscimo de ST ao lodo quando da adoção dos processos de higienização como o de estabilização alcalina ou compostagem dificultando ainda mais a previsão da quantidade a ser destinada. Dessa forma, para evitar erros de super ou sub

dimensionamentos de quantidade, considera-se que a frequência de monitoramento deveria ter como base o lodo gerado.

A TABELA 40 apresenta os resultados da simulação de custos de caracterização para UGLs de diferentes portes do estado do Paraná, utilizando as faixas de frequência de monitoramento e de parâmetros exigidos para lodo equivalente a Classe A, pelas normas americana, mexicana, europeia (opção de moderadas mudanças) e brasileira.

TABELA 40 - CUSTO DE ANÁLISES PARA CARACTERIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO DE UGLs DE DIFERENTES PORTES DE ACORDO COM AS NORMAS AMERICANA, MEXICANA, EUROPEIA E BRASILEIRA

UGL	Região	Geração de lodo em ST (t ano ⁻¹) *	Custo (R\$ t ⁻¹ ST)			
			EUA	México	UE	Brasil
Belém	RMC	3.929	1,96	0,46	2,15	3,11
Atuba	RMC	1.643	4,70	1,11	2,69	7,43
Norte	Londrina	1.400	3,67	0,65	3,02	5,82
Sul	Maringá	950	5,41	0,96	3,66	8,57
Ronda	Ponta Grossa	400	12,86	2,28	8,68	20,36
Vassoural	Guarapuava	233	5,52	3,91	5,84	17,48
Ouro Verde	Foz do Iguaçu	170	7,56	5,36	8,01	23,95
Pitanga	Guarapuava	34	37,82	26,79	20,03	59,88

FONTE: O autor (2014)

NOTA: Levantamento de preços realizado em janeiro e fevereiro de 2014. *Geração de lodo no ano de 2013.

Verifica-se na TABELA 40 que o custo de caracterização por tonelada de ST de lodo é mais elevado no caso do atendimento da norma brasileira (Conama 375/06) para todos os portes de UGLs. Os valores das análises de compostos orgânicos, de vírus entéricos e de ovos viáveis de helmintos foram os que contribuíram para este resultado. Outro fator, no caso das UGLs de menor porte, foi a pequena quantidade de lodo por análise de caracterização.

Verifica-se na TABELA 41 que o custo evitado pelo agricultor ao utilizar o lodo de esgoto pode representar de 7% a 99% do custo de análises para caracterização de lodo, sendo que quanto menor o porte da UGL maior esta relação.

TABELA 41 – COMPARAÇÃO ENTRE O CUSTO EVITADO PELO AGRICULTOR E O CUSTO DE ANÁLISES PARA CARACTERIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO DE UGLs DE DIFERENTES PORTES DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO CONAMA 375/06

UGL	Região	Geração de lodo em ST ⁽¹⁾ (t ano ⁻¹)	A. Custo caracterização do lodo (R\$ t ⁻¹ ST)	B. Custo evitado pelo agricultor ⁽²⁾ (R\$ t ⁻¹ ST)	Relação A/ B (%)
Belém	RMC	3.929	3,11	47,78	7
Atuba	RMC	1.643	7,43	44,66	17
Norte	Londrina	1.400	5,82	60,50	10
Sul	Maringá	950	8,57	60,50	14
Ronda	Ponta Grossa	400	20,36	60,50	34
Vassoural	Guarapuava	233	17,48	60,50	29
Ouro Verde	Foz do Iguaçu	170	23,95	60,50	40
Pitanga	Guarapuava	34	59,88	60,50	99

FONTE: O autor (2014)

NOTA: ⁽¹⁾ Geração de lodo no ano de 2013. ⁽²⁾ Estimativa utilizando o custo médio evitado de R\$ 683,23 e 484,02 ha⁻¹ verificado, respectivamente, para aplicação de lodo produzido na RMC e de lodo misto produzido no interior do Paraná, em 2013 e a taxa média de aplicação de 14,3; 15,3 e 8 t ha⁻¹ ST, respectivamente, dos lotes de lodo aeróbios, mistos da RMC e misto do interior, nos períodos de 2007 a 2013 e 2011 a 2013.

Ao se comparar as 5 faixas de frequência de monitoramento estabelecidas pela Resolução Conama 375/06 (TABELA 42), nota-se que a quantidade de lodo por análise do limite inferior das três primeiras faixas de monitoramento é de 76 a 88% menor do que a quantidade por análise do limite inferior da 4ª faixa de monitoramento.

TABELA 42 - QUANTIDADE DE LODO DE ESGOTO EM SÓLIDOS TOTAIS POR ANÁLISE DE CARACTERIZAÇÃO DE ACORDO COM A FAIXAS DE FREQUENCIA DE MONITORAMENTO ESTABELECIDAS PELA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06.

Faixas de monitoramento	Quantidade de lodo em ST (t ano ⁻¹)	Análises ao ano (nº)	Quantidade de ST por caracterização (t)
1	< 60	1	Até 60
2	60 a 240	2	30 a 120
3	240 a 1.500	4	30 a 375
4	1.500 a 15.000	6	250 a 2.500
5	> 15.000	12	> 1.250

FONTE: O autor (2014)

Seria mais adequada uma frequência de monitoramento que considerasse a quantidade de lodo por caracterização, de forma que o custo de análise para UGLs de pequeno porte fosse menos oneroso. Dessa forma, propõe-se que na discussão de revisão da Resolução Conama 375/06, as quantidades de lodo para as três primeiras faixas de monitoramento sejam revistas, de modo que a quantidade mínima de ST de lodo por análise de caracterização ficasse ao redor de 250 t, de modo a dar mais viabilidade econômica as UGLs de pequeno porte, sem prejuízo a segurança sanitária e ambiental. Por exemplo, adotando-se esta sugestão de uma quantidade

mínima de 250 t por lotes de lodo de esgoto o custo por análise reduziria para R\$ 8,14 t⁻¹ representando 13,6% do custo estimado para frequência atualmente estabelecida para UGL Pitanga (TABELA 41).

Neste contexto, de estabelecer a frequência de monitoramento com base em uma determinada quantidade de lodo por caracterização, a Resolução Conama 375/06 também deveria permitir a possibilidade de realização de lotes em período de tempos superiores a um ano. Por exemplo, para UGL Pitanga, de pequeno porte (TABELA 40), de acordo com a Resolução Conama 375/06, é necessária uma caracterização ao ano ou seja um custo de R\$ 2.035,61 (TABELA 39) para um lote de 34 t ST. Para que esta quantidade de lodo possa fazer parte de um lote maior, deverá ser transportada até a ETE mais próxima, distante a 90 km, resultando em um custo de transporte de R\$ 1.615,00. Outro fator a ser considerado é que esta UGL está localizada em um município agrícola com 40.000 ha de cultivo de soja (IPARDES, 2013) dessa forma, deveria ser evitada a logística de levar este lodo a outra ETE para formação de um lote maior e depois retornar o lodo tratado para aplicação em áreas agrícolas.

Segundo Manzochi (2008) no processo decisório da seleção da melhor logística de implantação de UGLs, os pesos mais representativos são os custos de transporte e de análises laboratoriais do lodo. Segundo Moretti e Borges (2008) o transporte, em 2008, com um custo médio de R\$ 21,04 t⁻¹, representou 39,77% do custo operacional da reciclagem agrícola de lodo na RMC.

4.4.3 Aspectos relacionados aos requisitos mínimos de qualidade do lodo de esgoto destinado a agricultura

O presente item trata da Seção III - Requisitos mínimos de qualidade do lodo de esgoto ou produto derivado destinado a agricultura, da Resolução Conama 375/06 a qual possui o art. 11.

A tabela 2 do art. 11 apresenta os limites máximos de concentração de substâncias inorgânicas permitidas em lodo de esgoto. Devido à falta de estudos mais

detalhados no Brasil, a Resolução Conama 375/06 optou para limites de poluentes inorgânicos em lodo segundo a metodologia de análise de risco proposta pela CFR 40 Parte 503, a qual pode ser considerada suficiente para atender o princípio básico de uso seguro do lodo em relação a esses parâmetros. Segundo a Academia Nacional de Ciências dos EUA não há nenhuma evidência científica documentada de que os critérios estabelecidos para poluentes inorgânicos pela CFR 40 Parte 503 deixaram de proteger a saúde pública (BEECHER, 2008). No entanto, como o objetivo desta metodologia é maximizar a capacidade do solo em assimilar e atenuar o efeito de poluentes (HESPANHOL, 2014) é necessário o desenvolvimento de pesquisas locais, de modo a verificar se os valores adotados são adequados.

Pegorini (2002), em avaliação de três solos agrícolas que receberam lodo de esgoto no Paraná, verificou tanto a não influência, como tendência de redução e de aumento nos teores totais em solo das diferentes substâncias inorgânicas avaliadas. No mesmo estudo, verificou que as áreas sob condições naturais (mata) apresentaram comportamento variável quanto à concentração das substâncias inorgânicas, com teores inferiores e iguais aos solos cultivados com ou sem lodo. Nogueira *et al.* (2008) não verificaram alteração nas concentrações de Cd, Cr e Pb em solo do estado de São Paulo cultivado com milho após a aplicação de lodo de esgoto por 9 anos consecutivos em doses de 0, 5, 10 e 20 t ha⁻¹ base seca, sendo que apenas o Zn teve sua concentração aumentada na dose de 10 t ha⁻¹. Andrade *et al.* (2014) após 13 aplicações anuais sucessivas de lodo de esgoto em dois solos de São Paulo verificaram que a concentração dos compostos arsênio, bário, cádmio, cromo, cobre, mercúrio, molibdênio, níquel, chumbo, selênio e zinco não atingiram o valor de investigação agrícola da Resolução Conama 420/2009 (BRASIL, 2009).

É necessário que, com base nas pesquisas já desenvolvidas sobre o tema, a exemplo de Pegorini (2002), Silva, Resck e Sharma (2002), Borges e Coutinho (2004), Marques *et al.* (2006), Nogueira *et al.* (2008), Alcantara *et al.* (2009), Merlino *et al.* (2010), Nogueira *et al.* (2010), Pöpl Netto (2013), Andrade *et al.* (2014) e no desenvolvimento de novas pesquisas para as condições brasileiras, seja adotada uma metodologia única para definição dos limites para todos os poluentes (SAMPAIO, 2013). Realidade semelhante foi observada na Austrália, que frente ao questionamento sobre a aplicabilidade dos critérios adotados no país, os quais tiveram

como base dados do Hemisfério Norte, sem levar em conta a grande variedade de tipos de solo e de clima no país, estabeleceu em 2002 o Programa Nacional de Pesquisa sobre Biossólidos. Os resultados determinaram a disponibilidade biológica de Cd, Cu e Zn adicionados ao solo e permitiram a obtenção de diretrizes para estas substâncias inorgânicas, as quais variam de acordo com as propriedades físico-químicas do solo. Outras substâncias inorgânicas presentes nos biossólidos australianos não foram consideradas como constituintes de perigo significativo aos seres humanos ou ecossistemas (WARNE *et al.*, 2010).

Ainda no art. 11 da Resolução, a Tabela 3 apresenta os limites para concentração de patógenos, estabelecendo dois tipos de lodo de esgoto: Classe A e Classe B, sendo que o § 5º determina que 5 anos após a data da publicação da Resolução somente será permitida a Classe A, exceto sejam propostos novos critérios ou limites baseados em estudos de avaliação de risco e dados epidemiológicos nacionais, que demonstrem a segurança do uso do lodo de esgoto Classe B.

Bastos *et al.* (2009) consideram que os limites microbiológicos são excessivamente rigorosos e que esses poderiam ser estabelecidos a partir de modelos de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), baseados em um nível de risco tolerável e na construção de cenários de exposição. Segundo os autores a abordagem epidemiológica também poderia ser utilizada para estabelecer padrões tendo como referência o risco tolerável, no entanto as evidências epidemiológicas podem ser escassas e estudos epidemiológicos geralmente estão restritos a um estudo específico, além de apresentar, em alguns casos, baixa sensibilidade na detecção de riscos. Assim, concluem que, em relação aos requisitos de sanidade de biossólido, é necessária a obtenção de dados e informações (provenientes de pesquisa locais e, ou da experiência internacional), que permitam a construção de cenários de exposição específicos e realísticos, mas para isso é fundamental determinar o que representa um risco tolerável no contexto brasileiro.

4.4.4 Aspectos relacionados às culturas aptas a receberem lodo de esgoto, às restrições locacionais e à aptidão do solo das áreas de aplicação

Na Seção V - das restrições locacionais e da aptidão do solo das áreas de aplicação, o item III do art. 15 estabelece que não é permitida a aplicação de lodo de esgoto em Áreas de Proteção aos Mananciais (APMs) definidas por legislações estaduais e municipais e em outras áreas de captação de água para abastecimento público, a critério do órgão ambiental competente. Considera-se que o texto deste item pode ser melhorado, sendo mais específico: para áreas de mananciais que não possuem sua área de proteção definida em legislação, o órgão ambiental estadual definirá os limites da área de manancial onde o lodo não poderá ser aplicado. Uma grande parte dos mananciais de abastecimento paranaenses não possui sua área de proteção definida por legislação (IAP, 2014).

Em relação a Seção IV - das culturas aptas a receberem lodo de esgoto, Bastos *et al.* (2009) consideram a Resolução Conama 375/06 excessivamente rigorosa para o biossólido Classe A, tanto em relação à qualidade sanitária exigida, quanto em relação às restrições de uso e que a proibição do uso do biossólido classe B, não é justificável, uma vez que esse poderia ser utilizado na agricultura mediante a adoção de medidas de proteção à saúde. Em relação ao lodo Classe A, os autores consideram que apesar das condições climáticas brasileiras, em geral, serem menos favoráveis à sobrevivência de patógenos, a Resolução Conama 375/2006 estabelece critérios muito mais restritivos comparados aos dos EUA e do Reino Unido, ao proibir a aplicação em culturas alimentícias e pastagens.

Segundo Sampaio (2013) não existe estudo técnico-científico que justifique o estabelecimento das restrições impostas pela Resolução Conama 375/06 para o uso do lodo Classe A em pastagens, cultivo de olerícolas, tubérculos, raízes, culturas inundadas e culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo. Portanto, é necessário a realização de estudos para verificar se as restrições impostas são ou não justificáveis.

4.4.5 Aspectos relacionados ao projeto agronômico e às condições de uso

O presente item trata da Seção VI - do projeto agronômico e das condições de uso, o qual possui somente um artigo (art. 16) e um único parágrafo.

O art. 16 estabelece que toda a aplicação de lodo de esgoto deve ser realizada mediante a elaboração de um projeto agronômico para as áreas de aplicação, conforme roteiro do Anexo VIII da Resolução, firmado por profissional devidamente habilitado, que atenda aos critérios e procedimentos estabelecidos.

O anexo VIII descreve que o projeto agronômico deve conter a caracterização da ETE ou UGL, os resultados da caracterização do lodo de esgoto, a caracterização das áreas de aplicação de lodo, a taxa de aplicação do lodo de esgoto, a descrição do armazenamento e transporte do lodo, os planos de aplicação e manejo, o relatório de operação, o monitoramento, a Anotação de Responsabilidade Técnica - ART e informações adicionais a critério do órgão ambiental.

O item caracterização do lodo de esgoto estabelece que deve ser apresentado o ensaio para determinação de elevação de pH provocada pela aplicação de lodo tratado com cal no solo, por meio de ensaio de incubação. O ensaio de incubação, devido à sua precisão, tem sido utilizado como método padrão para avaliar o efeito corretivo de diversos materiais (MOTTA; LIMA, 2006; NOLLA; ANGHINONI, 2004), no entanto não é um método usualmente aplicado na recomendação de correção de acidez de solo agrícola, devido ao tempo necessário para sua execução, o qual é de 60 dias. Dessa forma, estudos têm sido realizados com o objetivo de verificar a relação do poder de correção de acidez do lodo de esgoto higienizado com cal em solos com diferentes características (MARIN *et al.*, 2010; SERRAT *et al.*, 2011). Poggere *et al.* (2012) concluem que os métodos do V% e do pH referência (SMP) para $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 5,5, de rápida realização, mostraram-se seguros quanto à recomendação agrícola para lodos higienizados com cal. Dessa forma, em virtude do grande número de áreas agrícolas que receberam lodo, em média 62 áreas por ano na RMC, recomenda-se que estes métodos sejam adotados pela Resolução Conama 375/06 para recomendação agrônômica de lodos alcalinos.

No Paraná, cada projeto agronômico é referente a um lote de lodo de esgoto e a uma área agrícola, ou seja, se um lote de lodo possui quantidade para atender a duas áreas agrícolas, serão elaborados dois projetos agronômicos, cada um referente a uma das áreas. Da mesma forma, uma área que possua tamanho superior a quantidade disponível de lodo em um lote, é dividida em glebas de no máximo 20 ha e será elaborado um projeto agronômico para cada gleba.

O grande número de áreas agrícolas que recebem lodo anualmente no Paraná, também, torna inviável, principalmente operacionalmente, a elaboração de projetos agronômicos com o nível de detalhamento descrito na Resolução. A Resolução determina que devem ser apresentadas: planta com a localização dos pontos de amostragem de caracterização do solo, plantas planialtimétricas de situação dos locais de aplicação, com a escala mínima de 1:10.000, abrangendo até 500 m dos limites da aplicação e que nos locais onde não se dispuser do levantamento na escala 1:10.000, serão aceitos, excepcionalmente, levantamentos na escala 1:50.000, complementados por descrição detalhada da área e croqui com indicação das declividades das áreas de aplicação.

No estado do Paraná a caracterização das áreas de aplicação foi realizada por meio da apresentação das coordenadas geográficas (UTM), do croqui com a delimitação da área a ser utilizada para a aplicação; localização de matas, corpos d'água e residências, da classificação de aptidão da área e do croqui de acesso ao local. Informações essas consideradas pelo órgão ambiental como suficientes para localizar a área de aplicação e identificar os aspectos da paisagens favoráveis ou desfavoráveis à aplicação do lodo de esgoto. Para realização do projeto, o agrônomo responsável necessita de 4 a 8 horas para o levantamento de campo e cerca de 8 horas para elaboração do documento. No caso de atendimento aos itens relacionados a plantas planialtimétricas, 500 m de caracterização e indicação das declividades das áreas de aplicação de lodo, o tempo necessário para a elaboração de cada projeto seria superior a 24 horas, demandando um trabalho mais complexo e de maior custo (AMEA, 2013).

O item 6 do anexo VIII estabelece que é necessário apresentar plano de aplicação do lodo de esgoto e de manejo da área, atendendo ao art. 18 da Resolução. Uma vez que o art. 18 trata do manuseio e da aplicação de lodo, entende-se que o

texto do item 6 deveria utilizar a palavra manuseio e não manejo. Cabe ressaltar que nas ARTs recolhidas, no caso do Paraná, a responsabilidade do engenheiro agrônomo é pela atividade de orientação técnica, sendo fertilizantes e corretivos a área de competência profissional. Dessa forma, o engenheiro agrônomo não é obrigatoriamente responsável pelo manejo do cultivo desde o plantio até a colheita.

O item 6, também estabelece que deve ser incluída a descrição da sequência da aplicação do lodo, detalhando períodos previsto para a aplicação ao longo do ano, destaca-se que no caso da gestão adotada no estado do Paraná este item não é aplicável, como já descrito, o lodo é alcalino e entre uma aplicação e outra é necessário um período de tempo suficiente que promova o abaixamento do pH do solo comprovado pela caracterização de solo antes da aplicação do material. Além disso, é necessário considerar que o lodo é aplicado, predominantemente, em cultivos anuais, e por esse motivo, mesmo no caso de lodo não alcalino, seria possível no máximo três aplicações ao ano.

Os itens 7 - Relatório de operação e 8 - Monitoramentos não deveriam estar contidos no anexo VIII, visto que estes procedimentos são posteriores a aplicação do lodo e o anexo VIII trata do projeto agrônomo que é prévio a aplicação. Poder-se-ia, na revisão da Resolução, incluir um novo anexo para tratar destes temas, os quais estão relacionados com o controle e a rastreabilidade do processo de uso agrícola de lodo de esgoto.

4.4.6 Aspectos relacionados à aplicação

O presente item trata da Seção VII - da aplicação, a qual em seu art. 17 estabelece os critérios a serem considerados no cálculo da taxa máxima de aplicação em base seca do lodo de esgoto.

Considera-se que o texto do item II do art. 17 – “o cálculo deverá levar em conta os resultados dos ensaios de elevação de pH provocado pelo lodo de esgoto no solo predominante na região de modo a garantir que o pH final da mistura solo-lodo

de esgoto não ultrapasse o limite de sete”, deveria esclarecer que este critério é específico para lodos que passaram por processo de alcalinização.

Além disso, devido à morosidade para realização dos ensaios de elevação de pH, conforme abordado no item 4.4.5 do presente documento, outros métodos usualmente utilizados no Brasil, como do V% e do pH referência (SMP), deveriam ser adotados pela Resolução Conama 375/06.

Em estudos utilizando o ensaio de incubação com lodo EAP em diferentes classes de solo da RMC, Marin *et al.* (2010) verificaram taxas de aplicação variáveis, sendo o maior valor (49 t ha⁻¹) obtido para o solo que apresentava pH_{CaCl2} baixo e valores altos de acidez potencial (H+Al), carbono e Al trocável. Serrat *et al.* (2011) verificaram, em estudo na RMC, uma taxa máxima de 74 t ha⁻¹ de lodo de esgoto para Latossolo Bruno (de elevado poder tampão) 1,8 vezes maior do que a do Cambissolo Háplico (de menor poder tampão). Poggere *et al.* (2012) em estudo de ensaio de incubação com lodo EAP em solos paranaenses obtiveram taxas de aplicação máxima anual, variando de 10 t ha⁻¹ a >80 t ha⁻¹ concluído que os atributos químicos (CTC, H+Al e carbono) e físicos (argila), que conferem resistência à elevação de pH, são os que melhor definem a determinação da taxa de aplicação máxima anual.

O item III do art. 17 estabelece que devem ser observados os limites de carga total acumulada teórica no solo quanto à aplicação de substâncias inorgânicas, no entanto não determina o período de tempo limite ou quantidade de aplicações subsequentes na mesma área para atingir esta carga acumulada. Fato que difere do estabelecido na UE onde os limites são para quantidades anuais de substâncias inorgânicas que podem ser introduzidas nos solos, com base numa média de 10 anos e da CFR 40 Parte 503 que estabelece um limite anual e um limite total. No caso da CFR 40 Parte 503, se a concentração da substância inorgânica no biossólido estiver entre o limite permitido e o limite máximo (TABELA 4) deve-se satisfazer o limite da carga acumulada (TABELA 5).

A TABELA 43 compara os percentis 75, 90 e 99 das cargas teóricas calculadas dos lotes de lodo aplicados em áreas agrícolas do estado do Paraná, no período de 2007 a 2013.

TABELA 43 - PERCENTIS DE CARGA ACUMULADA TEÓRICA NA APLICAÇÃO DE LODO NO ESTADO DO PARANÁ, NO PERÍODO DE 2007 A 2013

Metal	Carga acumulada teórica na aplicação de lodo de esgoto (kg ha ⁻¹)			Percentil 99/ Conama 375 (%)	
	Conama 375/06	Percentil 75 ⁽¹⁾	Percentil 90 ⁽¹⁾		
As	30	0,02	0,13	0,46	1,54
Ba	265	3,56	5,02	9,19	3,47
Cd	4	0,02	0,05	0,29	7,30
Cr	154	1,23	2,40	8,70	5,65
Cu	137	2,60	4,58	12,14	8,86
Hg	1,2	0,01	0,11	0,37	30,93
Mo	13	0,06	0,13	0,29	2,25
Ni	74	0,79	1,53	7,17	9,68
Pb	41	0,75	1,51	6,68	16,29
Se	13	0,12	0,24	0,72	5,54
Zn	445	9,19	15,74	34,90	7,84

FONTE: O autor (2014)

NOTA: ⁽¹⁾ Cálculo considerando os limites de detecção para resultados abaixo desses limites.

