

Regulamentação brasileira quanto à frequência de monitoramento de lodo de esgoto para uso agrícola: estudo de caso do estado do Paraná

Brazilian regulations on the frequency of monitoring of sewage sludge: case study of the state of Paraná

- **Data de entrada:**
07/08/2015
- **Data de aprovação:**
23/06/2016

Simone Bittencourt⁽¹⁾ | Beatriz Monte Serrat | Miguel Mansur Aisse

DOI:10.4322/dae.2016.025

Resumo

O uso agrícola é uma destinação sustentável para o lodo de esgoto, sendo benéfico ao cultivo de plantas e às características do solo. É uma opção 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 presente estudo analisou a aplicabilidade da Resolução Conama 375/06 quanto à frequência de monitoramento do lodo de esgoto, tendo como base dados da gestão do processo de uso agrícola no estado do Paraná, onde a agricultura é a destinação prioritária para o material. Concluiu-se que é necessária a revisão das faixas e frequências de monitoramento estabelecidas na Resolução. Devem ser adotadas faixas que considerem a quantidade de lodo por caracterização de lote, que não comprometam a segurança do uso do material e que tornem o custo de análise laboratorial de caracterização de lote menos oneroso para Unidades de Gerenciamento de Lodo (UGLs) de pequeno porte. Devido à importância da quantificação do lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) para o processo de gestão deste resíduo, sugeriu-se que esta informação seja incluída no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o qual serve como ferramenta para o conhecimento e avaliação do setor saneamento.

Palavras-chave: biossólido; Resolução Conama 375/06; resíduo de saneamento.

Abstract

The agricultural use is a sustainable disposal for sewage sludge, being beneficial to the cultivation of plants and soil characteristics. It is a worldwide consolidated alternative, which in Brazil is limited to a few states, due, among other factors, to the difficulty of compliance with criteria and procedures established by CONAMA 375/06 Resolution. This study examined the applicability of CONAMA 375/06 Resolution, as the frequency of monitoring of sewage sludge, based on data from the management for agricultural use process in the state of Paraná, where agriculture is the priority disposal for the material. It was concluded that it is necessary to review the ranges and frequency of monitoring set out in the Resolution. Ranges should be taken that consider the

Simone Bittencourt – Engenheira Agrônoma pela UFPR. Mestre em Agronomia pela UFPR. Doutora em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela UFPR. Profissional da Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar).

Beatriz Monte Serrat – Engenheira Agrônoma pela UFPR. Doutora pela ESALQ/USP. Professora Aposentada do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR.

Miguel Mansur Aisse – Engenheiro Civil pela UFPR. Mestre em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Doutor em Engenharia Civil pela USP. Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da UFPR.

Endereço para correspondência – Rua Eng. Antônio Batista Ribas, 151, Tarumã, Curitiba – Paraná. CEP: 82.800-130. Brasil. Tel.: +55(41) 3330-7194. E-mail: sbittencourt@sanepar.com.br.

amount of sludge by batch characterizing, that do not compromise the safety of use of the material and that make the cost of laboratory tests batch characterization less expensive for Sludge Management Units (UGLs) of small size. Given the importance of quantification of sludge generated in sewage treatment plants (STPs) for waste management process, it was suggested that this information be included in the National Sanitation Information System (SNIS), which serves as a tool for knowledge and assessment of the sanitation sector.

Keywords: sewage sludge; Conama 375/06 Resolution; sanitation residue.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação, em nível mundial, com a gestão sustentável de resíduos do saneamento é crescente, sendo o tema abordado na Agenda 21 da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (ONU, 1992). Este fato também foi evidenciado na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) do Brasil, ao estabelecer que na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser considerada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e a disposição em aterro (BRASIL, 2010).

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 opção 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.

No Paraná, o uso agrícola tem sido a destinação prioritária para o lodo gerado no local de maior produção, a Região Metropolitana de Curitiba (RMC), entretanto, a disposição em aterros sanitários vem aumentando nos últimos