Observa-se na TABELA 43 que foram baixas as cargas acumuladas teóricas, em consequência das baixas concentrações de substâncias inorgânicas no lodo de esgoto e do nível das taxas de aplicação utilizados no Paraná, no período de 2007 a 2013. O percentil 99 das cargas acumuladas teóricas de substâncias inorgânicas verificadas no Paraná, no período, representaram de 1,54% (As) a 30,93% (Hg) do limite da carga teórica estabelecida pela Resolução Conama 375/06.

4.4.7 Aspectos relacionados ao monitoramento das áreas de aplicação de lodo

Este item é referente a Seção IX: do monitoramento das áreas de aplicação do lodo de esgoto ou produtos derivados da Resolução Conama 375/06, a qual contém dois artigos, o 21, com 7 parágrafos e o 22 sem parágrafos.

O art. 21 estabelece que o solo agrícola deverá ser caracterizado pela UGL, antes da primeira aplicação do lodo em relação aos parâmetros de fertilidade do solo, sódio trocável, condutividade elétrica e substâncias inorgânicas, levando em conta os Anexos II e IV (BRASIL, 2006). Este artigo apresenta um erro de redação, mas que não compromete o entendimento do mesmo.

Considera-se que a realização da análise de fertilidade de solos deve ser antes de toda aplicação de lodo de esgoto na área agrícola e não somente antes da

primeira aplicação. No Brasil, a ferramenta mais utilizada para determinar a quantidade necessária de fertilizantes e corretivos para as culturas é a análise do solo (VAN RAIJ, 1997; SBCS, 2004, BENEDINI; PENATTI, 2008; WENDLING *et al.*, 2008; PREZOTTI, 2014), a qual se baseia fundamentalmente no conhecimento da relação existente entre a disponibilidade de um determinado nutriente no solo, medida por extrator químico, e a resposta da planta à aplicação deste nutriente (IAPAR, 2003). Para recomendação de nitrogênio ainda não é utilizada a análise de solo, sendo que para algumas culturas perenes, a resposta a nitrogênio é inferida pelo teor foliar (VAN RAIJ, 1997). Também tem sido utilizada a produtividade esperada ou expectativa de produção, levando em conta a exigência da cultura e a exportação com grãos para o estabelecimento da dose a ser aplicada de N às culturas (MOTTA; SERRAT, 2006).

Na gestão de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná, a análise de fertilidade do solo, que possui um custo médio de cerca de R\$ 40,00 (em 2014), é responsabilidade do agricultor que irá receber o lodo, como contrapartida. O anexo IV da Resolução Conama 375/06 estabelece que o número de amostras de solo deverá ser representativo da área a ser avaliada, cuja amostragem deverá ser subdividida em parcelas homogêneas nunca superiores a 20 hectares e que deve ser considerada a topografia, o tipo de solo, o tipo de cultura e o histórico de disposição de lodo de esgoto ou seus produtos derivados. Ao acrescentar como critério para amostragem do solo o histórico de disposição do lodo, a Resolução refere-se a áreas aonde há aplicações frequentes de lodo de esgoto, situação também verificada em várias outras partes do texto do documento. No entanto, no caso do lodo higienizado por EAP, as aplicações em uma mesma área não são frequentes, pois, por ser um corretivo de acidez de solo, é necessário aguardar de 2 a 3 anos para uma nova aplicação. Dessa forma, realiza-se a análise de fertilidade de solos previamente a aplicação para verificar se o V% do solo está abaixo de 60%, critério utilizado para permitir a aplicação de corretivo de acidez de solo para a maior parte dos cultivos agrícolas (IAPAR, 2003; OLEYNIK *et al.*, 2004).

Em relação ao monitoramento dos parâmetros indicativos de salinidade de solo, sódio trocável e condutividade elétrica (DAKER, 1988; HOLANDA *et al.*, 2010 RIBEIRO, 2010) antes da primeira aplicação do lodo de esgoto, considera-se que este critério deveria ser exigido somente para as áreas e/ou regiões com potencial de

salinização. Segundo Ribeiro, Freire e Montenegro (2003) os solos salinos, salino-sódicos e sódicos ocupam cerca de 160.000 km² ou 2% do território brasileiro. Os solos salinos e sódicos ocorrem no Rio Grande do Sul, no Pantanal Mato-Grossense e, predominantemente, na região semiárida do Nordeste. Pereira (1983) estimou uma área de 91.110 km² de solos afetados por sais no nordeste brasileiro. Embora a fonte principal e direta de todos os sais presentes no solo seja a intemperização das rochas, são raros os exemplos em que esta fonte de sais tenha provocado diretamente problemas relacionados com a salinidade do solo. Comumente a salinização dos solos ocorre pelo acúmulo de sais transportados pelas águas de outros locais, assim como, invasão das águas de marés nas regiões costeiras e concentração por evaporação em regiões de baixa precipitação quando o lençol freático encontra-se próximo à superfície (RIBEIRO; BARROS; FREIRE, 2009). Em circunstâncias onde a evaporação é superior à precipitação os sais não são lixiviados, acumulando-se em quantidades prejudiciais ao crescimento normal das plantas (BARROS *et al.*, 2004). O processo de salinização pode ser acelerado pelo uso da irrigação com água contendo altas concentrações de sais em solos com problemas de drenagem (FAGERIA; STONE; SANTOS, 1999; OLIVEIRA *et al.*, 2002; MEDEIROS *et al.*, 2003).

No Paraná, as análises de sódio trocável e condutividade elétrica de solo, de custo médio de R\$ 30,00 (em 2014), são contratadas pela UGL juntamente com o contrato de serviço de análise de parâmetros de caracterização do lodo. Uma vez que estas análises não fazem parte do escopo das análises de fertilidade de solos, seria complicado solicitá-las como contrapartida do agricultor que receberá o lodo. Entende-se que não é justificável a realização destas análises antes da aplicação do lodo em regiões que não possuem solos salinos. No estado do Paraná, os solos salinos estão concentrados nas áreas de manguezais do litoral, onde os Gleissolos Sálidos estão presentes (SBCS, 2013). Considera-se também que para o caso de se exigir a determinação de sódio trocável e condutividade elétrica de solo em regiões de solos salinos deveria ser estabelecido um limite acima do qual não seria permitida a aplicação do lodo de esgoto.

Em relação ao monitoramento de substâncias inorgânicas antes da primeira aplicação do lodo de esgoto, é provável que esta exigência tenha sido baseada na norma da UE, a qual estabelece limites de concentração de substâncias inorgânicas

nos solos, com base em uma amostra representativa com pH entre 6 e 7, sendo que o solo não poderá receber biossólido se possuir concentração acima desses limites (COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES, 1986). No entanto, na norma brasileira não está claro o objetivo deste monitoramento inicial do solo, uma vez que não são estabelecidos limites no solo que irá receber lodo.

O § 1º do art. 21 estabelece que a utilização da área proposta para aplicação de lodo de esgoto dependerá da avaliação da qualidade do solo, realizada mediante a comparação dos resultados analíticos com valores orientadores de qualidade de solo, a critério do órgão ambiental competente. Considera-se que este parágrafo deveria ser mais específico, citando quais os parâmetros deveriam ser avaliados e comparados com valores orientadores de qualidade do solo.

Ao estabelecer o monitoramento de substâncias inorgânicas em solo antes da primeira aplicação de lodo a Resolução Conama 375/06 deveria ter por objetivo estabelecer limites para substâncias inorgânicas nos solos que irão receber lodo. Dessa forma, é necessário que o texto da Resolução apresente claramente os critérios para os quais, conforme a própria norma já indica, devem ter como base os valores de referência de qualidade (VRQs) para as substâncias inorgânicas definidos em cada estado.

Segundo a Resolução Conama 420/09, VRQ é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físico-químicas de amostras de diversos tipos de solos. Na lista de valores orientadores para solos da Resolução Conama 420/09 constam as 11 substâncias inorgânicas e 29 das substâncias orgânicas presentes na Resolução Conama 375/06. No entanto, a Conama 420/09 estabelece que os valores de referência para as substâncias inorgânicas deverão ser definidos pelo estado e que para substâncias orgânicas não são aplicáveis (BRASIL, 2009).

A Resolução Conama 460/13 (BRASIL, 2013) que altera a Resolução 420/09 estabelece um prazo até dezembro de 2014, para que os órgãos ambientais dos estados e do Distrito Federal estabeleçam VRQs para substâncias químicas naturalmente presentes no solo. O estado de São Paulo já determinou os VRQs (CETESB, 2014) e estados como Minas Gerais, Espírito Santo (MELLO; ABRAHÃO,

2013), Pará, Rondônia e Mato Grosso (ALLEONI; FERNANDES; SANTOS, 2013) e Paraná (MELO; SOUZA; BUSCHLE, 2013) estão em diferentes etapas de estudo para definição dos VRQs.

Em relação ao monitoramento inicial de substâncias inorgânicas em solo, seria adequado manter somente o texto do § 5º do art. 21, o qual estabelece que o monitoramento de substâncias inorgânicas no solo deverá ser realizado a cada aplicação, sempre que estas substâncias forem consideradas poluentes limitantes da taxa de aplicação.

Considera-se que o item II do § 5º está adequado, ao estabelecer que quando a carga acumulada teórica adicionada, para qualquer uma das substâncias inorgânicas monitoradas, alcançar 80% da carga acumulada teórica permitida deve-se realizar análise de monitoramento para verificar se as aplicações subsequentes são apropriadas. No entanto é necessário especificar que este monitoramento deve ser realizado após a aplicação do lodo.

O item III do § 5º, estabelece que a cada 5 aplicações deve ser realizado o monitoramento das substâncias inorgânicas no solo, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo. É necessário verificar a aplicação deste item, principalmente nos casos em que o lodo apresentar baixas concentrações de substâncias inorgânicas e o solo originalmente não apresentar excesso de substâncias inorgânicas, visto que a quantidade de 5 aplicações pode não resultar em um impacto negativo ao solo e ao cultivo agrícola.

O § 2º do art. 21 define que “para substâncias orgânicas, as concentrações permitidas no solo são as constantes na Tabela 2 do Anexo V da Resolução”. No entanto, a definição do monitoramento de substâncias orgânicas em solo é tratada somente no § 6º do art. 21, o qual estabelece que o monitoramento dessas substâncias deva ser realizado somente quando as mesmas forem detectadas na caracterização do lote. A ordem dos parágrafos no texto dificulta o seu entendimento, sendo que o texto do § 2º deveria ser posterior ao do § 6º.

A Tabela 2 do Anexo V da Resolução Conama 375/06 determina valores de concentrações permitidos em solos agrícolas para os compostos orgânicos, os quais são iguais aos valores orientadores de prevenção para solo, estabelecidos pela CETESB (2005), não sendo determinadas as concentrações limites no solo para os

POPs (BRASIL, 2006). Como já discutido no presente documento, considera-se que, o monitoramento de substâncias orgânicas no lodo de esgoto deveria ser mais bem pesquisado, e dessa forma, o monitoramento destas substâncias no solo agrícola deveriam ser revistas.

O § 3º do art. 21 também apresenta um texto confuso: “O monitoramento dos parâmetros de fertilidade do solo deve ser realizado, no mínimo a cada 3 anos, quando houver aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado na área em questão”. O texto não define um período limite para realização deste monitoramento e, considerando que a recomendação agrônômica é feita com base nas características do solo, do lodo e do cultivo agrícola, o próprio cálculo de recomendação deve ser o instrumento que possibilita o uso seguro do material, de modo que não cause impactos negativos ao solo, água subterrânea e ao cultivo agrícola. Este parágrafo deveria ser retirado, pois não é necessário fazer análise de fertilidade de solo a cada 3 anos e sim antes de cada aplicação, como estabelece a técnica agrônômica, independente se o lodo é higienizado por processo alcalino ou por outro processo. Por este motivo, considera-se inadequado o texto do § 4º “O monitoramento dos parâmetros de fertilidade do solo deverá ser realizado antes de cada aplicação, no caso de lodo de esgoto ou produto derivado com estabilização alcalina”, o qual deveria ser retirado uma vez que o Art. 21 já estabelece que UGL caracterizará o solo agrícola antes da primeira aplicação de lodo de esgoto quanto aos parâmetros de fertilidade.

4.4.8 Quadro resumo das sugestões de alterações de texto e de estudos visando adequações na Resolução Conama 375/06

Item	Sugestão	Justificativa
Art. 2º	Acrescentar a definição dos termos: caracterização inicial e monitoramento.	A falta das definições dificulta o entendimento da Seção II e do Anexo IV.
Art. 3º	Rever a exigência de determinação de ovos viáveis de helmintos e vírus entéricos quando da adoção dos processos de tratamento para obtenção de lodo Classe A. Realização de estudo de análise de risco de parâmetros biológicos para as condições brasileiras.	A adoção de processos de higienização com controle operacional e o atendimento aos limites para organismos indicadores promoveriam o uso agrícola do lodo sem risco a saúde. O estabelecimento de parâmetros de controle operacional, como por exemplo pH, temperatura, tempo de armazenamento, poderiam ser utilizados para atestar a eficácia do processo, juntamente com análises laboratoriais de organismos indicadores. Dificuldade na logística do monitoramento de rotina para estes microrganismos.
Art. 7º § 1º	Não citar o Anexo III Retirar o item V - nitrogênio nitrato/nitrito da lista de caracterização do potencial agrônomo.	O Anexo III não está relacionado à determinação dos parâmetros agrônômicos e sim ao cálculo da taxa de aplicação do lodo. Devido às baixas concentrações verificadas, poder-se-ia omitir os valores de $N_{NO_2} + N_{NO_3}$ no cálculo de determinação do N disponível.
Art. 7º § 3º	Rever a exigência de determinação de compostos orgânicos. Desenvolver pesquisas brasileiras, que levem em conta os mecanismos de remoção desses compostos. Estabelecer uma caracterização inicial dos poluentes orgânicos no lodo, no caso de conclusão da necessidade de inclusão dessas substâncias na Resolução, relacionar o monitoramento com variação da qualidade do esgoto afluyente, em relação a parâmetros de fácil determinação.	Verificar se processos de tratamento do lodo de esgoto promovem a remoção dos compostos orgânicos sorvidos ao lodo. As determinações analíticas de substâncias orgânicas requerem sofisticados métodos laboratoriais e possuem elevado custo.

QUADRO 11 - RESUMO DAS SUGESTÕES DE ALTERAÇÕES DE TEXTO E DE ESTUDOS VISANDO ADEQUAÇÕES NA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06, ARTIGOS 2º AO 7º

FONTE: O autor (2014)

Item	Sugestão	Justificativa
Art. 9º	Esclarecer sobre o nível de informação necessária no licenciamento ambiental de UGL sobre as áreas de aplicação. Adotar os critérios de licenciamento de UGLs contidos na Resolução Sema 021/09.	A aprovação prévia, no momento do licenciamento, das áreas de aplicação inviabiliza, do ponto de vista logístico, a gestão da aplicação agrícola do lodo.
Art. 10º	Revisar as faixas e frequências de monitoramento estabelecidas	A adoção de uma frequência de monitoramento que considerasse a quantidade de lodo por caracterização, não compromete a segurança do uso do material e tornaria o custo de análise para UGLs de pequeno porte menos oneroso.
Art. 10º § 1º	Corrigir o texto para: “a caracterização do lodo de esgoto, representada por amostragem, deveria ser válida exclusivamente para o lote gerado no período compreendido entre esta amostragem e a anterior”.	O texto atual não está correto.
Art. 11º	Com base em pesquisas já desenvolvidas e no desenvolvimento de novas pesquisas para as condições brasileiras, definir os limites de poluentes inorgânicos e de parâmetros de sanidade em lodo.	É necessário adotar uma metodologia única para definição dos limites para todos os poluentes inorgânicos. Dificuldades de infraestrutura e de logística para realização de análises de parâmetros de sanidade em lodo.
Art. 12º	Desenvolver estudos técnico-científicos para avaliar a necessidade do estabelecimento das restrições de cultivos para o uso do lodo Classe A.	Verificar se as restrições impostas são realmente necessárias.
Art. 15º item III	Alteração do texto para: “para áreas de mananciais que não possuem sua área de proteção definida em legislação, o órgão ambiental estadual definirá os limites da área de manancial onde o lodo não poderá ser aplicado”.	Melhorar o entendimento do texto do item.
Art. 17º Item II	Adotar métodos de rápida realização, como os métodos do V% e do pH referência (SMP) para pH _{H2O} 5,5, para recomendação agrônômica de lodos alcalinos. Especificar que estes métodos são somente para lodos que passaram por processo de alcalinização.	Elevado tempo para execução do ensaio de incubação e pesquisa demonstram que os métodos do V% e SMP são seguros para recomendação de lodos higienizados com cal O texto não é específico para lodos que passaram por processo de alcalinização.
Art. 17º Item III	Realizar estudos para verificar se os limites de carga total acumulada teórica de substâncias inorgânicas no solo são adequados para as condições brasileiras.	É necessário determinar o período de tempo ou o número de aplicações limite para alcançar a carga estabelecida.

QUADRO 12 - RESUMO DAS SUGESTÕES DE ALTERAÇÕES DE TEXTO E DE ESTUDOS VISANDO ADEQUAÇÕES NA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06, ARTIGOS 9º AO 17º.

FONTE: O autor (2014)

Item	Sugestão	Justificativa
Art. 21º	<p>Realizar análise de fertilidade de solo antes de toda aplicação de lodo de esgoto na área agrícola e não somente antes da primeira aplicação.</p> <p>A exigência de monitoramento inicial dos parâmetros indicativos de salinidade de solo deve ser específica para as áreas e/ou regiões com potencial de salinização e para esses casos, deve-se estabelecer um limite acima do qual não seria permitida a aplicação do lodo de esgoto.</p> <p>A exigência de monitoramento de substâncias inorgânicas antes da primeira aplicação do lodo de esgoto deve ser revista.</p>	<p>A análise de fertilidade de solo é necessária para realização do projeto agrônômico.</p> <p>A presença de solos salinos, salino-sódicos e sódicos está limitada a algumas regiões brasileiras.</p> <p>Não está claro o objetivo do monitoramento inicial de substâncias inorgânicas no solo, uma vez que não são estabelecidos limites no solo que irá receber lodo.</p>
Art. 21º § 1º	O parágrafo deve citar quais os parâmetros devem ser avaliados e comparados com valores orientadores de qualidade do solo.	O texto do não está claro.
Art. 21º § 2º	O texto do § 2º deve ser posterior ao do § 6º.	A ordem dos parágrafos no texto dificulta o seu entendimento.
Art. 21º § 3º e §4º	Retirar os parágrafos.	Não é necessário fazer análise de fertilidade de solo a cada 3 anos e sim antes de cada aplicação, como estabelece a técnica agrônômica, independente do processo de higienização do lodo.
Art. 21º § 5º Item I	O item I deve ser critério para monitoramento inicial de substâncias inorgânicas em solo.	Em relação ao monitoramento inicial de substâncias inorgânicas em solo, seria mais adequado, manter somente o texto deste parágrafo, o qual estabelece que o monitoramento de substâncias inorgânicas no solo deverá ser realizado a cada aplicação, sempre que estas substâncias forem consideradas poluentes limitantes da taxa de aplicação.
Art. 21º § 5º Item II	Especificar que o monitoramento deve ser realizado após a aplicação do lodo.	Não está claro no texto qual é o momento da realização do monitoramento.
Art. 21º § 5º Item III	Revisar o item.	Nos casos em que o lodo apresente baixas concentrações de substâncias inorgânicas e o solo originalmente não apresente excesso de substâncias inorgânicas, a quantidade de 5 aplicações pode não resultar em um impacto negativo ao solo e ao cultivo agrícola.

QUADRO 13 - RESUMO DAS SUGESTÕES DE ALTERAÇÕES DE TEXTO E DE ESTUDOS VISANDO ADEQUAÇÕES NA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06, ARTIGO 21º

FONTE: O autor (2014)

Item	Sugestão	Justificativa
Anexo I	<p>Acrescentar as alternativas referentes aos tratamentos que envolvem relações de tempo e temperatura e relações de elevação de pH e temperatura.</p> <p>Retirar a exigência de Processos de Redução de Atratividade de Vetores (PRAV)</p>	<p>A Resolução Conama 375/06 teve por base a CFR 40 Parte 503, no entanto não cita estas alternativas de PRAP.</p> <p>Considera-se que o lote de lodo ao atender a condição de estabilidade, já estaria atendendo a exigência de redução de atratividade de vetores.</p> <p>Revisar o limite do critério de estabilidade.</p>
Anexo IV	<p>Acrescentar os critérios para amostragem de parâmetros agronômicos.</p> <p>Seguir os procedimentos estabelecidos pela Instrução Normativa MAPA nº 10/2004 (BRASIL, 2004) para caracterizar um lote de lodo.</p>	<p>O Anexo não aborda em seu texto os critérios para amostragem de parâmetros agronômicos.</p> <p>Os critérios de coleta de amostras não estão claros.</p>
Anexo V	<p>Rever a exigência de monitoramento de substâncias orgânicas no lodo de esgoto, listadas na Resolução.</p> <p>Retirar a lista de POPs que tem uso proibido no Brasil, com exceção dos não-intencionais, para os quais é necessário a realização de pesquisas que verifiquem a necessidade de monitoramento no lodo tratado para uso agrícola.</p> <p>Realizar pesquisas sobre o tema, principalmente em relação a mecanismos de remoção de substâncias orgânicas em lodo de esgoto.</p>	<p>Estudos internacionais mostram que o tratamento do esgoto e do lodo pode remover compostos orgânicos de lodo.</p> <p>Ao contrário da maior parte das legislações internacionais, é grande o número de substâncias orgânicas exigidas na legislação brasileira para caracterização de lodo de esgoto.</p> <p>A sugestão seria estabelecer uma caracterização inicial dos poluentes orgânicos no lodo e caso ocorra uma variação da qualidade do esgoto afluyente, em relação a parâmetros de fácil determinação como pH, DQO, cor e temperatura, exigir-se-ia o monitoramento dos compostos no lodo. No entanto, para isso é necessário o desenvolvimento de estudos que relacionem estes parâmetros.</p>
Anexo VIII	<p>Rever os itens necessários para elaboração do projeto agronômico.</p> <p>Retirar os itens 7 - Relatório de operação e 8 – Monitoramentos.</p> <p>Incluir um novo anexo para tratar destes temas, os quais estão relacionados com o controle e a rastreabilidade do processo de uso agrícola de lodo de esgoto.</p>	<p>O grande número de áreas agrícolas que recebem lodo anualmente no Paraná, torna inviável, principalmente operacionalmente, a elaboração de projetos agronômicos com o nível de detalhamento descrito na Resolução.</p> <p>O relatório de operação e dados de monitoramentos são posteriores a aplicação do lodo e o anexo VIII trata do projeto agronômico que é prévio a aplicação.</p>

QUADRO 14 - RESUMO DAS SUGESTÕES DE ALTERAÇÕES DE TEXTO E DE ESTUDOS VISANDO ADEQUAÇÕES NA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06, ANEXOS I A VIII

FONTE: O autor (2014)

5 CONCLUSÕES

A realização do presente estudo, que teve por base a avaliação da gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná, no período de 2007 a 2013 e a análise crítica da Resolução Conama 375/06, permitiu a confirmação da hipótese de que texto da Resolução, em alguns critérios e procedimentos, não é aplicável às condições paranaenses, dificultando a gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto.

O estudo possibilitou a divulgação de dados da destinação agrícola de lodo de esgoto no Paraná, um dos poucos estados brasileiros com experiência na realização do processo, sendo que alguns resultados e considerações apresentadas podem ser extrapolados para outros estados brasileiros que possuam condições similares. Por fim, o estudo apresentou subsídios visando contribuir para as adequações da Resolução Conama 375/06.

5.1 ESTUDO DE CASO DA GESTÃO DO PROCESSO DE USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO ESTADO DO PARANÁ

O estudo de caso da gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná permitiu a elaboração de um fluxograma com as etapas do processo, o qual incluiu atividades em duas esferas de ação: uma no âmbito da UGL e outra no âmbito agrícola. Foi possível verificar que o desenvolvimento da atividade é complexo e envolve infraestrutura para higienização e armazenamento, processo de formação de lotes diferenciado entre UGLs, transporte concentrado em determinadas épocas do ano, planejamento para formação de lotes em períodos próximos a demanda agrícola, além da necessidade de profissionais capacitados para a gestão do processo.

Na avaliação da gestão na Região Metropolitana de Curitiba (RMC) no período de 2007, ano em que iniciou a vigência da Resolução, a 2013, verificou-se

que 162.825 toneladas de lodo foram aplicadas em 4.510 ha de áreas agrícolas. Até o ano de 2011 houve um aumento na quantidade de lodo destinada, mas a partir de 2012 observou-se uma redução, devido à destinação a aterro industrial.

Na avaliação da gestão no Paraná no período de 2011, ano em que iniciou a consolidação da gestão no interior do estado, a 2013, verificou-se que 107.416 t de lodo foram aplicadas em 5.529 ha de áreas agrícolas, sendo a RMC responsável por 54% da destinação.

Apesar do interior do estado possuir um maior potencial de áreas agrícolas para aplicação do lodo de esgoto, quando comparado à RMC, os resultados mostraram que a expansão da atividade no interior do Paraná ainda é tímida, com somente 15 UGLs das 77 UGLs licenciadas destinando o lodo para uso agrícola no período de 2011 a 2013. Destaca-se que o material tem boa aceitação por parte dos agricultores, portando não sendo esse o motivo da pequena expansão do processo, o qual, segundo relatos dos gestores, foi principalmente a falta de infraestrutura aliada a complexidade da gestão do processo.

5.2 PARÂMETROS AGRONÔMICOS E SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS EM LOTES DE LODO DE ESGOTO DESTINADOS A USO AGRÍCOLA NO PARANÁ, NO PERÍODO DE 2007 A 2013

Em relação aos parâmetros agronômicos, no período de 2007 a 2013, os lotes de lodo de esgoto da UGL aeróbia da RMC comparados aos lotes mistos das UGL da RMC apresentaram médias superiores para SVT, C_{org} , P, K, N_{total} e $N_{kjeldahl}$; inferiores para ST, Mg e S e não houve diferenças nas médias de $N_{amoniacal}$, $N_{nitrito+nitrato}$, pH, Ca e Na. As diferenças de médias dos resultados dos parâmetros agronômicos entre os lotes aeróbios e mistos da RMC não resultaram em diferenças nas taxas de aplicação dos lotes nas áreas agrícolas.

No período de 2011 a 2013 os lotes mistos produzidos no interior do estado, comparados aos lotes mistos da RMC, apresentaram menores médias de pH, K, Ca e Mg, maiores médias para ST, SVT, C_{org} , $N_{kjeldahl}$, $N_{amoniacal}$, $N_{nitrito+nitrato}$ e não houve

diferenças entre as médias de P, S e Na. As diferenças de médias verificadas não foram a causa da menor média de taxa de aplicação dos lotes interior do estado, a qual foi consequência dos maiores V% dos solos aonde o lodo das UGLs do interior foi aplicado.

Os lotes de lodo de esgoto apresentaram níveis de substâncias inorgânicas em média 90% abaixo dos limites da Resolução Sema 021/09. Fato que demonstra a segurança na utilização agrícola do lodo produzido nas UGLs na RMC e que comprova que o controle do recebimento de efluentes industriais na rede de esgotamento doméstico é eficaz para obtenção de lodos com baixos teores de substâncias inorgânicas. Houve grande variabilidade na concentração dessas substâncias. No período de 2007 a 2013, os lotes produzidos na UGL aeróbia da RMC apresentaram maior concentração média de Cr e Ni e menor de Mo, Se e Zn quando comparados aos lotes mistos das UGLs da RMC. No período de 2011 a 2013, as médias dos lotes mistos do interior do estado foram superiores para Ba, Cd, Cr, Cu, Ni e Pb e inferiores para Hg e Se em relação às médias dos lotes mistos das UGLs da RMC. Para as demais substâncias inorgânicas não houve diferenças entre as médias.

No cálculo de taxa de aplicação de lodo para as áreas agrícolas no período, o critério de acúmulo de substâncias inorgânicas no solo não foi o fator limitante em nenhuma das recomendações agronômicas elaboradas.

5.3 SORÇÃO DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS DA RESOLUÇÃO CONAMA 375/06 EM LODO DE ESGOTO

Com base nos valores de coeficiente de partição octanol-água (K_{ow}) dos compostos orgânicos da Resolução Conama 375/06, identificou-se que o potencial de sorção ao lodo de esgoto é baixo para cresóis e dimetil ftalato e médio para, 2,4-diclorofenol, 2,4,6-triclorofenol e naftaleno. Apesar deste potencial, conclui-se que é necessária a realização de estudos sobre o comportamento desses compostos orgânicos no tratamento de esgoto e do lodo, de modo a verificar a necessidade ou não dos mesmos constarem da lista de substâncias orgânicas da Resolução Conama

375/06, uma vez que os compostos benzeno clorados, dimetil ftalato e cresóis e 2,4,6-Triclorofenol foram detectados em lodo de esgoto no Paraná.

Da mesma forma, em relação aos compostos que apresentam alto potencial de sorção ao lodo de esgoto, caso estejam presentes no esgoto, é necessário realizar pesquisas que levem em conta características físico-químicas desses compostos que possam conduzir a sua remoção durante o tratamento do lodo para uso agrícola.

Os POPs não classificados como não intencionais, os quais têm sua fabricação e uso proibidos no Brasil, não deveriam estar presentes na lista de compostos a serem caracterizados em lodo de esgoto destinado a uso agrícola. Em relação aos POPs não intencionais e aos demais compostos orgânicos com alto potencial de sorção ao lodo, sugere-se a realização de estudos que permitam concluir se estes devem ou não constar da lista de compostos orgânicos a serem caracterizados. Os resultados destes estudos poderiam ser utilizados para avaliar o destino dos compostos orgânicos durante o tratamento do esgoto e do lodo e auxiliar na revisão dos critérios da Resolução, visando o estabelecimento de procedimentos que favoreçam a remoção de tais compostos.

5.4 A RESOLUÇÃO CONAMA 375/06 E SUA APLICABILIDADE NA GESTÃO DO USO AGRÍCOLA DE LODO DE ESGOTO NO ESTADO DO PARANÁ

A partir da análise dos critérios da Resolução Conama 375/06, considerando as especificidades da gestão do uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná, verificou-se que critérios e procedimentos do documento são complexos e contribuem para as dificuldades verificadas na gestão do processo.

Sugeriu-se a revisão de 10 artigos e 4 anexos do documento, a qual foi composta de 23 sugestões de revisão e alterações de texto e 8 sugestões de temas para o desenvolvimento de estudos.

A revisão da Resolução Conama 375/06 é necessária e urgente. Neste processo de revisão é importante, por meio de estudos, análises e debates, verificar se é possível tornar a destinação agrícola de lodo de esgoto menos burocrática e

onerosa, sem comprometer a segurança sanitária e ambiental do uso agrícola. Dessa forma, o presente estudo pretende ser uma ferramenta que promova a adoção de critérios e procedimentos condizentes com a realidade paranaense e brasileira, contribuindo para a difusão dessa alternativa de destinação sustentável do lodo de esgoto.

REFERÊNCIAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Di-n-butyl ftalato (di-n-butyl phthalate) CAS # 84-74-2**. División de Toxicología ToxFAQsTM, setembro, 2001. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tf.asp?id=858&tid=167>>. Acesso em: 12/04/2014.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for dichlorobenzenes**. U.S. Department of Health and Human Services. Division of Toxicology and Environmental Medicine, Atlanta. 2006. 403 p.

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). **Toxicological profile for cresols**. División de Toxicología, setembro, 2008. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=946&tid=196>>. Acesso em: 12/04/2014.

AISSE, M. M.; FERNANDO, F.; SILVA, S. M. C. P. Aspectos tecnológicos e de processos. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A., FERNANDES, F. (Ed.). **Reciclagem de bio sólidos: transformando problemas em soluções**. 2 ed. Curitiba: Sanepar, Finep, 2001. p. 51-119.

ALBERS, P. H. Petroleum and individuals polycyclic aromatic hydrocarbons. In: HOFFMAN, D.J., RATTNER, B.A., BURTON, G.A. JR.; CAIRNS, J. Jr. (Eds.), **Journal Handbook of Ecotoxicology**. London: Lewis publishers, 1995. p. 330-355.

ALCANTARA, S. de; PEREZ, D. V.; ALMEIDA, M. R. A. de; SILVA, G. M. da; POLIDORO, J. C.; BETTIOL, W. Chemical changes and heavy metal partitioning in an oxisol cultivated with maize (*Zea mays*, L.) after 5 years disposal of a domestic and an industrial sewage sludge. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 203, n. 1-4, p. 3-16, 2009.

AL-HMOUD, N. Jordan. In: LEBLANC, R. J.; MATTHEWS, P; RICHARD, R. P. (Ed.). **Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge and Biosolids Management**. Malta: Progress Press, 2008. p. 403-411.

ALLEONI, L. R. F.; FERNANDES, A. R.; SANTOS, S. N. dos. Valores de referência de elementos potencialmente tóxicos nos estados do Pará, Rondônia e Mato Grosso. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas: SBCS v. 38, n. 01, p. 18- 21, jan. – abr. 2013.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21 ed. Washington: American Water Works, Association (AWWA) & Water Pollution Control Federation (WPCF). 2005.

ANDRADE, M. G. DE; LIMA, A. S. T. DE; MELO, W. J. DE; SANTOS, E. J. DOS; HERRMANN, A. B. Elementos-traço em dois latossolos após aplicações anuais de lodo de esgoto por treze anos. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 135-148, jan./fev. 2014

ANDREOLI, C., V.; BONNET, B. R. P.; LARA, A. I.; WOLTER, F. R. Proposição de plano de monitoramento da reciclagem agrícola do lodo de esgoto no Estado do Paraná. In: 9^o CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1997. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABES, 1997. p. 232-246.

ANDREOLI, C. V.; FRANÇA, M.; FERREIRA, A. C.; CHERUBINI, C. Desinfecção e secagem térmica de lodo de esgoto anaeróbico pelo uso de biogás. In: XXVIII CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 2002, Cancún. **Anais...** Cancún: AIDIS, 2002. CD-Rom

ANDREOLI, C. V.; GARBOSSA, L. H. P.; LUPATINI, G.; PEGORINI, E. S. Wastewater sludge management: A Brazilian approach. In: LEBLANC, R. J.; MATTHEWS, P.; RICHARD, R. P. (Ed.). **Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge and Biosolids Management**. Malta: Progress Press, 2008. p. 131-146.

ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; ILHENFELD, R. G. K. (Coord.). **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Rio Janeiro: PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, 1999. 97 p.

ANDREOLI, C.V.; PEGORINI, E. S.; FERNANDES, F. Disposição do lodo no solo. In: ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Curitiba: Sanepar, 2001. p. 261-297.

ANDREOLI, C.V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Curitiba: Sanepar, 2001. 484 p.

APEDAILE, E. A perspective on biosolids management. **Canadian Journal of Infectious Diseases**, v. 12, n.4, p. 202-204, 2001

AQUINO, S. F.; BRANDT, E. M. F.; CHERNICHARO, C. A. L. Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão de literatura. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 187-204, 2013.

ARSENAULT, R. D. **Pentachlorophenol and contained chlorinated dibenzodioxins in the environment: a study of environmental fate, stability, and significance when used in wood preservation**. Alexandria: American Wood-Preservers' Association, 1976. p. 122-147.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9.800**: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO MARINGAENSE DOS ENGENHEIROS AGRÔNOMOS. (AMEA). **Tabela de honorários profissionais para o engenheiro agrônomo: referencial de valores praticados no Paraná**. 21 p., setembro de 2013. Disponível em: <http://www.amea.org.br/upload/downloads/1378682386TabelaHonorarioAMEA_Seagro.pdf>. Acesso em 10/07/2014.

AUSTRALIA & NEW ZEALAND BIOSOLIDS PARTNERSHIP. **Biosolids production and end use in Australia**. AUSTRALIAN WATER ASSOCIATION. 2013. Disponível em: <<http://www.biosolids.com.au/bs-australia.php>>. Acesso em: 02/04/2014.

AUSTRALIAN WATER ASSOCIATION. **Guidelines for Sewerage Systems Biosolids Management**. National Water Quality Management Strategy (NWQMS) Natural Resource Management Ministerial Council (NRMMC), 2004, p. 22.

BACKES, C.; BÜLL, T.; GODOY, J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; LIMA, C. P.; PIRES, E. C. Uso de lodo de esgoto na produção de tapetes de grama esmeralda. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.4, p. 1045-1050, 2009.

BAGÓ, B.; MARTÍN, Y.; MEJÍA, G.; BROTO-PUIG, F.; DÍAZ-FERRERO, J.; AGUT, M.; COMELLAS, L. Di-(2-ethylhexyl)phthalate in sewage sludge and post-treated

sludge: Quantitative determination by HRGC-MS and mass spectral characterization. **Chemosphere**, v. 59, p. 1191–1195, 2005.

BARCELAR, C. A.; ROCHA, A. A., LIMA, M. R., POHLMANN, M. Efeito residual do lodo de esgoto alcalinizado em atributos químicos e granulométricos de um cambissolo húmico. **Revista Scientia Agraria**, v. 2, p. 87-91, 2001.

BARES, M. E.; BRAGA, M. C. B.; AISSE, M. M.; NOYOLA, A.; BRAGA, S. M. Avaliação e definição da melhor relação tempo versus temperatura para a remoção de ovos de helmintos e coliformes termotolerantes em reator termohidrolisador. **Revista Científica (Faculdade Anchieta de Ensino Superior do Paraná)**, n. 7, p. 85 - 94, 2011.

BARROS, M. de F. C.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ V., V. H.; RUIZ, H. A. Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n.1, p. 59-64, 2004.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D; DIAS, G. M. F.; BARONY, F. J. A. Análise crítica da legislação brasileira para uso agrícola de lodos de esgotos na perspectiva da avaliação quantitativa de risco microbiológico. **Revista AIDIS**, v.2, n.1, p.143-59, 2009.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D; MARA, D. D. Análise crítico-comparativa das regulamentações brasileira, estadunidense e britânica de qualidade microbiológica de biossólidos para uso agrícola. **Revista DAE**, n. 191, jan.-abr., 2013.

BEECHER, N. Moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource. In: LEBLANC, R. J.; MATTHEWS, P; RICHARD, R. P. (Ed.). **Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge and Biosolids Management**. Malta: Progress Press, 2008. p. 15 – 83.

BEECHER, N.; CRAWFORD, K.; GOLDSTEIN, N; KESTER, G. LONO-BATURA M.; DZIEZYK, E. **A national biosolids regulation, quality and use & disposal survey**. Final report. North East Biosolids and Residuals Association (NEBRA), July 20. 2007. 30 p.

BENABDALLAH EL-HADJ, T.; DOSTA, J.; MATA-ALVAREZ, J. Biodegradation of PAH and DEHP micro-pollutants in mesophilic and thermophilic anaerobic sewage sludge digestion. **Water Science and Technology**, v. 53, n. 8, p. 99-107, 2006.

BENEDINI, M. S.; PENATTI, C. P. Recomendação de adubação da cana-de-açúcar pela estimativa de produtividade. **Revista Coplana**, janeiro 2008, p. 20-21.

BERNAL-MARTINEZ, A.; CARRERE, H.; PATUREAU, D.; DELGENES, J. P. Ozone pre-treatment as improver of PAH removal during anaerobic digestion of urban sludge. **Chemosphere**, v. 68, n. 6, p. 1013, 2007.

BERTON, S. R.; NOGUEIRA, T. A. R. Uso de Lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. (Ed.). **Uso Agrícola de Lodo de Esgoto: avaliação após a Resolução n.375 do Conama**. Botucatu: FEPAF, 2010. p.31-50.

BETTIOL, W.; CARVALHO, P. C. T.; FRANCO, B. J. D. C. Utilização do lodo de esgoto como fertilizante. **O Solo**, Piracicaba, v.75, n.1, p. 44-54, 1983.

BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L.; PEREZ, D. V.; ANDRADE, A. G.; MENEGUELL, N. A. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 41, n. 3, mar. 2006.

BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, C. V.; MOCHIDA, G. A.; SERRAT, B. M. Uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. (Ed.). **Uso Agrícola de Lodo de Esgoto: avaliação após a Resolução n.375 do Conama**. Botucatu: FEPAF, 2010b. p. 281-300.

BITTENCOURT, S.; OLIVEIRA, A. B.; SERRAT, B. M.; COSTA, G. Gestão do lodo de esgoto para uso agrícola no Paraná: da geração à destinação final. In: VII SIMPÓSIO INTERAMERICANO DE BIODIVERSIDADE, 2010, Campinas. **Anais e palestras...** Campinas: IAC; Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2010a. 1CD-ROM.

BITTENCOURT, S.; SERRAT, B. M.; AISSE, M. M.; GOMES, D. Sewage Sludge Usage in Agriculture: a Case Study of its Destination in Curitiba Metropolitan Region. In: X Oficina e Seminário Latino Americano de Digestão Anaeróbia (DAAL), 2011, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: Universidades Federais de Minas Gerais (UFMG), de Ouro Preto (UFOP), 2011. Disponível em: <<http://www.desa.ufmg.br/daal2011/anais/>>. Acesso em: 25/01/2013.

BORGES, E. S. M.; GODINHO, V. M.; BEJAR, D. O.; CHERNICHARO, C. A. L. Tratamento térmico de lodo anaeróbico com utilização do biogás gerado em reatores

UASB: avaliação da autosustentabilidade do sistema e do efeito sobre a higienização e a desidratação do lodo. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 337-346, 2009.

BORGES, M. R.; COUTINHO, E. L. M. Metais pesados dos solos após aplicação de biossólido, I – Fracionamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 543-555, 2004.

BOYD, S.; SHELTON, D. R. Anaerobic Biodegradation of Chlorophenols in Fresh and Acclimated Sludge. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 47, n. 2, p. 272-277, fev. 1984.

BRASIL. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. Ministério da agricultura, pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução normativa MAPA Nº 10, de 06/05/2004. Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 04 nov. 2004. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/sanidade-vegetal/legislacao>>. Acesso em: 29/03/2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. 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. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 ago. 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 25/01/2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 380 de 31 de outubro de 2006. Retifica a Resolução CONAMA n. 375/06. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 07 nov. 2006b. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_2006_380.pdf>. Acesso em: 25/01/2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 DEZ. 2009 Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 25/10/2014.

BRASIL. Presidência da República Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Disponível em: <<http://portal.saude.gov.br>>. Acesso em: 29/03/2014.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Série Histórica 2012**. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 05/09/2014.

CAI, Q. Y.; MO, C. H.; LÜ, H.; ZENG, Q. Y.; WU, Q. T.; LI, Y. W. Effect of composting on the removal of semivolatile organic chemicals (SVOCs) from sewage sludge. **Bioresource Technology**, v. 126, p. 453–457, 2012.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. **A Review of the Current Canadian Legislative Framework for Wastewater Biosolids**, 2010, 64p.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENT. **Canada-wide approach for the management of wastewater biosolids**. Canadian Council of Ministers of the Environment, 2012, 8p. Disponível em: <http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1477_biosolids_cw_approach_e.pdf>. Acesso em: 02/04/2014.

CARBALLA, M.; FINK, G.; OMIL, F.; LEMA, J.M.; TERNES, T. Determination of the solid water distribution coefficient (K_d) for pharmaceuticals, estrogens and musk fragrances in digested sludge. **Water Research**, v.42, p. 287-295, 2008.

CARBALLA, M.; MANTEROLA, G.; LARREA, L.; TERNES, T.; OMIL, F.; LEMA, J. M. Influence of ozone pre-treatment on sludge anaerobic digestion: removal of pharmaceutical and personal care products. **Chemosphere**, v. 67, n.7, p. 1444-1452, 2007.

CARNEIRO, C.; SOTTOMAIOR, A. P.; ANDREOLI, C.V. Dinâmica de nitrogênio em lodo de esgoto sob condições de estocagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 987-994, 2005.

CHERIF, S.; BEN FRADJ, R.; JRAD, A. Quality of treated wastewater: method validation of AOX. **Accreditation and Quality Assurance**, v.11, p. 632–637, 2006.

CHERNICHARO, C. A. L.; VAN HAANDEL, A. C.; FORESTI, E.; CYBIS, L. F. Introdução. In: CHERNICHARO, C. A. L. (coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: PROSAB, 2001. p.19-34.

CHUEIRI, W. A., SERRAT, B. M.; BIELE, J.; FAVARETTO, N. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 502-508, 2007.

CLARA, M.; STRENN, B.; GANS, O.; MARTINEZ, E.; KREUZINGER, N.; KROISS, H. Removal of selected pharmaceuticals, fragrances and endocrine disrupting compounds in a membrane bioreactor and conventional wastewater treatment plants. **Water Research**, v. 39, p. 4797-4807, 2005.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**, São Paulo: CETESB, Decisão de Diretoria N° 195-2005-E, 2005.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Relatório Técnico: Caracterização físico-química, microbiológica, parasitológica e ecotoxicológica de lodos de estações de tratamento de esgoto do Estado de São Paulo**. 2009. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/tecnologia-ambiental/camara-saneamento/Eventos/Caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20de%20Lodos%20de%20ETEs%20-%20Relat%C3%B3rio%20T%C3%A9cnico.pdf>>. Acesso em: 01/07/2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Dioxinas e furanos**. Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental. 2012a. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/Dioxinas-e-furanos.pdf>>. Acesso em: 03/02/2015.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Pentaclorofenol**. Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental, janeiro de 2012b. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/pentaclorofenol.pdf>>. Acesso em: 20/04/2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Hexaclorobenzeno**. Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental. 2012c. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/Hexaclorobenzeno.pdf>>. Acesso em: 20/04/2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Cresol (o-cresol, m-cresol e p-cresol)**. Divisão de Toxicologia, Genotoxicidade e Microbiologia Ambiental. 2013. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/cresol.pdf>>. Acesso em: 20/04/2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Os POPs da Convenção (2014a). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/institucional/stockholm-convention/118-os-pops-da-convencao>>. Acesso em: 20/04/2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**, São Paulo: CETESB, Decisão de Diretoria 045/2014/E/C/I, de 20-02-2014, 2014b.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ (SANEPAR). **Plano de gerenciamento para utilização agrícola do lodo de esgoto da Unidade de gerenciamento de lodo UGL ETE Ronda, Ponta Grossa**. Ponta Grossa, PR, 2008.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ (SANEPAR). **Relatório de administração e demonstrações contábeis 2012**. Curitiba: Sanepar, 2012a, 69p. Disponível em: <http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/relatorio_demonstracoes_contabeis_2012_b.pdf>. Acesso em: 05/09/2014.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ (SANEPAR). **Gerências gerais e unidades regionais da Sanepar no Paraná**. Curitiba: Sanepar, abril, 2012b, Mapa, escala 1:600.000.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ (SANEPAR). **Sistema Normativo da Sanepar**. IT/OPE/1899 - Gestão de Efluentes Não Domésticos. Curitiba: Sanepar, setembro, 2013.

COMPARINI, J. B. **Estudo do decaimento de patógenos em biossólidos estocados em valas e em biossólido submetidos à secagem em estufa agrícola.** 278 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo, 2001.

COMPARINI, J. B.; ALÉM SOBRINHO, P. Efeitos da secagem em estufa agrícola no decaimento de patógenos presentes em biossólidos. In: FEIRA INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2003, Joinville. **Anais...** Joinville: ABES, 2003.

CONSTABLE, T. W.; TAYLOR, L. J.; RUSH, R. J. The effect of three sludge processing operations on the fate and leachability of trace organics in municipal sludges. **Environmental Technology Letters**, v. 7, p. 129–40, 1986.

CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F.; CORRÊA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p.420–426, 2007.

COUNCIL OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. Council directive 86/278/EEC of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture, **Official Journal L.**, v. 181, 1986, pp. 0006–0012. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=OwFVVACVJf&dl>>. Acesso em: 08/04/2014.

COUNTWAY, R. E.; DICKHUT, R. M.; CANUEL, E. A. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) distributions and associations with organic matter in surface waters of the York River, V A Estuary. **Organic Geochemistry**, v. 34, p. 209-224, 2003.

DAGUER, G. P. 2003. Gestión de biosólidos en Colombia. In: Congreso Internacional de ACODAL, 46º, 2003, Santiago de Cali, Colombia. **Anais...** Santiago de Cali: Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – ACODAL, 2003. Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/biosolidos.pdf>>. Acesso em: 30/01/2015.

DAKER, A. **A água na agricultura; manual de hidráulica agrícola.** 7.ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1988. 543 p.

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. de O. Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania*

virgata (Cav.) Pers. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 7, n. 2, p. 184-192, 2013.

DESCHAMPS, C.; FAVARETTO, N. Efeito do lodo de esgotos complementado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento da cultura do feijoeiro e do girassol. **SANARE**, Curitiba, v.8, n.8, p. 33-39, 1998.

ECKENFELDER, W. W.; PATOCZKA, J. B.; PULLIAM, G. W. Anaerobic versus aerobic treatment in the USA. In: HALL, E. R.; HOBSON, P. N. (ed.) **Anaerobic Digestion**, New York: Pergamon Press Oxford, 1988. p. 105-114.

ELLIOTT, H. A.; O'CONNOR, G. A. Phosphorus management for sustainable biosolids recycling in the United States. **Soil Biology & Biochemistry**, v.39, p.1318-1327, 2007.

EPSTEIN, E. **The Science of composting**. Flórida: CRC PRESS, 1997. 489 p.
EVANS, T. **Biosolids in Europe**. In: 26th WEF Residuals & Biosolids Conference, 2012, Raleigh, NC, USA. Disponível em: <<http://www.timevansenvironment.com/2012%20Biosolids%20in%20Europe%20-%20Evans%20-%20WEF%20R&B%20Conf.%2002E.pdf>>. Acesso em: 02/04/2014.

FAGERIA, N.K.; STONE, L.F.; SANTOS, A.B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 294 p.

FAVARETTO, N.; DESCHAMPS, C.; DAROS, E.; PISSAIA, A. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade do solo e no crescimento e produtividade do milho. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.40, n. 4, p.836-847, 1997.

FEDERATION OF CANADIAN MUNICIPALITIES. **Biosolids Management Programs**. Federation of Canadian Municipalities - National Research Council, n. 1, 2003, p. 1-52. Disponível em: <<http://www.infraguide.ca>>. Acesso em: 08/04/2014.

FELIX, F. F., NAVICKIENE, S.; DÓREA, H. S. Poluentes orgânicos persistentes (POPs) como indicadores da qualidade dos solos. **Revista da Fapese**, v.3, n. 2, p. 39-62, jul./dez. 2007.

FERNANDES, F.; ANDRAUS, S.; ANDREOLI, C.V. Eficiência dos processos de desinfecção do lodo da ETE-Belém com vista a seu uso agrícola. **Sanare**, v.5, n.5, p. 46-58, 1996.

GALDOS, M. V., DE MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.3, p.569-577, 2004.

GODWIN, A. Benefits of biosolids: how water utilities are turning waste into resource. **Water World**, v. 8, n. 7, 2012.

GOLET, E.; XIFRA, I.; SIEGRIST, H.; ALDER, A.; GIGER, W. Environmental exposure assessment of fluoroquinolone antibacterial agents from sewage to soil. **Environmental Science and Technology**, v. 37, p. 3243–3249, 2003.

GOMES, S. B. V., NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. Produtividade e composição mineral de plantas de milho em solo adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 459-465, 2007.

GÓMEZ-HENS, A.; AGUILAR-CABALLOS, M. P. Social and economic interest in the control of phthalic acid esters. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 22, n. 11, dez., p. 847–857, 2003.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; VON SPERLING, M. Remoção da umidade de lodos de esgotos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG-Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Curitiba: Sanepar, 2001. p.159-259.

HAIGH, S. D. A review of the interaction of surfactants with organic contaminants in soil. **Science of the Total Environment**, v. 185, p. 161–170, 1996.

HALLING-SØRENSEN, B.; NIELSEN, S. N.; LANZKY, P. F.; INGERSLEV, F.; LÜTZHØFT, H. C. H.; JØRGENSEN, S. E. Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment, a review. **Chemosphere**, v. 36, p. 357–393, 1998.

HAMMER, M.J.; HAMMER, M. J. JR. **Water and wastewater technology**. 4 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001. 536 p.

HARRISON, E. Z.; OAKES, S. R.; HYSELL, M.; HAY, A. Organic chemicals in sewage sludges. **Science of the Total Environment**, v. 367, p. 481–497, 2006.

HEBERER, T. Occurrence, fate, and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data. **Toxicology Letters**, v. 131, n. 1–2, p. 5–17, 2002.

HÉBERT, M. Public acceptance and independent certification of biosolids in Canada. In: *Wastewater Biosolids Sustainability: technical, managerial and public synergy*, 2007, New Brunswick. **Proceedings...** New Brunswick: IWA, 2007. p. 897-903.

HENDRIKSEN, H. V.; LARSEN, S.; AHRING, B. K. Anaerobic degradation of PCP and phenol in fixed-film reactors: The influence of an additional substrate. **Water Science and Technology**, v.24, p. 431-436, 1991.

HESPANHOL, I. Normas anormais. **Revista Dae**, n. 194, jan. – abr, p. 6-23, 2014.

HOLANDA, J. S.; AMORIM, J. R. A.; FERREIRA NETO, M.; HOLANDA, A. C. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 43-61.

HONG, J. **Public Perception of Biosolids, Developing a Survey to Assess the Public's Perception of Biosolids**. Final Report of Findings, University of Washington, College of Built Environments, 2013. Disponível em: <<http://cep.be.washington.edu/wp-content/uploads/2013/07/HongJiyeon.pdf>>. Acesso em: 02/04/2014.

HÖRSING, M.; LEDIN, A.; GRABIC, R.; FICK, J.; TYSKLIND, M.; JANSEN, J. C.; ANDERSEN, H. R. Determination of sorption of seventy-five pharmaceuticals in sewage sludge. **Water Research**, v. 45, p. 4470 – 4482, 2011.

HOSPIDO, A.; CARBALLA, M.; MOREIRA, M.; OMIL, F.; LEMA, J. M.; FEIJOO, G. Environmental assessment of anaerobically digested sludge reuse in agriculture: Potential impacts of emerging micropollutants. **Water Research**, v.44, p.3225-3233, 2010.

HYLAND, K. C.; DICKENSON, E. R. V.; DREWES, J. E.; HIGGINS, C. P. Sorption of ionized and neutral emerging trace organic compounds on to activated sludge from

different wastewater treatment configurations. **Water Research**, v. 46, p. 1958-1968, 2012.

INGUNZA, M. P. D.; ANDREOLI, C. V.; NASCIMENTO, R. M.; TINOCO, J. D.; HOPPEN, C.; PEGORINI, E. S. Capítulo 9. Uso de Resíduos do Saneamento na Fabricação de Cerâmica Vermelha. In: ANDREOLI, C.V. (coord.). **Alternativas de uso de resíduos de saneamento**. Projeto Prosab. ABES. Rio de Janeiro: 2006. p. 283 - 359.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná**. OLIVEIRA, E. L. de (Coord.). Londrina: IAPAR, 2003. 30 p. (Circular, n° 128).

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ (IAP). **Atos de Criação de Unidades de Conservação**. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1217>>. Acesso em: 15/08/2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Chuva acumulada mensal x número de dias com chuva em Curitiba (PR), anos 2011, 2012 e 2013**. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 07/07/2014.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Leituras regionais: Mesorregião Geográfica Metropolitana de Curitiba**. Curitiba: IPARDES, 2004. 219p.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Caderno estatístico - município de Pitanga**. Curitiba: IPARDES, 2013. 32 p. Disponível em: <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/Montapdf.php?Municipio=85200>>. Acesso em: 07/07/2014.

IRANPOUR, R.; COX, H. H. J.; KEARNEY, R. J.; CLARK, J. H.; PINCINCE, A. B.; DAIGGER, G. T. Regulations for Biosolids Land Application in U.S. and European Union. **Journal of Residuals Science & Technology**, v. 1, n. 4, 2004, p. 209-222.

JIANLONG, W.; LUJUN, C.; HANCHANG, S.; YI, Q. Microbial degradation of phthalic acid esters under anaerobic digestion of sludge. **Chemosphere**, v. 41, p. 1245-1248, 2000.

JIMÉNEZ, B. Latin América: México. In: Spinosa, L. **Wastewater sludge: a global overview of the current status and future prospects**. 2a. ed. London: IWA, 2011. p. 47 -50.

JONES, O. A. H.; VOULVOULIS, N.; LESTER, J. N. Partitioning behavior of five pharmaceutical compounds to activated sludge and river sediment. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 50, n. 3, p. 297-305, 2006.

JORDÁN, M. M.; ALMENDRO-CANDEL, M. B.; ROMERO, M.; RINCÓN, J. M. Application of sewage sludge in the manufacturing of ceramic tile bodies. **Applied Clay Science**, v.30, n. 3-4, p. 219-224. 2005.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 969 p.

JØRGENSEN, S. E.; HALLING-SØRENSEN, B. Drugs in the environment. **Chemosphere**, v. 40, p. 691–699, 2000.

JOSS, A.; ZABCZYNSKI, S.; GÖBEL, A.; HOFFMANN, B.; LÖFFLER, D.; MCARDELL, C. S.; TERNES, T. A.; THOMSEN, A.; SIEGRIST, H. Biological degradation of pharmaceuticals in municipal wastewater treatment: proposing a classification scheme. **Water Research**, v.40, p.1686-1696, 2006.

JUNIO, G. R. Z.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; CARNEIRO, J. P.; SANTOS, L. D. T.; FERNANDES, L. A. Produção de milho adubado residualmente com composto de lodo de esgoto e fosfato de Gafsa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1289–1297, 2012.

JUNIO, G. R. Z.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; SANTOS, G. B.; SANTOS, L. D. T.; FERNANDES, L. A. Produtividade de milho adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural de Gafsa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.7, p.706–712, 2013.

KELESSIDIS, A.; STASINAKIS, A. S. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. **Waste Management**, v. 32, 2012, p. 1186–1195.

KENNES, C.; MENDEZ, R.; LEMA, J. M. Methanogenic degradation of p-cresol in batch and in continuous UASB reactors. **Water Research**, v. 31, n. 7, p. 1549-1554, 1997.

KESTER, G. B.; BROBST, R. B.; CARPENTER, A.; CHANEY, R. L.; RUBIN, A. L.; SCHOOF, R. A.; TAYLOR, D.S. Risk characterization, assessment, and management of organic pollutants in beneficially used residual products. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, p. 80–90, jan.–feb 2005.

KOLPIN, D. W.; FURLONG, E. T.; MEYER, M.; THURMAN, E. M.; ZAUGG, S. D.; BARBER, L. B.; BUXTON, H. A. T. Pharmaceuticals, hormones, and other organic waste water contaminants in US streams, 1999 –2000: a national reconnaissance. **Environmental Science and Technology**, v. 36, p. 1202–1211, 2002.

KOZIEVITCH, V. F. J.; COELHO, A. C. V.; SOUZA, S. P. Corpos de cerâmica vermelha produzidos com Tanguá de Jundiá e lodo de estação de tratamento de esgotos domiciliares: propriedades cerâmicas. In: 50º Congresso Brasileiro de Cerâmicas, 2006, Blumenau. **Anais...** Blumenau: Sociedade Brasileira de Cerâmica, 2006.

LANGDON, K. A.; WARNE, M. S. TJ.; KOOKANAZ, R. S. Aquatic hazard assessment for pharmaceuticals, personal care products, and endocrine-disrupting compounds from biosolids-amended land. **Integrated Environmental Assessment and Management**. v. 6, n. 4, p. 663–676, 2010.

LARA, A. I. Antecedentes. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. (Ed.). **Reciclagem de Biossólidos, transformando problemas em soluções**. Curitiba: FINEP; SANEPAR, 2ª ed., 2001. p.14-19.

LAU, T. K.; CHU, W.; GRAHAM, N. The degradation of endocrine disruptor di-n-butyl phthalate by UV irradiation: A photolysis and product study. **Chemosphere**, v. 60, n. 8, p. 1045–1053, 2005.

LEBLANC, R. J.; MATTHEWS, P; RICHARD, R. P. Introduction. In: LEBLANC, R. J.; MATTHEWS, P; RICHARD, R. P. (Ed.). **Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge and Biosolids Management**. Malta: Progress Press, 2008. p. 1 – 7.

LEITE, G. S.; AFONSO, R. J. C. F.; AQUINO, S. F. Caracterização de contaminantes presentes em sistemas de tratamento de esgotos, por cromatografia líquida acoplada

à espectrometria de massas tandem em alta resolução. **Química Nova**, v. 33, n. 3, p. 734-738, 2010.

LEMANSKI, J.; SILVA, J. E. Utilização do biossólido da CAESB na produção de milho no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.4, p. 741-750, 2006.

LIMA, A. D.; DUARTE, A. C. L.; INGUNZA, M. P. D.; NASCIMENTO, R. M. Caracterização de lodo de ETE visando seu uso como matéria-prima na indústria de telhas cerâmicas. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABES, 2007.

LIMA, M. R. P. **Uso de Estufa Agrícola para Secagem e Higienização de Lodo de Esgoto**. 285f. Tese (Doutorado em Engenharia) Escola Politécnica, Universidade Estadual de São Paulo. São Paulo, 2009.

LINDBERG, R. H.; BJÖRKLUND, K.; RENDAHL, P.; JOHANSSON, M. I.; TYSKLIND, M.; ANDERSSON, B. A. V. Environmental risk assessment of antibiotics in the Swedish environment with emphasis on sewage treatment plants. **Water Research**, v.41, n.3, p. 613-619, 2007.

LOPES, J. C.; RIBEIRO, L. G.; ARAÚJO, M. G.; BERALDO, M. R. B. S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 143-147, 2005.

LOURENÇO, R. S.; ANJOS, A. R. M. dos; LIBARDI, P. L.; MEDRADO, M. S. M. Efeito do lodo de esgoto na produtividade de milho e feijão, no sistema de produção da bracinga. **SANARE**, Curitiba, v. 5, n. 5, p. 90-92, 1996.

LOZER, J. G. **Desaguamento e higienização de lodo de esgoto utilizando estufa agrícola sobre leitos de secagem**. 108 f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2012.

LUDUVICE, M. Processos de estabilização de lodos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG-Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Curitiba: Sanepar, 2001. p.123-157.

MACHADO, M.F.S.; FIGUEIREDO, R.F.; CORAUCCI FILHO, B. Produção brasileira de lodos de esgotos. **Sanare**, v.22, n.22, p.66-74, 2004.

MANZOCHI, C. I. S. **Logística para tratamento e disposição final de lodos de ETEs visando reciclagem agrícola**. 243 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Florianópolis, 2008.

MARIN, L. M. K. S.; BITTENCOURT, S.; ANDREOLI, C. V.; CARAFINI, C.; LIMA, M. R.; SERRAT, B. M.; MOCHIDA, G. A. Determinação da taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto higienizado por processo alcalino em solos da região metropolitana de Curitiba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 2, p.113-118, 2010.

MARQUES, C. J. **Higienização de lodo de esgoto em betoneira**. 2012. Vídeo – arquivo pessoal.

MARQUES, M. O.; NOGUEIRA, T. A. R.; FONSECA, I. M.; MARQUES, T. A. Metais pesados em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Colloquium Agrariae**, v. 2, n.1, p. 46-56, 2006.

MARTIN, J. H.; BOSTAIN, H. E.; STERN, G. Reduction of enteric microorganisms during aerobic sludge digestion. **Water Research**, v. 24, p. 1377–1385, 1990.

MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O. C.; CAMARGO, O. A.; CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Cu, Fe, Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.27, p.563-574, 2003.

MATSUMIYA, Y. **Green Energy Production from Municipal Sewage Sludge in Japan**. Japan Sewage Works Association, 2012. 14 p. Disponível em: <<http://gcus.jp/wp/wp-content/uploads/2011/10/b9d3da09628478f76161e05c89b06be91.pdf>>. Acesso em 29/01/2014.

MATTA, M. E. M. da. **Índice de perigo para subsidiar a aplicação de lodo de esgoto em solo agrícola**. 101 f. Tese (Doutorado em Ciências) Faculdade de Medicina - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MATTER-MÜLLER, C.; GUJER, W.; GIGER, W.; STUMM, W. Non-biological elimination mechanisms in biological sewage treatment plant. **Progress in water Technology**, v. 12, p. 299–314, 1980.

MATTHEWS, P. European Union. In: LEBLANC, R. J.; MATTHEWS, P.; RICHARD, R. P. (Ed.). **Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge and Biosolids Management**. Malta: Progress Press, 2008. p. 303 – 307.

McARDELL, C. S.; MOLNAR, E.; SUTER, M. J. F.; GIGER, W. Occurrence and fate of macrolide antibiotics in wastewater treatment plants and in the Glatt Valley Watershed, Switzerland. **Environmental Science and Technology**, v. 37, p. 5479–5486, 2003.

MEDEIROS, J.F. de; LISBOA, R de A.; OLIVEIRA, M. de; SILVA JÚNIOR, M.J. da; ALVES, L.P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 469-472, 2003.

MELLO, J. W. V. de; ABRAHÃO, W. A. P. Valores de referência de qualidade para elementos traço nos solos de Minas Gerais e Espírito Santo: os bastidores de uma experiência. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas: SBCS v. 38, n. 01, p. 12-17, jan. – abr. 2013.

MELO, V. de F.; SOUZA, L. C. de P.; BUSCHLE, B. N. Desdobramentos metodológicos da Resolução Conama nº420/2009: representatividade de amostragem e análises mineralógicas dos solos do Paraná. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas: SBCS v. 38, n. 01, p. 33-37, jan. – abr. 2013.

MERLINO, L. C. S.; MELO, W. J.; MACEDO, F. G.; GUEDES, A. C. T. P.; RIBEIRO, M. H.; MELO, V. P.; MELO, G. M. P. Bário, cádmio, cromo e chumbo em plantas de milho e em latossolo após onze aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 2031-2039, 2010.

MÉXICO. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. Lodos y biosolidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. **Diario Oficial de la Federación**: 15/08/2003. Disponível em: <http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691939&fecha=15/08/2003>. Acesso em: 08/04/2014.

MILIEU; WRc; RPA. Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land. **Final Report**. Part I: Overview Report. Milieu Ltd, WRc and Policy Analysts Ltd (RPA) for the European Commission, DG Environment under Study Contract DG ENV.G.4/ETU/2008/0076r. Brussels, 2010.16 p. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/pdf/part_i_report.pdf>. Acesso em: 08/04/2014.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Diretrizes para elaboração de estudo de avaliação de risco à saúde humana por exposição a contaminantes químicos**. Brasília, 2010. 97 p. Disponível em: <http://www.saude.rs.gov.br/upload/1347884770_Avaliacao%20de%20Risco%20-%20Diretrizes.pdf>. Acesso em: 01/07/2014.

MODESTO, P. T.; SCABORA, 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.

MOREIRA, M. G. **Análise da conjuntura agropecuária: safra 2011/12 – olericultura**. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento Departamento de Economia Rural Estado do Paraná, outubro de 2011. 14 p.

MORETTI, J; BORGES, S. F. Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento para reciclagem agrícola do lodo de esgoto proposto para Região Metropolitana de Curitiba. In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009, Recife. **Anais...** Recife: ABES, 2009.

MORETTO, S. R. O.; PUPPI, R. F. K.; PEGORINI, E. S.; INOUE, P. S.; OLIVEIRA, G. G. de. **Medidas da densidade do lodo proveniente de digestão anaeróbia**. 2011. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2011_1/DensidadeLodo/index.htm>. Acesso em: 29/7/2014.

MOTTA, A. C. V.; LIMA, M. R. Princípios de calagem. In: LIMA, M. R. (ed.). **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba, UFPR, 2006. p. 191-232.

MOTTA, A. C. V.; SERRAT, B. M. Princípios de adubação. In: LIMA, M. R. (ed.). **Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos**. Curitiba, UFPR, 2006. p. 143-190.

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**, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Committee on toxicants and pathogens in biosolids applied to land. **Biosolids Applied to Land: Advancing Standards and Practices**. Washington DC: National Academy Press - National Research Council, 2002. p. 1-12.

NAVAS, A.; MACHÍN, J.; NAVAS, B. Use of biosolids to restore the natural vegetation cover on degraded soils in the badlands of Zaragoza (NE Spain). **Bioresource Technology**, v.69, p.199-205, 1999.

NAYLOR, C. G.; STAPLES, C. A.; KLECKA, G. M.; WILLIAMS, J. B.; VARINEAU, P. T., CADY, C. Biodegradation of [14C] Ring-Labeled Nonylphenol Ethoxylate. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v.51, p. 11-20, 2006.

NOGUEIRA, T. A. R.; MELO, W. J. de; FONSECA, I. M.; MARQUES, M. O.; HE, Z. Barium uptake by maize plants as affected by sewage sludge in along-term field study. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v.181, p. 1148-1157, 2010.

NOGUEIRA, T. A. R.; OLIVEIRA, L. R.; MELO, W. J. de; FONSECA, I. M.; MELO, G. M. P. de; MELO, V. P. de; MARQUES, M. O. Cádmio, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n.5, p. 2195-2207, 2008.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 6, n. 1, p. 97-111, 2004.

OKUNO, N.; URIU, M.; HORII, T.; MIYAGAWA, K. Evaluation of Thermal Sludge Solidification. **Water Science and Technology**, v.36, n.11, p. 227-233, 1997.

OLEYNIK, J.; BRAGAGNOLO, N.; BUBLITZ, U.; SILVA, J.C.C. **Análises de solo: tabelas para transformação de resultados analíticos e interpretação de resultados**. 3. ed. Curitiba: EMATER-Paraná, 1995. 66p. (Informação técnica 31).

OLIVEIRA, L. B. de; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, M. da G. de V. X.; LIMA, J. F. W. F. de; MARQUES, F. A. Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1477-1486, 2002.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Agenda 21 Capítulo 21 Manejo ambientalmente saudável dos resíduos sólidos e questões relacionadas com os esgotos**. In: Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), 1992, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global/item/681>>. Acesso em: 18/06/2014.

OVERCASH, M. R.; SIMS, R. C.; SIMS, J. L.; NIEMAN, J. K. C. Beneficial reuse and sustainability: The fate of organic compounds in land-applied waste. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, p. 29–41, jan.–feb. 2005.

PAGLIA, E. C.; SERRAT, B. M.; FREIRE, C. A. DE L.; VEIGA, A. M.; BORSATTO, R. S. Doses de potássio na lixiviação do solo com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.1, Campina Grande jan./feb. 2007.

PARAÍBA, L. C.; QUEIROZ, S. C. N.; MAIA, A. de H.; FERRACINI, V. L. Bioconcentration factor estimates of polycyclic aromatic hydrocarbons in grains of corn plants cultivated in soils treated with sewage sludge. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 16, p. 3270-3276. 2010.

PARAÍBA, L. C.; QUEIROZ, S. C. N.; SOUZA, D R. C. de; SAITO, M. L. Risk simulation of soil contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons from sewage sludge used as fertilizers. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 22, n.6, p. 1156-1163. 2011.

PARANÁ. Lei nº 12.493, de 22 de janeiro de 1999. Estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes a geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná, visando controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais e adota outras providências. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Edição 5430, 05 de fevereiro de 1999.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Instituto Ambiental do Paraná. **Instrução Técnica CEP/DTA N. 001/2002**. Dispõe sobre a

utilização agrícola de lodo de estação de tratamento de esgoto sanitário. Curitiba, 07 de maio de 2002.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução SEMA 001/07 de 11 de janeiro de 2007. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Edição 7395, 23 de janeiro de 2007.

PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução Sema n. 021, de 30 de junho de 2009. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. **Diário Oficial [do] Estado do Paraná**, Curitiba, PR, 30 jun. 2009. Disponível em: <<http://www.documentos.dioe.pr.gov.br/dioe>>. Acesso em: 25/01/2013.

PARANÁ. Diretoria de Controle dos Recursos Ambientais. Departamento de licenciamento de atividades poluidoras. **Relatório da situação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no estado do Paraná**. Curitiba, 2013. Disponível em: <http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Diagnostico_RSU_2012_VERSAO_FINALcomMAPAS.pdf>. Acesso em: 29/03/2014.

PARANÁ. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (SEAB). Departamento de Economia Rural (DERAL). **Preços pagos pelo produtor**. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=195>>. Acesso em: 04/02/2015.

PARRAVICINI, V; SVARDAL, K; HORNEK, R; KROISS, H. Aeration of anaerobically digested sewage sludge for COD and Nitrogen removal: optimization at large-scale. In: Wastewater biosolids sustainability: technical, managerial and public synergy, 2007, New Brunswick. **Proceedings...**New Brunswick: IWA, 2007. p. 691-698.

PEDROZA, J. P.; VAN HAANDEL, A. C.; BELTRÃO, N. E.de M.; DIONÍSIO, J. A. Produção e componentes do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de biossólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.7, n.3, p.483-488, 2003.

PEDROZA, J. P.; VAN HAANDEL, A. C.; BELTRÃO, N. E. de M.; DIONÍSIO, J. A.; DUARTE, M. E. M. Qualidade tecnológica da pluma do algodoeiro herbáceo cultivado

com biossólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.10, n.3, p. 586-592, 2006.

PEGORINI, E. S. **Avaliação de impactos ambientais do programa de reciclagem agrícola de lodo de esgoto na região metropolitana de Curitiba**. 107 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

PEGORINI, E. S., HOPPEN, C., TAMANINI, C. R., ANDRADE, F. L., TORREZAN, H. T. Aperfeiçoamento do processo de higienização através da caleação: II Potencial de Alcalinização Prolongada. In: VIII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABES, 2006a. CD-Rom.

PEGORINI, E. S.; HOPPEN, C; TAMANINI, C. R.; ANDREOLI, C. V. Levantamento da contaminação do lodo de estações de tratamento de esgotos do estado do paraná: II metais pesados. In: VIII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABES, 2006b. CD-Rom.

PEGORINI, E. S.; HARTMANN, C. M.; ANDREOLI, C. V. Avaliação do processo de higienização do lodo de esgoto em estufas plásticas instaladas em ETEs da Sanepar. In: 24^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABES, 2007. CD-Rom.

PENTEADO, J. C. P.; VAZ, J. M. O legado das bifenilas policloradas (PCBs). **Química Nova**, v. 24, n.3, p. 390-398, 2001.

PEREIRA NETTO, A. D.; MOREIRA, J. C.; DIAS, A. E. X. O.; ARBILLA, G.; FERREIRA, L. F. V.; OLIVEIRA, A. S.; BAREK, J. Avaliação da contaminação humana por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e seus derivados nitrados (NHPAs): uma revisão metodológica. **Química Nova**, v. 23, n. 6, p. 765-773, 2000.

PEREIRA, J.R. Solos salinos e sódicos. In: 15^o Reuniao Brasileira de Fertilidade do Solo, Campinas, SP, 1982. **Acidez e calagem no Brasil**. Campinas: SBCS, 1983. p.127-143.

PEREIRA, R. G.; ROMEIRO, G. A.; DAMASCENO, R. N.; CINELLI, L. R.; SENRA, P. M. A. Obtenção de óleo combustível a partir da conversão a baixa temperatura de biomassa residual. In: IV LACGEC - Latin American and Caribbean - Gas & Electricity Congress, 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Caribbean - Gas & Electricity Congress, 2004.

PIETRONAVE, S.; FRACCHIA, L.; RINALDI, M.; MARTINOTTI, M. G. Influence of biotic and abiotic factors on human pathogens in a finished compost. **Water Research**, v. 38, p. 1963–1970, 2004.

PIRES, A. M. M.; MARCHI, G.; MATTIAZZO, M. E.; GUILHERME, L. R. G. Organic acids in the rhizosphere and phytoavailability of sewage sludge-borne trace elements. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n.7, p. 917-924, 2007.

POGGERE, G. C.; SERRAT, B. M.; MOTTA, A. C. V.; BITTENCOURT, S.; DALPISOL, M.; ANDREOLI C. V. Lodos de esgoto alcalinizados em solos do Estado do Paraná: taxa de aplicação máxima anual e comparação entre métodos para recomendação agrícola. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 4, p. 429-438, 2012.

PÖPPL NETO, J. C. **Bário (Ba), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), selênio (Se) e zinco (Zn) no ambiente canavieiro adubado com composto de lodo de esgoto**. 41 f. Dissertação (Mestrado em Química na Agricultura e no Ambiente) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64135/tde-17012014-095856/>>. Acesso em: 2014-08-01.

POSSETTI, G. R. C.; JASINSKI, V. P.; ANDREOLI, C. V.; BITTENCOURT, S.; CARNEIRO, C. Sistema térmico de higienização de lodo de esgoto movido a biogás para ETEs de médio e pequeno porte. In: XV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (XV SILUBESA), 2012, Belo Horizonte. **Anais ...** Belo Horizonte: ABES, 2012. CD-Rom.

PREZOTTI, L.C. **Sistema de recomendação de calagem e adubação**. Abril 2014. Disponível em: <<http://www.incaper.es.gov.br/downloads>>. Acesso em: 28/07/2014.

PSARIS, P. J.; BORGATTI, D. **Beneficial use programs for biosolids management: a special publication**. Alexandria: Water Environment Federation (USA). Systems Management Subcommittee, 1994. 229 p.

RESSETTI, R. R.; SOCCOL, V. T.; KASKANTZIS NETO, G. Aplicação da vermicompostagem no controle patogênico do composto de lodo de esgoto. **Sanare**, v.12, n.12, p.61-70, 1999.

RIBEIRO, M. R. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos**

básicos e aplicados. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2010. p. 11-19.

RIBEIRO, M. R.; BARROS, M. F. C.; FREIRE, M. B. G. S. Química dos solos salinos e sódicos. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (ed.). **Química e mineralogia do solo. Parte II** – Aplicações. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 449-484.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V. V. H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo.** v.3. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p.165-208.

ROGERS, H. R. Sources, behavior and fate of organic contaminants during sewage treatment and in sewage sludges. **The Science of the Total Environment**, v.185, p.3-26, 1996.

ROGERS, H. R.; CAMPBELL, J. A.; CRATHORNE, B.; DOBBSTHE, A. J. Occurrence of chlorobenzenes and permethrins in twelve U.K. sewage sludges. **Water Research**, v. 23, n. 7, pp. 913-921, 1989.

SABLJIĆ, A.; GÜSTEN, H.; VERHAAR, H.; HERMENS, J. QSAR modelling of soil sorption. Improvements and systematics of log K_{oc} vs. log K_{ow} correlations. **Chemosphere**, v. 31, p. 4489 – 4514, 1995.

SAMPAIO, A. 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**, São Paulo, n. 193, p. 16-27, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.109>>. Acesso em: 14/04/2014.

SANTOS, H. F. **Uso agrícola de lodo das estações de tratamento de esgotos sanitários (ETEs): subsídios para elaboração de uma norma brasileira.** 74f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental). Universidade Mackenzie, São Paulo, 1996.

SCHWARZENBACH, R.P.; GSCHWEND, P.M.; IMBODEN, D.M. **Environmental Organic Chemistry**, 2 ed. New York: Wiley-Interscience, 2003. 1313 p.

SCOTT, J. M.; JONES, M. N. The biodegradation of surfactants in the environment. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1508, p. 235–251, 2000.

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

SIDHU, J.; GIBBS, G. A.; HO, G. E.; UNKOVICH, I. The role of indigenous microorganisms in suppression of Salmonella regrowth in composted biosolids. **Water Research**, v. 35, n. 4, p. 913–920, 2001.

SIGOLO, J. B.; PINHEIRO, C. H. R. Lodo de esgoto da ETE Barueri - SP: proveniência do enxofre elementar e correlações com metais pesados associados. **Geologia USP, Série Científica**, v. 10, n. 1, p. 39-51, 2010.

SILVA, F.de A. S. **Assistat Versão 7.7 beta**. DEAG-CTRN-UFCG. 2014. Disponível em: <<http://www.assistat.com>>. Acesso em: 01/04/2014.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o bio sólido da CAESB: I. Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p. 487-495, 2002.

SILVA, M. G. **Avaliação de compostos orgânicos voláteis em lodos de esgotos para fins agrícolas**. 65 f. Dissertação (Mestrado em Química). Instituto de Química, USP. 2009.

SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F.; SOCCOL, V. T.; MORITA, D. M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG; Curitiba: Sanepar, 2001. p.69-121.

SILVA, W. T. L. DA; NOVAES, A. P. DE; MARTIN-NETO, L. MILORI, D. M. B. P.; SIMÕES, M. L.; HANEDA, R. N.; FIALHO, L. L.; LEONELLI, F. C. V. **Método de aproveitamento bio sólido proveniente de lodo de esgoto residencial através de processo de compostagem seguido de biodigestão anaeróbia**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 50 p.

SKORUPA, L.A.; SOUZA, M. D.; PIRES, A. M. M.; FILIZOLA, H. F.; BETTIOL, W. GUINI, R.; LIGO, M. A. V. Uso de lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas. In: ANDREOLI, C.V. (coord.). **Alternativas de uso de resíduos de saneamento**. Projeto Prosab. ABES. Rio de Janeiro: 2006. p. 189 - 234.

SMITH, S.R. **Pathogenic organisms in agricultural recycling of sewage sludge and the environment**. Wallingford: CAB International, 1996.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10 ed. SBCS - Comissão de Química e Fertilidade do Solo: Porto Alegre. 2004. 400 p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). Núcleo Estadual do Paraná. **Conhecendo os principais solos do Litoral do Paraná: abordagem para educadores do ensino fundamental e médio**. SILVA, V. da; FAGUNDES M. C. V.; LIMA, M. R. de; LIMA, V. C.; TAVARES, A. K (Ed.). Matinhos: UFPR, 2013. 32 p.

SOUZA, C. A. de, REIS JUNIOR, F. B. dos, MENDES, I. de C., LEMAINSKI, J., SILVA, J. E. da. Lodo de esgoto em atributos biológicos do solo e na nodulação e produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 10, p. 1319-1327, 2009.

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

SPELLMAN, F. R. **Dewatering Biosolids**. Lancaster: Technomic Publishing; 1997. 276 p.

SPINOSA, I. Status and perspectives of sludge management. In: Wastewater Biosolids Sustainability: technical, managerial and public synergy, 2007, New Brunswick. **Proceedings...** New Brunswick: IWA, 2007. p. 103-108.

STAPLES, C. A., PETERSON, D. R., PARKERTON, T. F., ADAMS, W. J. The environmental fate of phthalate esters: a literature review. **Chemosphere**, v.35, p. 667-749, 1997.

STEVENS-GARMON, J.; DREWES, J. E.; KHAN, S. J.; MCDONALD, J. A.; DICKENSON, E. R. V. Sorption of emerging trace organic compounds onto wastewater sludge solids. **Water Research**, v.45, p.3417-3426, 2011.

STUMPF, M.; TERNES, T.A.; WILKEN, R.D.; RODRIGUES, S.V.; BAUMANN, W. Polar drug residues in sewage and natural waters in the state of Rio de Janeiro, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 225, n. 1–2, p. 135–141, 1999.

SUÁREZ, S.; CARBALLA, M.; OMIL, F.; LEMA, J.M. How are pharmaceutical and personal care products (PPCPs) removed from urban wastewaters? **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 7, p. 125–138, 2008.

SYRACUSE RESEARCH CORPORATION (SRC). **Data from SRC physprop database**. Disponível em: <www.syrres.com>. Acesso em: 11/10/2014.

TAMANINI C. R. **Recuperação de áreas degradadas com a utilização de biossólidos e gramínea forrageira**. 181 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

TAMANINI, C. R.; MOTTA, A. C. V.; ANDREOLI, C. V.; DOETZER, B. H. Land reclamation recovery with the sewage sludge use. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 51, n. 4, p. 643-655. 2008.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L. **Wastewater engineering : treatment, disposal, and reuse / Metcalf & Eddie**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1991. 1334p.

TCI AMERICA. **1,2,3,5-Tetrachlorobenzene**. Material Safety Data Sheet. Disponível em: <<https://www.spectrumchemical.com/MSDS/TCI-T0870.pdf>>. Acesso em: 12/04/2014.

TEIXEIRA PINTO, M. Higienização de lodos. In: In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG-Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Curitiba: Sanepar, 2001. p. 261-297.

TERNES, T. A. Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. **Water Research**, v. 32, n. 11, p. 3245–3260, 1998.

TERNES, T.A.; HERRMANN, N.; BONERZ, M.; KNACKER, T; SIEGRIST, H.; JOSS, AA rapid method to measure the solid–water distribution coefficient (K_d) for pharmaceuticals and musk fragrances in sewage sludge. **Water Research**, v. 38, p. 4075–4084, 2004.

THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A, TRACZ, J. Eficácia dos diferentes processos de tratamento do lodo na redução da viabilidade de ovos de helmintos. **Sanare**, Curitiba, v.8, n.8, p. 24 - 32, 1997.

TRABLY, E.; PATUREAU, D. Successful treatment of low PAH-contaminated sewage sludge in aerobic bioreactors. **Environmental science and pollution research international**. v. 13, n. 3, p. 170-6, mai. 2006.

TRABLY, E.; PATUREAU, D.; DELGENES, J. P. Enhancement of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) removal during anaerobic treatment of urban sludges. **Water Science and Technology**, v. 48, n. 4, p. 53–60, 2004.

TRANNIN, I.C. de B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M. de S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1173-1184, 2007.

UNITED NATION ENVIRONMENTAL PROGRAM (UNEP). **Stockholm convention on persistent organic pollutants**. Disponível em: <<http://chm.pops.int/default.aspx>>. Acesso em: 25/02/2013.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **A plain English guide to the EPA 503 part biosolids rule**. Washington: USEPA, 1994. Disponível em: <http://water.epa.gov/scitech/wastetech/biosolids/503pe_index.cfm >. Acesso em: 28/10/2014.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **A Guide to the Biosolids Risk Assessments for the EPA Part 503 Rule**, EPA/832/B-93/005. Washington: USEPA, 1995.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Biosolids generation, use and disposal in the United States**. USEPA, 1999. Disponível em: <<http://www.epa.gov/compost/pubs/biosolid.pdf>>. Acesso em: 29/11/2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge**. USEPA, 2003. Disponível em: <<http://www.epa.gov/region8/water/biosolids/pdf/625R92013ALL.pdf> >. Acesso em: 29/11/2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). Part 503—standards for the use or disposal of sewage sludge. **Electronic Code of Federal Regulations (e-CFR) - Title 40**: Protection of Environment, 2007. Disponível em: <[http://yosemite.epa.gov/r10/water.nsf/npdes+permits/sewage+s825/\\$file/503-032007.pdf](http://yosemite.epa.gov/r10/water.nsf/npdes+permits/sewage+s825/$file/503-032007.pdf)>. Acesso em: 05/04/2014.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Targeted National Sewage Sludge Survey: Overview Report**. Washington: Office of Water (4301T). EPA-822-R-08-014, Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://water.epa.gov/scitech/wastetech/biosolids/tnsss-fs.cfm>>. Acesso em: 24/11/2011

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Dimethyl Phthalate**. Technology Transfer Network - Air Toxics Web Site. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/dimet-ph.html#ref1>>. Acesso em: 08/04/2014.

URASE, T.; KIKUTA, T. Separate estimation of adsorption and degradation of pharmaceutical substances and estrogens in the activated sludge process. **Water Research**, v. 39, p. 1289-1300, 2005.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande: Epgraf, 1994. p. VI-1 – VI-17.

VAN HAM, M. Western Canada. In: LEBLANC, R. J.; MATTHEWS, P; RICHARD, R. P. (Ed.). **Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge and Biosolids Management**. Malta: Progress Press, 2008. p. 217 -242.

VAN HAM, M. D.; HUTCHISON, J. S.; DAMPIER, L. M. B.; VIEIRA, D. B. A regional approach to biosolids management: the Sechelt experience. In: **Wastewater Biosolids Sustainability: technical, managerial and public synergy**, 2007, New Brunswick. **Proceedings...** New Brunswick: IWA, 2007. p. 897-903.

VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral em um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 35-42, 2000.

VITOUSEK, P. M.; R. W. HOWARTH. Nitrogen limitation on land and in the sea: How can it occur? **Biogeochemistry**, v.13, p. 87–115, 1991.

VON SPERLING, M. **Princípios básicos do tratamento de esgotos - Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, v.1, 1996. p.169 – 226.

VON SPERLING, M.; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgotos: características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG-Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Curitiba: Sanepar, 2001. p. 17-67.

WACHOWICZ, C.; SERRAT, B. M. Parâmetros Morfológicos de *Gypsophila paniculata* L. cultivada com lodo de esgoto alcalinizado e adubação fosfatada. **Estudos de Biologia**, v. 28, n. 65, p. 51-58, 2006.

WANG, M. J.; JONES, K. C. The chlorobenzene content of contemporary U.K. sewage sludges. **Chemosphere**, v. 28, n.6, 1994, p.1201-1210.

WARNE, M. St.J.; MCLAUGHLIN, M. J.; HEEMSBERGEN, D. A.; WHATMUFF, M.; BROOS, K.; BELL, M.; BARRY, G.; NASH, D.; BUTLER, C.; PRITCHARD, D.; PENNEY, N.; LANGDON, K.; KOOKONA, R.; SHAREEF, A.; SMERNIK, R. O uso de biossólidos na agricultura australiana – influência da pesquisa e perspectivas futuras. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. (Ed.). **Uso Agrícola de Lodo de Esgoto: avaliação após a Resolução n.375 do Conama**. Botucatu: FEPAF, 2010. p. 329- 360.

WEIGERT, G.; TORREZAN, H. T.; ANDRADE, F. L.; PEGORINI, E. S.; HOPPEN, C. Levantamento da contaminação do lodo de estações de tratamento de esgoto do estado do Paraná: I poluentes orgânicos persistentes (POPs). In: VIII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABES, 2006. CD-Rom.

WENDLING, A.; ELTZ, F. L. F.; CUBILLA, M. M.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. Recomendação de adubação potássica para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1929-1939, 2008.

WICK, A.; FINK, G.; JOSS, A.; SIEGRIST, H.; TERNES, T.A. Fate of beta blockers and psycho-active drugs in conventional wastewater treatment. **Water Research**, v. 43, p. 1060-1074, 2009.

XIA, K.; BHANDARI, A.; DAS K.; PILLAR, G. Occurrence and Fate of Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) in Biosolids. **Journal of Environmental Quality**, v. 34, p. 91 -104, jan.–feb., 2005.

YAN, F.; SCHUBERT, S.; MENGEL, K. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. **Soil Biology and Biochemistry**, v.28, n. 4-5, p. 617-624, 1996.

YOKOHAMA. Departamento de Planejamento do Meio Ambiente, Divisão Administrativa de Esgoto. **Esgoto**. Disponível em: <<http://www.city.yokohama.lg.jp/kenko/houshasen/multi-language/portuguese.pdf> >. Acesso em: 25/06/2014.

ANEXO



**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE**

RESOLUÇÃO Nº 375 , DE 29 DE AGOSTO DE 2006

Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.

O **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA**, no uso das competências que lhe são conferidas pelos arts. 6º, inciso II e 8º, inciso VII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, e

Considerando que a produção de lodos de esgoto é uma característica intrínseca dos processos de tratamento de esgotos e tende a um crescimento no mínimo proporcional ao crescimento da população humana e a solução para sua disposição é medida que se impõe com urgência;

Considerando que os lodos de esgoto correspondem a uma fonte potencial de riscos à saúde pública e ao ambiente e potencializam a proliferação de vetores de moléstias e organismos nocivos;

Considerando que devido a fatores naturais e acidentais os lodos de esgotos são resíduos que podem conter metais pesados, compostos orgânicos persistentes e patógenos em concentrações nocivas à saúde e ao meio ambiente;

Considerando a necessidade de dispor os lodos de esgoto provenientes das estações de tratamento de esgoto sanitário de forma adequada à proteção do meio ambiente e da saúde da população;

Considerando que o lodo de esgoto sanitário constitui fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas e que sua aplicação no solo pode trazer benefícios à agricultura;

Considerando que o lodo de esgoto é um resíduo que pode conter elementos químicos e patógenos danosos à saúde e ao meio ambiente;

Considerando que o uso agrícola do lodo de esgoto é uma alternativa que apresenta vantagens ambientais quando comparado a outras práticas de destinação final; e

Considerando que a aplicação do lodo de esgoto na agricultura se enquadra nos princípios de reutilização de resíduos de forma ambientalmente adequada, resolve:

Seção I

Das Disposições Preliminares

Art. 1º Esta Resolução estabelece critérios e procedimentos para o uso, em áreas agrícolas, de lodo de esgoto gerado em estação de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, visando benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao ambiente.

Parágrafo único. Para a produção, compra, venda, cessão, empréstimo ou permuta do lodo de esgoto e seus produtos derivados, além do previsto nesta Resolução, deverá ser observado o disposto no Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que regulamenta a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura.

Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - agentes patogênicos: bactérias, protozoários, fungos, vírus, helmintos, capazes de provocar doenças ao hospedeiro;



II - aplicação no solo: ação de aplicar o lodo de esgoto sanitário ou produto derivado uniformemente:

- a) sobre a superfície do terreno (seguida ou não de incorporação);
- b) em sulcos;
- c) em covas;
- d) por injeção subsuperficial;

III - áreas agrícolas: áreas destinadas à produção agrícola e silvicultura;

IV - áreas de aplicação do lodo de esgoto: áreas agrícolas em que o lodo de esgoto ou produto derivado é aplicado;

V - atratividade de vetores: característica do lodo de esgoto ou produto derivado, não tratado ou tratado inadequadamente, de atrair roedores, insetos ou outros vetores de agentes patogênicos;

VI - carga acumulada teórica de uma substância inorgânica:

- a) somatório das cargas aplicadas;
- b) somatório (taxa de aplicação X concentração da substância inorgânica no lodo de esgoto ou produto derivado aplicado);

VII - concentração de microrganismos: número de microrganismos presentes no lodo de esgoto ou produto derivado por unidade de massa dos sólidos totais (base seca);

VIII - esgoto sanitário: despejo líquido constituído de esgotos predominantemente domésticos, água de infiltração e contribuição pluvial parasitária;

IX - estabilização: processo que leva os lodos de esgoto destinados para o uso agrícola a não apresentarem potencial de geração de odores e de atratividade de vetores, mesmo quando reumidificados;

X - Estação de Tratamento de Esgotos-ETE: estrutura de propriedade pública ou privada utilizada para o tratamento de esgoto sanitário;

XI - fração de mineralização do nitrogênio do lodo de esgoto ou produto derivado: fração do nitrogênio total nos lodos de esgoto ou produto derivado, que, por meio do processo de mineralização, será transformada em nitrogênio inorgânico disponível para as plantas;

XII - lodo de esgoto: resíduo gerado nos processos de tratamento de esgoto sanitário;

XIII - lodo de esgoto ou produto derivado estabilizado: lodo de esgoto ou produto derivado que não apresenta potencial de geração de odores e atração de vetores de acordo com os níveis estabelecidos nesta norma;

XIV - lodo de esgoto ou produto derivado higienizado: lodo de esgoto ou produto derivado submetido a processo de tratamento de redução de patógenos de acordo com os níveis estabelecidos nesta norma;

XV - lote de lodo de esgoto ou produto derivado: quantidade de lodo de esgoto ou produto derivado destinado para uso agrícola, gerada por uma Estação de Tratamento de Esgoto-ETE ou Unidade de Gerenciamento de Lodo-UGL no período compreendido entre duas amostragens subsequentes, caracterizada físico-química e microbiologicamente;

XVI - manipulador: pessoa física ou jurídica que se dedique à atividade de aplicação, manipulação ou armazenagem de lodo de esgoto ou produto derivado;

XVII - parcela: área homogênea, definida para fins de monitoramento, com base nos critérios definidos no Anexo IV desta Resolução;

XVIII - produto derivado: produto destinado a uso agrícola que contenha lodo de esgoto em sua composição;



XIX - projeto agrônômico: projeto elaborado por profissional habilitado visando a aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado em determinada área agrícola, observando os critérios e procedimentos estabelecidos nesta Resolução;

XX - taxa de aplicação: quantidade de lodo de esgoto ou produto derivado aplicada em toneladas (base seca) por hectare, calculada com base nos critérios definidos nesta Resolução;

XXI - transportador de lodo de esgoto: pessoa física ou jurídica que se dedique à movimentação de lodo de esgoto ou produto derivado, da ETE à UGL e desta às áreas de aplicação agrícola, mediante veículo apropriado ou tubulação; e

XXII - Unidade de Gerenciamento de Lodo-UGL: unidade responsável pelo recebimento, processamento, caracterização, transporte, destinação do lodo de esgoto produzido por uma ou mais estações de tratamento de esgoto sanitário e monitoramento dos efeitos ambientais, agrônômicos e sanitários de sua aplicação em área agrícola.

Art 3º Os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto, para terem aplicação agrícola, deverão ser submetidos a processo de redução de patógenos e da atratividade de vetores, de acordo com o Anexo I desta Resolução.

§ 1º Esta Resolução não se aplica a lodo de estação de tratamento de efluentes de processos industriais.

§ 2º Esta Resolução veta a utilização agrícola de:

I - lodo de estação de tratamento de efluentes de instalações hospitalares;

II - lodo de estação de tratamento de efluentes de portos e aeroportos;

III - resíduos de gradeamento;

IV - resíduos de desarenador;

V - material lipídico sobrenadante de decantadores primários, das caixas de gordura e dos reatores anaeróbicos;

VI - lodos provenientes de sistema de tratamento individual, coletados por veículos, antes de seu tratamento por uma estação de tratamento de esgoto;

VII - lodo de esgoto não estabilizado; e

VIII - lodos classificados como perigosos de acordo com as normas brasileiras vigentes.

Art. 4º Os lotes de lodo de esgoto e de produtos derivados, para o uso agrícola, devem respeitar os limites estabelecidos no art. 11, Tabelas 2 e 3, desta Resolução.

Parágrafo único. Não poderão ser misturados lodos de esgoto que não atendam as características definidas no art. 11, Tabelas 2 e 3, desta Resolução.

Art. 5º Para o uso de lodo de esgoto como componente de produtos derivados destinados para uso agrícola, o lote deverá atender aos limites para as substâncias potencialmente tóxicas, definidos no art. 11, Tabela 2, desta Resolução.

Art. 6º É proibida a importação de lodo de esgoto ou produto derivado.

Art. 7º A caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado a ser aplicado deve incluir os seguintes aspectos:

I - potencial agrônômico;

II - substâncias inorgânicas e orgânicas potencialmente tóxicas;

III - indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos; e

IV - estabilidade.



§ 1º Para a caracterização do potencial agronômico do lodo de esgoto ou produto derivado deverão ser determinados, de acordo com os Anexos II, III e IV desta Resolução, os seguintes parâmetros:

- I - carbono orgânico;
- II - fósforo total;
- III - nitrogênio Kjeldahl;
- IV - nitrogênio amoniacal;
- V - nitrogênio nitrato/nitrito;
- VI - pH em água (1:10);
- VII - potássio total;
- VIII - sódio total;
- IX - enxofre total;
- X - cálcio total;
- XI - magnésio total;
- XII - umidade; e
- XIII - sólidos voláteis e totais.

§ 2º Para a caracterização química do lodo de esgoto ou produto derivado quanto à presença de substâncias inorgânicas, deverão ser determinadas, de acordo com os Anexos II e IV desta Resolução, as seguintes substâncias:

- I - Arsênio;
- II - Bário;
- III - Cádmiu;
- IV - Chumbo;
- V - Cobre;
- VI - Cromo;
- VII - Mercúrio;
- VIII - Molibdênio;
- IX - Níquel;
- X - Selênio; e
- XI - Zinco.

§ 3º Para a caracterização química do lodo de esgoto ou produto derivado quanto à presença de substâncias orgânicas, deverão ser determinadas, de acordo com os Anexos II e IV desta Resolução, as substâncias indicadas na Tabela 1 do Anexo V desta Resolução, inclusive quantitativamente.

§ 4º Em função das características específicas da bacia de esgotamento sanitário e dos efluentes recebidos, as UGLs poderão requerer, junto ao órgão ambiental competente, dispensa ou alteração da lista de substâncias orgânicas a serem analisadas nos lotes de lodo de esgoto ou produto derivado.

§ 5º Para a caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado quanto à presença de agentes patogênicos e indicadores bacteriológicos, deverão ser determinadas, de acordo com os Anexos II e IV desta Resolução, e as concentrações de:



- I - coliformes termotolerantes;
- II - ovos viáveis de helmintos;
- III - *Salmonella*; e
- IV - vírus entéricos.

§ 6º Para fins de utilização agrícola, o lodo de esgoto ou produto derivado será considerado estável se a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais for inferior a 0,70.

Art. 8º O órgão ambiental competente poderá solicitar, mediante motivação, outros ensaios e análises não listados nesta Resolução.

Parágrafo único. Em função das características específicas da bacia de esgotamento sanitário e dos efluentes recebidos, as UGLs poderão requerer, junto ao órgão ambiental competente, dispensa ou alteração da lista de substâncias a serem analisadas nos lotes de lodo de esgoto ou produto derivado.

Art. 9º A aplicação de lodo de esgoto e produtos derivados no solo agrícola somente poderá ocorrer mediante a existência de uma UGL devidamente licenciada pelo órgão ambiental competente.

§ 1º O licenciamento ambiental da UGL deve obedecer aos mesmos procedimentos adotados para as atividades potencialmente poluidoras e/ou modificadoras do meio ambiente, exigidos pelos órgãos ambientais competentes.

§ 2º O licenciamento ambiental da UGL contemplará obrigatoriamente as áreas de aplicação.

§ 3º O processo de licenciamento deve prever mecanismos de prestação de informações à população da localidade em que será utilizado o lodo de esgoto ou produto derivado sobre:

- I - os benefícios;
- II - riscos;
- III - tipo e classe de lodo de esgoto ou produto derivado empregado;
- IV - critérios de aplicação;

V - procedimentos para evitar a contaminação do meio ambiente e do homem por organismos patogênicos; e

- IV - o controle de proliferação de animais vetores.

Seção II

Da Frequência de Monitoramento do Lodo de Esgoto ou Produto Derivado

Art. 10. O monitoramento das características do lodo de esgoto ou produto derivado deverá ser implementado de acordo com os critérios de frequência definidos na Tabela 1.

Tabela 1. Frequência de monitoramento

Quantidade de lodo de esgoto ou produto derivado destinado para aplicação na agricultura em toneladas/ano (base seca)	Frequência de monitoramento
até 60	anual, preferencialmente anterior ao período de maior demanda pelo lodo de esgoto ou produto derivado
de 60 a 240	semestral, preferencialmente anterior aos períodos de maior demanda pelo lodo de esgoto ou produto derivado



de 240 a 1.500	trimestral
de 1.500 a 15.000	bimestral
acima de 15.000	mensal

§ 1º A caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado, representada por amostragem, é válida exclusivamente para o lote gerado no período compreendido entre esta amostragem e a subsequente.

§ 2º Caso os valores para substâncias potencialmente tóxicas alcancem 80% dos limites estabelecidos por esta Resolução, a frequência de monitoramento deverá ser aumentada, segundo parâmetros definidos pelo órgão ambiental competente, e a UGL deverá implementar as medidas adequadas para reduzir estes valores.

§ 3º A critério do órgão ambiental licenciador, em conjunto com os órgãos de saúde e de agricultura competentes, as frequências de amostragem podem ser aumentadas, devidamente justificadas.

§ 4º As análises químicas e biológicas previstas nesta Resolução devem ser realizadas em laboratórios que adotem os procedimentos de controle de qualidade analítica necessários ao atendimento das condições exigíveis.

§ 5º Os lotes de lodo de esgoto ou produto derivado, para uso agrícola que não se enquadrarem nos limites e critérios definidos nesta resolução deverão receber outra forma de destinação final, devidamente detalhada no processo de licenciamento ambiental e aprovada pelo órgão ambiental licenciador.

Seção III

Requisitos Mínimos de Qualidade do Lodo de Esgoto ou Produto Derivado Destinado a Agricultura

Art. 11. Os lotes de lodo de esgoto e de produtos derivados, para o uso agrícola, devem respeitar os limites máximos de concentração das Tabelas 2 e 3, a seguir especificadas:

Tabela 2. Lodos de esgoto ou produto derivado - substâncias inorgânicas

Substâncias Inorgânicas	Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg, base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromio	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800



Tabela 3. Classes de lodo de esgoto ou produto derivado - agentes patogênicos

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

ST: Sólidos Totais

NMP: Número Mais Provável

UFF: Unidade Formadora de Foco

UFP: Unidade Formadora de Placa

§ 1º Decorridos 5 anos a partir da data de publicação desta Resolução, somente será permitida a aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado classe A, exceto sejam propostos novos critérios ou limites baseados em estudos de avaliação de risco e dados epidemiológicos nacionais, que demonstrem a segurança do uso do lodo de esgoto Classe B.

§ 2º As UGLs terão, após a data de publicação desta Resolução, 18 meses para se adequarem a esta Resolução.

Seção IV

Das Culturas Aptas a Receberem Lodo de Esgoto ou Produto Derivado

Art 12. É proibida a utilização de qualquer classe de lodo de esgoto ou produto derivado em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo.

§ 1º Em solos onde for aplicado lodo de esgoto ou produto derivado, as pastagens poderão ser implantadas após um período mínimo de 24 meses da última aplicação.

§ 2º Em solos onde for aplicado lodo de esgoto ou produto derivado, somente poderão ser cultivadas olerícolas, tubérculos, raízes e demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo bem como cultivos inundáveis, após um período mínimo de 48 meses da última aplicação.

Art. 13. Lodos de esgoto ou produto derivado enquadrados como classe A poderão ser utilizados para quaisquer culturas, respeitadas as restrições previstas nos arts. 12 e 15 desta Resolução.

Art. 14. A utilização de lodo de esgoto ou produto derivado enquadrado como classe B é restrita ao cultivo de café, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com a aplicação mecanizada, em sulcos ou covas, seguida de incorporação, respeitadas as restrições previstas no art. 15 e no inciso XI, do art. 18 desta Resolução.



Seção V

Das Restrições Locacionais e da Aptidão do Solo das Áreas de Aplicação

Art. 15. Não será permitida a aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado:

- I - em unidades de conservação, com exceção das Áreas de Proteção Ambiental-APA;
- II - em Área de Preservação Permanente-APP;
- III - em Áreas de Proteção aos Mananciais-APMs definidas por legislações estaduais e municipais e em outras áreas de captação de água para abastecimento público, a critério do órgão ambiental competente;
- IV - no interior da Zona de Transporte para fontes de águas minerais, balneários e estâncias de águas minerais e potáveis de mesa, definidos na Portaria DNPM nº 231, de 1998;
- V - num raio mínimo de 100 m de poços rasos e residências, podendo este limite ser ampliado para garantir que não ocorram incômodos à vizinhança;
- VI - numa distância mínima de 15 (quinze) metros de vias de domínio público e drenos interceptadores e divisores de águas superficiais de jusante e de trincheiras drenantes de águas subterrâneas e superficiais;
- VII - em área agrícola cuja declividade das parcelas ultrapasse:
 - a) 10% no caso de aplicação superficial sem incorporação;
 - b) 15% no caso de aplicação superficial com incorporação;
 - c) 18% no caso de aplicação subsuperficial e em sulcos, e no caso de aplicação superficial sem incorporação em áreas para produção florestal;
 - d) 25% no caso de aplicação em covas;
- VIII - em parcelas com solos com menos de 50 cm de espessura até o horizonte C;
- IX - em áreas onde a profundidade do nível do aquífero freático seja inferior a 1,5 m na cota mais baixa do terreno; e
- X - em áreas agrícolas definidas como não adequadas por decisão motivada dos órgãos ambientais e de agricultura competentes.

§ 1º O lodo de esgoto ou produto derivado poderão ser utilizados na zona de amortecimento de unidades de conservação, desde que sejam respeitados as restrições e os cuidados de aplicação previstas nesta Resolução, bem como restrições previstas no Plano de Manejo, mediante prévia autorização do órgão responsável pela administração da unidade de conservação.

§ 2º No caso da identificação de qualquer efeito adverso decorrente da aplicação de lodos de esgoto ou produto derivado realizada em conformidade com esta Resolução, e com vistas a proteger a saúde humana e o ambiente, as autoridades competentes deverão estabelecer, imediatamente após a mencionada identificação, requisitos complementares aos padrões e critérios insertos nesta Resolução.

Seção VI

Do Projeto Agrônomo e das Condições de Uso

Art. 16. Toda aplicação de lodo de esgoto e produtos derivados em solos agrícolas deve ser obrigatoriamente condicionada à elaboração de um projeto agrônomo para as áreas de aplicação, conforme roteiro constante do Anexo VIII desta Resolução, firmado por profissional devidamente habilitado, que atenda aos critérios e procedimentos ora estabelecidos.

Parágrafo único. A UGL deverá encaminhar ao proprietário e ao arrendatário ou administrador da área, declaração baseada no modelo constante do Anexo VI desta Resolução, contendo informações sobre as características do lodo de esgoto ou produto derivado, em especial quanto ao



tratamento adotado para redução de patógenos e vetores, e orientações quanto à aplicação, baseadas no projeto agrônômico, para aprovação e consentimento dos mesmos.

Seção VII

Da Aplicação

Art 17. Deverá ser adotado, para a taxa de aplicação máxima em base seca, o menor valor calculado de acordo com os seguintes critérios:

I - a aplicação máxima anual de lodo de esgoto e produtos derivados em toneladas por hectare não deverá exceder o quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (em kg/ha), segundo a recomendação agrônômica oficial do Estado, e o teor de nitrogênio disponível no lodo de esgoto ou produto derivado (Ndisp em kg/t), calculado de acordo com o Anexo III desta Resolução:

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

II - o cálculo da taxa de aplicação máxima anual deverá levar em conta os resultados dos ensaios de elevação de pH provocado pelo lodo de esgoto ou produto derivado constantes do Anexo II desta Resolução, no solo predominante na região de modo a garantir que o pH final da mistura solo-lodo de esgoto ou produto derivado não ultrapasse o limite de 7,0; e

III - observância dos limites de carga total acumulada teórica no solo quanto à aplicação de substâncias inorgânicas, considerando a Tabela 4, a seguir:

Tabela 4. Cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas pela aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado em solos agrícolas.

Substâncias inorgânicas	Carga acumulada teórica permitida de substâncias inorgânicas pela aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado (kg/ha)
Arsênio	30
Bário	265
Cádmio	4
Chumbo	41
Cobre	137
Cromio	154
Mercúrio	1,2
Molibdênio	13
Níquel	74
Selênio	13
Zinco	445

Art. 18. Para o manuseio e a aplicação do lodo de esgoto e seus produtos derivados, a UGL deverá informar ao proprietário, arrendatário, operadores e transportadores as seguintes exigências:

I - restrições de uso da área e do lodo de esgoto ou produto derivado;

II - limites da área de aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado estabelecidos no projeto agrônômico;

III - técnicas e práticas adequadas de conservação de solo e água;

IV - não aplicar lodo de esgoto ou produto derivado em condições de chuvas;



V - evitar a aplicação manual de lodo de esgoto ou produto derivado classe A;

VI - para o lodo de esgoto ou produto derivado classe B fazer obrigatoriamente a aplicação mecanizada, em sulcos ou covas, com incorporação do lodo de esgoto ou produto derivado logo após a aplicação;

VII - orientar os operadores quanto aos procedimentos de higiene e segurança e ao uso de equipamentos de proteção individual conforme legislação trabalhista;

VIII - usar equipamento adequado e regulado de forma a garantir a taxa de aplicação prevista no projeto;

IX - evitar a realização de cultivo ou outro trabalho manual na área que recebeu o lodo de esgoto ou produto derivado, por um período de 30 dias após a aplicação;

X - em caso de colheita manual, a aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado classe B deverá ser feita no mínimo 6 meses antes da colheita;

XI - para o lodo de esgoto ou produto derivado classe B, tomar medidas adequadas para restringir o acesso do público às áreas de aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado, durante um período de 12 meses após a última aplicação. Estas medidas devem, necessariamente, incluir a colocação de sinalização indicando as atividades que estão sendo realizadas em cada local; e

XII - o proprietário ou arrendatário deve notificar quaisquer situações de desconformidade com a execução do projeto agrônomo à UGL que deverá informar imediatamente aos órgãos competentes.

Seção VIII

Do Carregamento, Transporte e Estocagem

Art. 19. A UGL é responsável pelo procedimento de carregamento e transporte do lodo de esgoto ou produto derivado, devendo respeitar o disposto no Anexo VII desta Resolução.

Art. 20. A estocagem do lodo de esgoto ou produto derivado na propriedade deve se restringir a um período máximo de 15 dias, devendo atender aos seguintes critérios:

I - a declividade da área de estocagem não pode ser superior a 5%; e

II - a distância mínima do local de estocagem a rios, poços, minas e cursos d'água, canais, lagos e residências deverá respeitar o disposto no art. 15 desta Resolução.

Parágrafo único. É proibida a estocagem diretamente sobre o solo de lodo de esgoto ou produto derivado contendo líquidos livres, cuja identificação deverá ser feita pela norma brasileira vigente.

Seção IX

Do Monitoramento das Áreas de Aplicação do Lodo de Esgoto ou Produto Derivado

Art. 21. A UGL caracterizará o solo agrícola deverá ser caracterizado pela UGL, antes da primeira aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado, observando o constante nos Anexos II e IV, quanto:

I - aos parâmetros de fertilidade;

II - sódio trocável;

III - condutividade elétrica; e

IV - substâncias inorgânicas.

§ 1º A utilização da área proposta para aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado dependerá da avaliação da qualidade do solo, realizada mediante a comparação dos resultados analíticos com valores orientadores de qualidade de solo, a critério do órgão ambiental competente.



§ 2º Para substâncias orgânicas, as concentrações permitidas no solo são as constantes na Tabela 2 do Anexo V desta Resolução.

§ 3º O monitoramento dos parâmetros de fertilidade do solo deve ser realizado, no mínimo a cada 3 anos, quando houver aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado na área em questão.

§ 4º O monitoramento dos parâmetros de fertilidade do solo deverá ser realizado antes de cada aplicação, no caso de lodo de esgoto ou produto derivado com estabilização alcalina.

§ 5º O monitoramento de substâncias inorgânicas no solo deverá ser realizado nos seguintes casos:

I - a cada aplicação, sempre que estas substâncias inorgânicas forem consideradas poluentes limitantes da taxa de aplicação;

II - quando a carga acumulada teórica adicionada para qualquer uma das substâncias inorgânicas monitoradas alcançar 80% da carga acumulada teórica permitida estabelecida na Tabela 4, do art. 17 desta Resolução, para verificar se as aplicações subsequentes são apropriadas; e

III - a cada 5 aplicações, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade do solo.

§ 6º O monitoramento de substâncias orgânicas no solo deverá ser realizado sempre que estas substâncias forem detectadas na caracterização do lote de lodo de esgoto ou produto derivado, devendo ser observadas as concentrações constantes da Tabela 2, do Anexo V, e os Anexos II e IV desta Resolução, sendo que a frequência deste monitoramento deve ser estabelecida pelo órgão ambiental competente.

§ 7º A critério do órgão ambiental competente, podem ser requeridos monitoramentos adicionais, incluindo-se o monitoramento das águas subterrâneas ou de cursos d'água superficiais.

Art. 22. A aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado na agricultura deve ser interrompida nos locais em que forem verificados danos ambientais ou à saúde pública.

Seção X

Das Responsabilidades

Art. 23. São de responsabilidade do gerador e da UGL o gerenciamento e o monitoramento do uso agrícola do lodo de esgoto ou produto derivado.

§ 1º Os resultados dos monitoramentos previstos nesta Resolução poderão a qualquer momento, ser auditados pelo órgão ambiental.

§ 2º Quando comprovado o uso do lodo de esgoto ou produto com negligência, imprudência, imperícia, má-fé ou inobservância dos critérios e procedimentos previstos nesta Resolução, a responsabilidade será de seu autor.

Art. 24. São considerados responsáveis solidários pela qualidade do solo e das águas em áreas onde será aplicado o lodo de esgoto ou produto derivado:

I - o gerador do lodo de esgoto ou produto derivado;

II - a UGL que encaminhar o lodo de esgoto ou produto derivado para aplicação no solo;

III - o proprietário da área de aplicação;

IV - o detentor da posse efetiva;

V - o técnico responsável;

VI - o transportador; e

VII - quem se beneficiar diretamente da aplicação.



Art. 25. O produtor, o manipulador, o transportador e o responsável técnico pelas áreas licenciadas, que irão receber aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado, deverão informar imediatamente ao órgão ambiental competente qualquer acidente ou fato potencialmente gerador de um acidente ocorrido nos processos de produção, manipulação, transporte e aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado, que importem em despejo acidental de lodo de esgoto ou produto derivado no meio ambiente.

Capítulo XI

Das Disposições Finais

Art 26. Para fins de fiscalização, a UGL deverá manter em arquivo todos os documentos referidos nesta Resolução, em especial os projetos agrônômicos, relatórios e resultados de análises e monitoramento, por um prazo mínimo de dez anos.

Parágrafo único. Em caso de falência, dissolução ou liquidação da UGL, os documentos devem ser entregues ao órgão ambiental para serem apensados ao processo de licenciamento.

Art. 27. As informações previstas nesta Resolução integrarão um banco de dados, organizado e mantido pelo órgão ambiental licenciador, que deverá garantir a ampla divulgação e utilização de seus dados.

§ 1º A UGL deverá encaminhar ao órgão ambiental licenciador os resultados dos monitoramentos de solo e lodo de esgoto.

§ 2º A UGL deverá informar, anualmente, ao órgão ambiental licenciador as propriedades que receberam o lodo de esgoto, produtos derivados e respectivas quantidades, que deverá torná-las públicos, preferencialmente por meio eletrônico.

§ 3º Os órgãos ambientais integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente-SISNAMA estabelecerão, no prazo de noventa dias, a contar da data de publicação desta Resolução, instrução normativa no âmbito de sua competência, contemplando as informações que deverão ser encaminhadas pela UGL.

Art. 28. Os critérios técnicos adotados nesta Resolução poderão ser reformulados e/ou complementados a qualquer tempo de acordo com o desenvolvimento científico e tecnológico e a necessidade de preservação ambiental, saúde pública e manejo sustentável do solo, devendo ser revisada obrigatoriamente no sétimo ano de sua publicação.

Art. 29. O Ministério do Meio Ambiente coordenará grupo de monitoramento permanente para o acompanhamento desta Resolução, que deverá se reunir ao menos anualmente, contando com a participação de um representante e respectivo suplente dos órgãos de :

- I - saúde;
- II - agricultura;
- III - meio ambiente;
- IV - planejamento territorial das diferentes esferas de governo;
- V - de instituições de pesquisa e de ensino;
- VI - dos geradores de lodo de esgoto ou produto derivado;
- VII - das UGLs;
- VIII - das entidades representativas dos órgãos estaduais de meio ambiente;
- IX - dos órgãos municipais de meio ambiente; e
- X - das organizações não governamentais de meio ambiente.



Parágrafo único. O grupo de monitoramento de que trata o *caput* deste artigo deverá produzir e apresentar anualmente ao CONAMA relatório contendo recomendações que visem ao aperfeiçoamento desta Resolução.

Art. 30. O não cumprimento do disposto nesta Resolução sujeitará os infratores, entre outras, às penalidades e sanções, respectivamente, previstas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e no Decreto nº 3.179, de 21 de setembro de 1999.

Art. 31. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

MARINA SILVA



ANEXO I
PROCESSOS PARA REDUÇÃO DE AGENTES PATOGENICOS E ATRATIVIDADE DE VETORES

A descrição dos processos de redução significativa de patógenos, redução adicional de patógenos e atratividade de vetores apresentados a seguir, foram baseados no estabelecido pela U.S.EPA, conforme 40 CFR Part 503 - Appendix B, Federal Register, de 19 de fevereiro de 1993. As listas abaixo relacionam os processos aceitos para redução significativa de patógenos (necessários para a obtenção de lodos de esgoto ou produto derivado tipo B), redução adicional de patógenos (necessários para a obtenção de lodos de esgoto ou produto derivado tipo A) e redução da atratividade de vetores. Outros processos poderão ser propostos, desde que haja comprovação de sua eficiência e seja aceito pelo órgão ambiental.

1. Processos de Redução Significativa de Patógenos

- a) digestão aeróbia - a ar ou oxigênio, com retenções mínimas de 40 dias a 20°C ou por 60 dias a 15°C;
- b) secagem em leitos de areia ou em bacias, pavimentadas ou não, durante um período mínimo de 3 meses;
- c) digestão anaeróbia por um período mínimo de 15 dias a 35-55°C ou de 60 dias a 20°C;
- d) compostagem por qualquer um dos métodos citados anteriormente, desde que a biomassa atinja uma temperatura mínima de 40°C, durante pelo menos cinco dias, com a ocorrência de um pico de 55°C, ao longo de quatro horas sucessivas durante este período; e
- e) estabilização com cal, mediante adição de quantidade suficiente para que o pH seja elevado até pelo menos 12, por um período mínimo de duas horas.

2. Processos de Redução Adicional de Patógenos

- a) compostagem confinada ou em leiras aeradas (3 dias a 55°C no mínimo) ou com revolvimento das leiras (15 dias a 55°C no mínimo, com revolvimento mecânico da leira durante pelo menos 5 dias ao longo dos 15 do processo);
- b) secagem térmica direta ou indireta para reduzir a umidade do lodo de esgoto ou produto derivado a 10% ou menos, devendo a temperatura das partículas de lodo de esgoto ou produto derivado superar 80°C ou a temperatura de bulbo úmido de gás, em contato com o lodo de esgoto ou produto derivado no momento da descarga do secador, ser superior a 80°C;
- c) tratamento térmico pelo aquecimento do lodo de esgoto ou produto derivado líquido a 180°C, no mínimo, durante um período de 30 minutos;
- d) digestão aeróbia termofílica a ar ou oxigênio, com tempos de residência de 10 dias a temperaturas de 55 a 60°C;
- e) processos de irradiação com raios beta a dosagens mínimas de 1 megarad a 20°C, ou com raios gama na mesma intensidade e temperatura, a partir de isótopos de Cobalto 60 ou Césio 137 e
- f) processos de pasteurização, pela manutenção do lodo de esgoto ou produto derivado a uma temperatura mínima de 70°C, por um período de pelo menos 30 minutos.

3. Processos para Redução da Atratividade de Vetores

Nesta lista está indicado, entre parênteses, o número do critério a ser observado para verificação da aceitabilidade do processo quanto à redução de atratividade de vetores.

- a) digestão anaeróbia do lodo de esgoto ou produto derivado (condição 1 ou 2);
- b) digestão aeróbia do lodo de esgoto ou produto derivado (condição 1 ou 3 ou 4 ou 5);
- c) compostagem (condição 5);
- d) estabilização química (condição 6);



- e) secagem (condição 7 ou 8);
- f) aplicação subsuperficial (condição 9) e
- g) incorporação no solo (condição 10).

Estes processos serão aceitos apenas se forem atendidos os critérios especificados abaixo.

4. Critérios para verificação da adequação de processos de redução da atratividade de vetores

Critérios para verificar se o processo de tratamento adotado para o lodo de esgoto ou produto derivado reduz o potencial de disseminação de doenças por meio de vetores (ex. moscas, roedores, mosquitos):

a) A concentração de sólidos voláteis (SV) deve ser reduzida em 38% ou mais. A redução de SV é medida pela comparação de sua concentração no afluente, do processo de estabilização de lodo de esgoto ou produto derivado (digestão aeróbia ou anaeróbia), com a sua concentração no lodo de esgoto ou produto derivado pronto para uso ou disposição.

b) Condição referida à digestão anaeróbia: caso a redução de 38% de SV do lodo de esgoto ou produto derivado não seja atingida, após o mesmo ser submetido a um processo de digestão anaeróbia, o processo adotado será aceito apenas se em escala de laboratório a mesma amostra de lodo de esgoto ou produto derivado, após um período adicional de 40 dias de digestão, com temperatura variando entre 30 e 37 °C, apresentar uma redução de SV menor que 17%.

c) Condição referida à digestão aeróbia: caso a redução de 38% de SV do lodo de esgoto ou produto derivado não seja atingida, após o mesmo ser submetido a um processo de digestão aeróbia, e o lodo de esgoto ou produto derivado possuir uma concentração de matéria seca (M.S.) inferior a 2%, o processo adotado será aceito apenas se em escala de laboratório a mesma amostra de lodo de esgoto ou produto derivado, após um período adicional de 30 dias de digestão, com temperatura mínima de 20 °C, apresentar uma redução de SV menor que 15%.

d) Condição referida à digestão aeróbia: após o período de digestão, a taxa específica de consumo de oxigênio (SOUR - Specific Oxygen Uptake Rate) deve ser menor ou igual a 1,5 mg O₂/[hora x grama de sólidos totais (ST)] a 20°C.

e) Condição referida à compostagem ou outro processo aeróbio: durante o processo, a temperatura deve ser mantida acima de 40° C por pelo menos 14 dias. A temperatura média durante este período deve ser maior que 45°C.

f) Condição referida à estabilização química: a uma temperatura de 25°C, a quantidade de álcali misturada com o lodo de esgoto ou produto derivado, deve ser suficiente para que o pH seja elevado até pelo menos 12 por um período mínimo de 2 horas, permanecendo acima de 11,5 por mais 22 horas. Estes valores devem ser alcançados sem que seja feita uma aplicação adicional de álcali.

g) Condição referida à secagem com ventilação forçada ou térmica para lodos de esgoto ou produto derivado que não receberam adição de lodos primários brutos: após o processo de secagem, a concentração de sólidos deve alcançar no mínimo 75% M.S., sem que haja mistura de qualquer aditivo.

h) Não é aceita a mistura com outros materiais para alcançar a porcentagem exigida de sólidos totais.

i) Condição referida à secagem por aquecimento ou ao ar para lodos de esgoto ou produto derivado que receberam adição de lodos primários brutos: após o processo de secagem, a concentração de sólidos deve alcançar no mínimo 90% M.S., sem que haja mistura de qualquer aditivo. Não se aceita a mistura com outros materiais para alcançar a porcentagem exigida de sólidos totais.

j) Condição referida à aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado no solo na forma líquida: a injeção do lodo de esgoto ou produto derivado líquido sob a superfície será aceita como um processo de redução de atração de vetores se: não for verificada a presença de quantidade significativa de lodo de esgoto ou produto derivado na superfície do solo após uma hora da aplicação. No caso de lodo de



esgoto ou produto derivado classe A, a injeção do lodo de esgoto ou produto derivado deve ser feita num período máximo de até oito horas após a finalização do processo de redução de patógenos.

1) Condição referida à aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado no solo: nesta situação, o lodo de esgoto ou produto derivado deve ser incorporado no solo antes que transcorram seis horas após a aplicação na área. Se o lodo de esgoto ou produto derivado for classe A, deve ser aplicado e incorporado decorridas, no máximo, oito horas após sua descarga do processo de redução de patógenos.



ANEXO II

CRITÉRIOS PARA AS ANÁLISES DE LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO E SOLO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

1. Determinação de substâncias inorgânicas

As análises de substâncias inorgânicas a serem realizadas nas amostras de lodo de esgoto ou produto derivado e de solo devem permitir a determinação da totalidade da substância pesquisada que esteja presente na amostra bruta.

Para a determinação dos elementos: As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn nas amostras de lodo de esgoto ou produto derivado e de solo, deve-se empregar os métodos 3050 e 3051, estabelecidos no *U.S.EPA SW-846, versão "on line"* <<http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/main.htm#table>>. Os resultados devem ser expressos em g ou mg do parâmetro por kg de lodo em base seca.

Para determinação das substâncias orgânicas no lodo de esgoto ou produto derivado e no solo, deverão ser adotados os métodos *U.S.EPA SW-846, última edição* ou outros métodos internacionalmente aceitos.

Referência:

U.S. EPA - United State Environment Protection Agency. SW-846. Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical Chemical Methods.

2. Determinação da fertilidade do solo – pH, matéria orgânica, P, Ca, K, Mg, Na, H+Al, S, CTC e V%

As determinações de pH, matéria orgânica, P, Ca, K, Mg, Na, acidez potencial (H+Al), soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC) e porcentagem de saturação em bases (V%) nos solos deverão ser realizadas de acordo com procedimento estabelecido por:

Referências:

RAIJ, B. van; GHEYI, H.R.; BATAGLIA, O.C. Determinação da condutividade elétrica e de cátions solúveis em extratos aquosos de solos. In Raij, B. van; Andrade, J.C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001, p. 277-284.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1997, 212 p.

3. Determinação de pH, umidade, carbono orgânico, N total, N Kjeldahl, N amoniacal, N nitrato/nitrito, P total, K total, Ca total, Mg total, S total, Na total, e Sólidos voláteis e totais no lodo de esgoto ou produto derivado

As determinações de pH, umidade, carbono orgânico, N total, N Kjeldahl, N amoniacal, N nitrato/nitrito, P total, K total, Ca total, Mg total, S total, Na total, e Sólidos voláteis e totais no lodo de esgoto ou produto derivado deverão ser realizadas de acordo com os procedimentos adotados pela *U.S. EPA SW-846 versão "on line"* (<http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/main.htm#table>). *BIGHAM (1996)* apresenta a metodologia a ser adotada para carbono orgânico (*NELSON & SOMMERS, 1996*), P total (*KUO, 1996*), N amoniacal (*BREMNER, 1996*), N total (*BREMNER, 1996*) e N nitrato/nitrito (*MULVANEY, 1996*). Para sólidos voláteis e N Kjeldahl adotar método estabelecido por *APHA et alii (2005)*. Os resultados devem ser expressos em mg do parâmetro por kg de lodo de esgoto ou produto derivado em base seca.

Referências:

BIGHAM, J.M. Methods of Soils Analysis. Part 3. Chemical Methods. Madison, WI. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. Book Series nº 5, 1996.



NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E., 1996. In: Bigham, J.M., p. 961-1010.

KUO, S, 1996. In: Bigham, J.M., p. 869-919.

BREMNER, J.M., 1996. In: Bigham, J.M., p. 1085-1121.

MULVANEY, R.L., 1996. In: Bigham, J.M., p. 1123-1200.

APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association & WPCF - Water Pollution Control Federation, 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 st ed. Washington, DC.

4. Determinação de condutividade elétrica em solo

As determinações da condutividade elétrica no solo deverão ser realizadas de acordo com o procedimento estabelecido por CAMARGO *et alii* (1986) ou RAIJ *et al.* (2001) em extrato na relação 1:1.

Referências:

RAIJ, B. van; GHEYI, H.R.; BATAGLIA, O.C. Determinação da condutividade elétrica e de cátions solúveis em extratos aquosos de solos. In Raij, B. van; Andrade, J.C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001, p. 277-284.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C., JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S., 1986. *Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos de Instituto Agrônomo de Campinas*. Boletim Técnico nº 106, Campinas, Instituto Agrônomo.

5. Determinação de indicadores microbiológicos e patógenos

Coliformes termotolerantes:

US Environmental Protection Agency. *Environmental Regulations and Technology - Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage)*. Under 40 CFR Part 503. Appendix F: Sample Preparation for fecal coliform test and *Salmonella sp* Analysis, p. 137, EPA/625/R-92/013, 2003. www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs

CETESB. *Coliformes fecais - Determinação em amostras de água pela técnica de tubos múltiplos com meio A1 - Método de ensaio*. Norma Técnica CETESB L5-406, 1992, 20 p.

Salmonella:

US Environmental Protection Agency. *Environmental Regulations and Technology - Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage)*. Under 40 CFR Part 503. Appendix F: Sample Preparation for fecal coliform test and *Salmonella sp* Analysis, p. 137, EPA/625/R-92/013, 2003. www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs

Ovos viáveis de helmintos:

US Environmental Protection Agency. *Environmental Regulations and Technology - Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage)*. Under 40 CFR Part 503. Appendix I - Test Method for Detecting, Enumerating, and Determining the Viability of *Ascaris Ova* in Sludge, p. 166, EPA/625/R-92/013, 2003. www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs

Vírus entéricos:

Os vírus entéricos a serem pesquisados preferencialmente serão: adenovírus e vírus do Gênero *Enterovirus* (Poliovírus, Echovírus, Coxsackievírus). Em situações especiais - endêmicas ou epidêmicas - (surto de diarreia, hepatite A e outras viroses de transmissão fecal-oral), deve-se pesquisar rotavírus, vírus da hepatite A e outros, definidos pelo órgão ambiental, ouvido os órgãos competentes.

Referências:

US Environmental Protection Agency. *Environmental Regulations and Technology - Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage)*. Under 40



CFR Part 503. Appendix H - Method for the recovery and assay of total culturable viruses from sludge, p. 150, EPA/625/R-92/013, 2003. www.epa.gov/ORD/NRMRL/pubs

CETESB. Método de concentração de lodo de esgoto para isolamento de enterovírus. Norma Técnica CETESB L5.506, 1988, 23p.

CETESB. Identificação de Enterovírus - Método de Ensaio. Norma Técnica CETESB L5.504, 1985, 22p.

Reação de amplificação em cadeia pela polimerase (PCR) para pesquisa de vírus DNA como adenovírus:

SANTOS, F.M.; VIEIRA, M. J.; MONEZI, T.A.; HÁRSI, C.M.; MEHNERT, D.U. Discrimination of adenovirus types circulating in urban sewage and surface polluted waters in São Paulo city, Brazil. *Water Science Technologie, Water Supply* vol. 4 (2): 79-85, 2004.

Reação de transcrição reversa seguida de amplificação em cadeia pela polimerase (RT-PCR) para pesquisa de vírus RNA como Gênero Enterovirus (Poliovírus, Echovírus, Coxsackievírus), Rotavírus, Hepatite A e outros:

ARRAJ, A., BOHATIER, J. LAVERAN, H. AND TRAORE, O. Comparison of bacteriophage and enteric virus removal in pilot scale activated sludge plants. *J. Applied Microbiol.* 98: 516-524, 2005.

FORMIGA-CRUZ, M., HUNDESA, A., CLEMENTE-CASARES, P., ALBINANA-GIMENEZ, N., ALLARD, A., GIRONEZ, R. Nested multiplex PCR assay for detection of human enteric viruses in shellfish and sewage. *J. Virol. Method*, 125: 111-118, 2005.

Método de diluição *end-point* com cálculo de título por método de Reed-Muench e resultado expresso em DICT50 por 4 g:

HAWKE, A. General principles underlying laboratory diagnosis of viral infections. IN: E.H. Lennette; N.G. Schmidt (ED.) – *Diagnostic procedures for viral, rickettsial and chlamydial infections*. Washington, D.C., APHA, 1979. P. 3-48.

Resultado expresso em Unidades Formadoras de Focos (UFF) por 4 g:

BARARDI, CRM, EMSLIE, K, VESEY, G; WILLIAMS, K. Development of a rapid and sensitive quantitative assay for rotavirus based on flow cytometry. *J. Virol. Method.* 74: 31-38, 1998.

MEHNERT, D.U.; STEWIEN, K.E. Detection and distribution of rotaviruses in raw sewage and creeks in São Paulo, Brazil. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59: 140-3, 1993.

6. Determinação da elevação de pH provocada por lodos de esgoto ou produto derivado tratados com cal

A curva de elevação de pH será obtida por ensaio de incubação utilizando mistura solo/lodo de esgoto ou produto derivado conforme descrito a seguir:

a) Pesar 200 g do solo coletado no local onde se pretende fazer a aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado e adicionar o correspondente às seguintes doses de lodo de esgoto ou produto derivado, em toneladas/ha (base seca): 0, 10, 20, 40, 80.

b) Homogeneizar a mistura e colocar em recipientes de material inerte.

c) Adicionar água de modo a manter a umidade a 70% da capacidade máxima de retenção de água do solo, ao longo de todo o experimento.

d) Os recipientes devem ser mantidos cobertos de maneira a evitar ressecamento. O ensaio deve ser feito com três repetições.

e) mostrar o solo dos tratamentos com a mistura solo/lodo de esgoto ou produto derivado nos tempos 7, 14, 30, 45 e 60 dias e determinar o pH em CaCl₂, conforme RAIJ et al. (2001) ou EMBRAPA (1997), até que apresente valor constante em 3 determinações consecutivas.



f) A curva de elevação de pH será obtida através de gráfico da variação do pH final da mistura solo-lodo de esgoto ou produto derivado em função da dose (dose de lodo de esgoto ou produto derivado na abscissa e pH na ordenada).

Referências:

RAIJ, B. van; GHEYI, H.R.; BATAGLIA, O.C. Determinação da condutividade elétrica e de cátions solúveis em extratos aquosos de solos. In Raij, B. van; Andrade, J.C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001, p. 277-284.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1997, 212 p.



ANEXO III

CÁLCULO DO NITROGÊNIO DISPONÍVEL NO LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO

Para o cálculo do nitrogênio disponível (**N_{disp}**) no lodo de esgoto ou produto derivado, deverão ser utilizadas as seguintes frações de mineralização (**FM**):

Lodo de esgoto não digerido	40%
Lodo de esgoto digerido aerobiamente	30%
Lodo de esgoto digerido anaerobiamente	20%
Lodo de esgoto compostado	10%

Referência:

NCDEHNR-North Carolina Department of Environment, Health and Natural Resources - Division of Environmental Management, Land Application of Residual Solids, form LARS 06/94, North Carolina, 1994.

Caso seja de interesse da UGL, poderão ser utilizadas frações de mineralização determinadas por meio de ensaios que adotem metodologias aceitas pelo órgão ambiental competente. Para produtos derivados estes ensaios deverão ser realizados.

O teor de N disponível do lodo de esgoto ou produto derivado é calculado pelas expressões:

Fórmula para cálculo do **N_{disp}** (mg/kg) para aplicação superficial

$$\text{N}_{\text{disp}} = (\text{FM}/100) \times (\text{K}_{\text{Kj}} - \text{N}_{\text{NH}_3}) + 0,5 \times (\text{N}_{\text{NH}_3}) + (\text{N}_{\text{NO}_3} + \text{N}_{\text{NO}_2})$$

Fórmula para cálculo do **N_{disp}** (mg/kg) para aplicação subsuperficial

$$\text{N}_{\text{disp}} = (\text{FM}/100) \times (\text{N}_{\text{Kj}} - \text{N}_{\text{NH}_3}) + (\text{N}_{\text{NO}_3} + \text{N}_{\text{NO}_2})$$

Dados necessários para o cálculo do **N_{disp}**:

fração de mineralização do nitrogênio (**FM**) (%);

Nitrogênio Kjeldahl (nitrogênio Kjeldahl = nitrogênio orgânico total + nitrogênio amoniacal (**N_{Kj}**)) (mg/kg);

Nitrogênio amoniacal (**N_{NH3}**) (mg/kg);

Nitrogênio Nitrato e Nitrito (**N_{NO3}** + **N_{NO2}**) (mg/kg).

As concentrações utilizadas nestes cálculos devem ser em mg do parâmetro por kg de lodo de esgoto ou produto derivado em base seca.



ANEXO IV
CRITÉRIOS PARA AMOSTRAGEM DE SOLO E LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO

1. Amostragem de solo

O número de amostras de solo deverá ser representativo da área a ser avaliada. A área amostrada deverá ser subdividida em parcelas homogêneas nunca superiores a 20 hectares considerando o histórico de disposição de lodo de esgoto ou seus produtos derivados, a topografia, o tipo de solo e o tipo de cultura.

As parcelas deverão ser identificadas em mapa, em escala compatível, para o planejamento e o acompanhamento do monitoramento.

Em relação ao local da amostragem, deverá ser observado o seguinte critério:

a) para culturas perenes, a amostragem deverá ser efetuada nas faixas adubadas com lodo de esgoto ou seus produtos derivados;

b) para culturas anuais, a amostragem deverá ser efetuada, aleatoriamente, em zigue-zague, em toda a área.

O tipo de amostragem deve ser selecionado em função dos parâmetros a serem analisados:

a) Para substâncias não voláteis as amostras deverão ser compostas, para cada parcela homogênea, sendo que:

a.1) para a profundidade de 0-20 cm, deverão ser coletadas 10 (dez) sub-amostras formando 1(uma) amostra composta;

a.2) para a profundidade de 20-40 cm, deverão ser coletadas 2 (duas) sub-amostras formando uma amostra composta;

a.3) para cada parcela, as sub-amostras deverão se coletadas na mesma profundidade, colocadas em um recipiente de material inerte, para posterior homogeneização.

b) Para substâncias semi-voláteis ou voláteis, as amostras deverão ser simples, devendo ser coletada 1 (uma) amostra na profundidade de 0-20 cm e 1 (uma) amostra na profundidade de 20-40 cm.

O coletor das amostras deverá utilizar luvas descartáveis e evitar a contaminação cruzada da amostra.

Os requisitos básicos para acondicionamento, preservação e validade de amostras de solo deverão ser seguidos para cada parâmetro físico ou químico a ser determinado, de acordo com as instruções dos respectivos laboratórios de análise, para garantir a integridade das amostras.

2. Amostragem de lodo de esgoto ou produto derivado para análise de parâmetros inorgânicos, orgânicos e microbiológicos

Toda a amostragem de lodo de esgoto ou produto derivado, tanto para caracterização inicial quanto para monitoramento, deverá atender aos requisitos estabelecidos na norma brasileira de amostragem de resíduos.

2.1 Amostragem de lodo de esgoto ou produto derivado para análise de parâmetros inorgânicos

2.1.1 Caracterização inicial

Quando tratar-se de lodo de esgoto ou produto derivado digerido, a sua caracterização deverá ser feita por meio de análise de 4 (quatro) amostras simples, coletadas com defasagem mínima de 7 (sete) dias.



Quando o material amostrado não for digerido ou for heterogêneo, tal como pilhas de lodo de esgoto ou produto derivado em processo de compostagem ou secagem ao ar, a caracterização de substâncias inorgânicas deverá ser realizada a partir da coleta de 4 (quatro) amostras compostas, formadas por sub-amostras de iguais quantidades do material coletadas em diferentes pontos da pilha de amostragem.

2.1.2 Monitoramento

A frequência de amostragem para fins de monitoramento deverá observar o estabelecido no art. 10 desta Resolução. A amostragem deverá observar os mesmos procedimentos descritos no item 2.1.1.

2.2 Amostragem de lodo de esgoto ou produto derivado para análise de parâmetros orgânicos

Tanto a caracterização inicial quanto o monitoramento deverão seguir o estabelecido em relação à amostragem para análise de parâmetros inorgânicos, exceto no que se refere à formação de amostras compostas, visto que todas as amostras deverão ser simples.

2.3 Amostragem de lodo de esgoto ou produto derivado para análises microbiológicas e parasitológicas

2.3.1 Procedimento de coleta

As coletas de lodo de esgoto ou produto derivado destinadas a análises microbiológicas deverão ser realizadas conforme descrito na publicação da agência ambiental americana (U.S.EPA) “*Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge*” - EPA/625/R-92/013, de julho de 2003.

A quantidade mínima de amostras a ser coletada deverá ser de 1000 g (peso úmido).

2.3.2 Caracterização inicial

Para caracterização inicial do lodo de esgoto ou produto derivado deverão ser coletadas pelo menos 15 amostras num período de 3 meses. Essa amostragem deverá ser planejada de forma que as coletas sejam realizadas a intervalos relativamente uniformes abrangendo todo esse período.

Quando o material amostrado for heterogêneo (pilhas de lodo de esgoto ou produto derivado em processo de compostagem ou secagem ao ar), para que sejam obtidos resultados representativos, iguais quantidades do material deverão ser coletadas em diferentes pontos. Essas sub-amostras serão então combinadas e analisadas como uma amostra única, no conjunto de 15 amostras.

2.3.3 Monitoramento do lodo de esgoto ou produto derivado

Para monitoramento deverá ser coletada uma amostra, em quadruplicata, de acordo com a frequência estabelecida na Tabela 1 do art. 10 dessa Resolução. A qualidade do lodo de esgoto ou produto derivado deverá ser também verificada antes da primeira aplicação e quando o lodo de esgoto ou produto derivado for vendido ou distribuído. A amostragem deverá observar os mesmos procedimentos descritos no item 2.3.2.



ANEXO V

LISTAS DE SUBSTÂNCIAS ORGÂNICAS A SEREM DETERMINADAS NO LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO E NO SOLO

Tabela 1 - Substâncias orgânicas potencialmente tóxicas a serem determinadas no lodo de esgoto ou produto derivado

Substância	
Benzenos clorados	Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos
1,2-Diclorobenzeno	Benzo(a)antraceno
1,3-Diclorobenzeno	Benzo(a)pireno
1,4-Diclorobenzeno	Benzo(k)fluoranteno
1,2,3-Triclorobenzeno	Indeno(1,2,3-c,d)pireno
1,2,4-Triclorobenzeno	Naftaleno
1,3,5-Triclorobenzeno	Fenantreno
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	Lindano
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	Poluentes Orgânicos Persistentes (POP's) Constantes da Convenção de Estocolmo
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	Aldrin
Esteres de ftalatos	Dieldrin
Di-n-butil ftalato	Endrin
Di (2-etilhexil)ftalato (DEHP)	Clordano
Dimetil ftalato	Heptacloro
Fenóis não clorados	DDT
Cresóis	Toxafeno
Fenóis clorados	Mirex
2,4-Diclorofenol	Hexaclorobenzeno
2,4,6-Triclorofenol	PCB's
Pentaclorofenol	Dioxinas e Furanos



Tabela 2 - Concentrações permitidas de substâncias orgânicas em solos agrícolas.

Substância	Concentração permitida no solo (mg/kg)
Benzenos Clorados	
1,2-Diclorobenzeno	0,73
1,3-Diclorobenzeno	0,39
1,4-Diclorobenzeno	0,39
1,2,3-Triclorobenzeno	0,01
1,2,4-Triclorobenzeno	0,011
1,3,5-Triclorobenzeno	0,5
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	0,16
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	0,01
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	0,0065
Ésteres de ftalatos	
Di-n-butil ftalato	0,7
Di (2-etilhexil)ftalato (DEHP)	1
Dimetil ftalato	0,25
Fenóis não clorados	
Cresóis	0,16
Fenóis clorados	
2,4-Diclorofenol	0,031
2,4,6-Triclorofenol	2,4
Pentaclorofenol	0,16
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos	
Benzo(a)antraceno	0,025
Benzo(a)pireno	0,052
Benzo(k)fluoranteno	0,38
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	0,031
Naftaleno	0,12
Fenantreno	3,3
Lindano	0,001



ANEXO VI

MODELO DE DECLARAÇÃO A SER ENCAMINHADA PELA UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO - UGL AO PROPRIETÁRIO E AO ARRENDATÁRIO OU ADMINISTRADOR DA ÁREA DE APLICAÇÃO DO LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO

O interessado deverá apresentar, ao órgão ambiental, a declaração a seguir devidamente preenchida e assinada pelo representante da UGL e pelo proprietário, arrendatário ou administrador da área de aplicação.

Modelo de declaração

Parte 1: (a ser preenchida pela Unidade de Gerenciamento de Lodo - UGL)

- Nome da UGL
- Endereço
- Método utilizado para redução de patógenos do lodo de esgoto ou produto derivado
- Classe do lodo de esgoto ou produto derivado: classe A classe B
- Processo utilizado para a redução de vetores
- Teor de umidade do lodo de esgoto ou produto derivado (%)
- Concentração de substâncias inorgânicas e agentes patogênicos

	Unidade	Concentração (base seca)	Data da análise
Arsênio	mg/kg		
Bário	mg/kg		
Cádmio	mg/kg		
Cromo	mg/kg		
Cobre	mg/kg		
Chumbo	mg/kg		
Mercurio	mg/kg		
Molibdênio	mg/kg		
Níquel	mg/kg		
Selênio	mg/kg		
Zinco	mg/kg		
Coliformes termotolerantes	NMP/g MS		
Vírus entéricos	UFP/4g ou UFF/4g MS		
Ovos viáveis de helmintos	nº de ovos viáveis/4g MS		

- Concentração de Ndisponível no lodo de esgoto ou produto derivado, em mg/kg (base seca), calculado conforme Anexo III:

data das análises: _____ Ndisponível: _____

- Taxa de Aplicação
- Tipo de cultura na qual será aplicado o lodo de esgoto ou produto derivado
- Denominação da área de aplicação



- Endereço do local de aplicação
- Campo/Parcela
- Área de aplicação (hectares)
- Quantidade aplicada (m³ ou kg)
- Método de aplicação
- Método usado em campo para redução de atração de vetores (se aplicável)

Obs: Em caso de diferentes culturas ou modos de aplicação, deverão ser preenchidas declarações correspondentes.

Estou ciente que, no caso de falsidade das declarações aqui prestadas, poderei ser responsabilizado, administrativa, civil e penalmente, conforme legislação pertinente em vigência.

Nome e assinatura do responsável pela UGL: _____

Data: _____

Parte 2: (a ser preenchida pelo proprietário, arrendatário ou administrador)

Eu, _____, RG nº _____, proprietário da (sítio, fazenda, etc.) _____, localizada (endereço) _____, coordenadas geográficas (UTM) _____, concordo com a aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado em minha propriedade, comprometendo-me a seguir as orientações constantes do projeto elaborado pela UGL.

Nome e assinatura do proprietário: _____

Data: _____



ANEXO VII

RECOMENDAÇÕES QUANTO AO TRANSPORTE

1. O lodo de esgoto ou produto derivado somente será carregado e retirado da ETE ou UGL mediante a apresentação pelo motorista do caminhão, do Termo de Responsabilidade (nº 1 carregamento) e do Formulário de Controle de Retirada.
2. O motorista deve estar devidamente cadastrado e credenciado na empresa geradora do lodo de esgoto ou produto derivado.
3. Para o transporte deverão ser utilizados caminhões com carrocerias totalmente vedadas, tais como os caminhões basculantes, equipados com sistema de trava para impedir a abertura da tampa traseira, lona plástica para cobertura, cone de sinalização, pá ou enxada e um par de luvas de látex.
4. É proibido qualquer tipo de coroamento nos caminhões (altura da carga ultrapassando a altura da carroceria).
5. Os caminhões devem possuir algum tipo de sistema de comunicação para uso imediato em caso de ocorrência de sinistro.
6. Em caso de sinistro em vias públicas, com derramamento de lodo de esgoto, todos os procedimentos para limpeza são de responsabilidade da empresa transportadora do lodo de esgoto ou produto derivado.
7. Todos trabalhadores em contato com o lodo de esgoto ou produto derivado deverão sempre utilizar luvas de proteção plásticas ou de couro. Também é requerido o uso de calçado adequado, sapatos ou botas de couro ou plástico, sendo proibido o uso de sandálias e outros calçados abertos.
8. Ao término dos serviços lavar com água e sabão as luvas, os calçados e as mãos.
9. Deverá ser observada a limpeza dos pneus na saída dos caminhões da ETE ou UGL.

Termo de Responsabilidade do Transportador do lodo de esgoto de esgoto ou produto derivado

_____, de _____ de 200__.

Eu, _____, portador do documento de identidade nº _____, declaro ter sido contratado pela empresa _____ para realizar o transporte do produto lodo de esgoto ou produto derivado entre a Estação de Tratamento de Esgoto da Companhia de Saneamento ou UGL _____ e a propriedade do usuário-aplicador situada _____

Declaro que farei o transporte, em conformidade com as recomendações da Companhia de Saneamento _____, utilizando caminhões com carrocerias totalmente vedadas, equipados com sistema de trava para impedir a abertura da tampa traseira, lona plástica para cobertura, cone de sinalização, pá ou enxada e um par de luvas de látex.

Informo estar ciente de que o produto somente poderá ser entregue na propriedade definida no Projeto Agrônomo nº _____, sendo que qualquer problema que venha a ocorrer durante o transporte ou em decorrência dele será de minha inteira responsabilidade.



Controle de Retirada do lodo de esgoto ou produto derivado

Logotipo Cia. de Saneamento	Controle de Retirada do lodo de esgoto por Terceiros	Projeto n°
		Documento
		Revisão/Data

Data: ____/____/____	N°: _____
Destino: _____	Cidade: _____
Volume Retirado: _____ m ³	
Local de Retirada: Aterro Pátio Prensa	
Motorista: _____	
RG: _____	
Transportadora: _____	
Placa do Veículo: _____	
<p>Motorista declara estar ciente das precauções para o transporte de lodo de esgoto ou produto derivado descritas no verso:</p> <p align="center">Assinatura do motorista transportador</p> <p>Via da portaria</p> <p><i>Ao sair, é obrigatória a entrega deste boleto preenchido na portaria da ETE ou UGL.</i></p>	

Logotipo Companhia de Saneamento	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO _____
	Data: ____/____/____
	Volume de lodo de esgoto ou produto derivado retirado: _____ m ³

Precauções para o transporte do lodo de esgoto ou produto derivado.

1. O caminhão ou camioneta deverá ter trava de carroceria e a carroceria deverá ser totalmente vedada.
2. A carroceria deverá estar coberta com lona plástica.
3. O veículo deverá ter durante a viagem, uma pá e/ou enxada e um cone de sinalização.
4. Para contato direto com o lodo de esgoto ou produto derivado, usar luvas, e após este contato lavar as mãos e o calçado com água e sabão.

ETE ou UGL: _____

Endereço da ETE ou UGL: _____

Via do motorista transportador



ANEXO VIII

ROTEIRO PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO AGRONÔMICO

Para a elaboração de projetos de aplicação de lodos de esgoto ou produto derivado na agricultura, deve ser observado o seguinte roteiro:

1. Caracterização da instalação de tratamento de esgoto-ETE ou UGL

Apresentar descrição do sistema de tratamento incluindo a localização da estação de tratamento, a sua capacidade operacional, as características da bacia de drenagem de esgoto, o tipo de tratamento, o fluxograma simplificado do processo, as várias unidades do sistema e o volume de lodo de esgoto ou produto derivado gerado.

2. Caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado

Apresentar caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado, observando-se o estabelecido no art. 7º desta Resolução.

Apresentar o ensaio para determinação de elevação de pH provocada pela aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado no solo, conforme item 6, do Anexo II desta Resolução, no caso de lodos de esgoto ou produto derivado tratados com cal.

Apresentar de forma detalhada a descrição dos processos adotados para redução de agentes patogênicos e de atratividade de vetores.

3. Caracterização das áreas de aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado

Apresentar nome e endereço do proprietário da área e declaração da UGL, conforme Anexo VI desta Resolução.

3.1 Localização

Apresentar plantas planialtimétricas de situação dos locais de aplicação propostos, com a escala mínima de 1:10.000, abrangendo até 500 m dos limites da aplicação, trazendo indicações dos seguintes elementos:

- a) indicação do uso do solo na área a ser utilizada para a aplicação;
- b) coordenadas geográficas (UTM) das áreas de aplicação;
- c) localização de nascentes e olhos d'água;
- d) localização de corpos d'água, indicando sua largura;
- e) localização de lagoas, lagos, reservatórios, captações, poços de abastecimento de água, residências;
- f) localização de matas nativas remanescentes;
- g) levantamento das unidades de conservação incidentes;
- h) descrição da vizinhança; e
- i) acessos ao local.

Nos locais onde não se dispuser do levantamento planialtimétrico na escala 1:10.000, serão aceitos, excepcionalmente, os levantamentos na escala 1:50.000, complementados por descrição detalhada da área e croqui com indicação das declividades das áreas de aplicação.

3.2 Caracterização do solo das áreas de aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado

Apresentar caracterização do solo, observando-se o estabelecido no art. 21 desta Resolução, devendo ser incluída planta com a localização dos pontos de amostragem.



4. Taxa de aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado

Apresentar a taxa de aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado no solo observando o estabelecido no art. 17 desta Resolução, para cada área.

5. Armazenamento e transporte do lodo de esgoto ou produto derivado

Apresentar detalhamento dos sistemas de armazenamento e transporte de lodo de esgoto ou produto derivado, os quais deverão atender ao estabelecido nos arts. 19 e 20 e no Anexo VII desta Resolução.

6. Planos de aplicação e manejo

Apresentar plano de aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado e de manejo da área, atendendo ao art. 18 desta Resolução e demais exigências desta Resolução, incluindo:

a) descrição da seqüência da aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado detalhando períodos previsto para a aplicação ao longo do ano;

b) indicação em planta das culturas de cada parcela e

c) descrição do manejo detalhando época de plantio e/ou desenvolvimento da cultura.

7. Relatório de operação

Elaborar relatório de operação, que deve ser mantido em arquivo pela UGL, onde devem constar os registros da operação, contemplando minimamente:

a) origem do lodo de esgoto ou produto derivado;

b) caracterização do lodo de esgoto ou produto derivado;

c) data da aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado;

d) localização da aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado (local, campo, ou nº da parcela);

e) massa de lodo de esgoto ou produto derivado aplicado em toneladas (base seca) por hectare;

f) totais anuais de lodo de esgoto ou produto derivado aplicado em toneladas secas por hectare;

g) totais acumulados, desde o início da aplicação, em quilogramas por hectare, de cada metal avaliado;

h) método de aplicação;

i) tipo de vegetação existente ou cultura a ser implantada no local;

j) quantidade de nitrogênio disponível aplicado, em kg/hectare;

l) observações quanto à ocorrência de chuvas por ocasião da aplicação e condições do solo quanto a erosões.

8. Monitoramentos

Apresentar descrição detalhada dos monitoramentos propostos para o acompanhamento da aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado, observando-se o disposto nos arts. 10 e 21 desta Resolução.

Deverão ser propostos modelos de relatório dos monitoramentos, do lodo de esgoto ou produto derivado e do solo das áreas de aplicação, a serem efetuados pelo responsável pela aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado.



9. Anotação de Responsabilidade Técnica

Apresentar a Anotação de Responsabilidade Técnica-ART do projeto agrônômico proposto. No preenchimento da ART deverá ser indicado o responsável pelo projeto quanto à escolha do local, taxa de aplicação e escolha do tipo de cultura, trazendo a anotação de tipo 1 no campo 6.

10. Informações adicionais

A critério do órgão ambiental poderão ser exigidas informações adicionais que não constam deste roteiro.

ESSE TEXTO NÃO SUBSTITUI O PUBLICADO NO DOU EM 30/08/2006





MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

RESOLUÇÃO Nº 380, DE 31 DE OUTUBRO DE 2006

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pelos arts. 6º, inciso II e 8º, inciso VII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de junho de 1990 e suas alterações, tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, resolve:

Art. 1º O Anexo I, da Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006, publicada no Diário Oficial da União de 30 de agosto de 2006, Seção 1, página 141 a 146, retificada em 13 de setembro de 2006, Seção 1, página 80, passa a vigorar com a seguinte redação:

“.....

3. Processos para Redução da Atratividade de Vetores

Nesta lista está indicado, entre parênteses, o número do critério a ser observado para verificação da aceitabilidade do processo quanto à redução de atratividade de vetores.

- a) digestão anaeróbia do lodo de esgoto ou produto derivado (critério 1 ou 2);
- b) digestão aeróbia do lodo de esgoto ou produto derivado (critério 1 ou 3 ou 4 ou 5);
- c) compostagem (critério 5);
- d) estabilização química (critério 6);
- e) secagem (critério 7 ou 8);
- f) aplicação subsuperficial (critério 9) e
- g) incorporação no solo (critério 10).

Estes processos serão aceitos apenas se forem atendidos os critérios especificados abaixo.

Critérios para verificar se o processo de tratamento adotado para o lodo de esgoto ou produto derivado reduz o potencial de disseminação de doenças por meio de vetores (ex. moscas, roedores, mosquitos):

critério 1 – relacionado à digestão aeróbia ou anaeróbia: a concentração de sólidos voláteis (SV) deve ser reduzida em 38% ou mais. A redução de SV é medida pela comparação de sua concentração no afluente, do processo de estabilização de lodo de esgoto ou produto derivado (digestão aeróbia ou anaeróbia), com a sua concentração no lodo de esgoto ou produto derivado pronto para uso ou disposição;

critério 2 - relacionado à digestão anaeróbia: caso a redução de 38% de SV do lodo de esgoto ou produto derivado não seja atingida, após o mesmo ser submetido a um processo de digestão anaeróbia, o processo adotado será aceito apenas se em escala de laboratório a mesma amostra de lodo de esgoto ou produto derivado, após um período adicional de 40 dias de digestão, com temperatura variando entre 30 e 37 °C, apresentar uma redução de SV menor que 17%;

critério 3 - relacionado à digestão aeróbia: caso a redução de 38% de SV do lodo de esgoto ou produto derivado não seja atingida, após o mesmo ser submetido a um processo de digestão aeróbia, e o lodo de esgoto ou produto derivado possuir uma concentração de matéria seca (M.S.) inferior a 2%, o processo adotado será aceito apenas se em escala de laboratório a mesma amostra de lodo de esgoto ou produto derivado, após um período adicional de 30 dias de digestão, com temperatura mínima de 20 °C, apresentar uma redução de SV menor que 15%;

critério 4 - relacionado à digestão aeróbia: após o período de digestão, a taxa específica de consumo de oxigênio (SOUR - Specific Oxygen Uptake Rate) deve ser menor ou igual a 1,5 mg O₂/[hora x grama de sólidos totais (ST)] a 20°C;

critério 5 - relacionado à compostagem ou outro processo aeróbio: durante o processo, a temperatura deve ser mantida acima de 40° C por pelo menos 14 dias. A temperatura média durante este período deve ser maior que 45°C;

critério 6 - relacionado à estabilização química: a uma temperatura de 25°C, a quantidade de álcali misturada com o lodo de esgoto ou produto derivado, deve ser suficiente para que o pH seja elevado até pelo menos 12 por um período mínimo de 2 horas, permanecendo acima de 11,5 por mais 22 horas. Estes valores devem ser alcançados sem que seja feita uma aplicação adicional de álcali;

critério 7 - relacionado à secagem com ventilação forçada ou térmica para lodos de esgoto ou produto derivado que não receberam adição de lodos primários brutos: após o processo de secagem, a concentração de sólidos deve alcançar no mínimo 75% M.S., sem que haja mistura de qualquer aditivo. Não é aceita a mistura com outros materiais para alcançar a porcentagem exigida de sólidos totais;

critério 8 - relacionado à secagem por aquecimento ou ao ar para lodos de esgoto ou produto derivado que receberam adição de lodos primários brutos: após o processo de secagem, a concentração de sólidos deve alcançar no mínimo 90% M.S., sem que haja mistura de qualquer aditivo. Não se aceita a mistura com outros materiais para alcançar a porcentagem exigida de sólidos totais;

critério 9 - relacionado à aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado no solo na forma líquida: a injeção do lodo de esgoto ou produto derivado líquido sob a superfície será aceita como um processo de redução de atração de vetores se: não for verificada a presença de quantidade significativa de lodo de esgoto ou produto derivado na superfície do solo após uma hora da aplicação. No caso de lodo de esgoto ou produto derivado classe A, a injeção do lodo de esgoto ou produto derivado deve ser feita num período máximo de até oito horas após a finalização do processo de redução de patógenos;

critério 10 - relacionado à aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado no solo: nesta situação, o lodo de esgoto ou produto derivado deve ser incorporado no solo antes que transcorram seis horas após a aplicação na área. Se o lodo de esgoto ou produto derivado for classe A, deve ser aplicado e incorporado decorridas, no máximo, oito horas após sua descarga do processo de redução de patógenos.

.....” (NR)
Art. 2º Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

MARINA SILVA

ESSE TEXTO NÃO SUBSTITUI O PUBLICADO NO DOU EM 07/11/2006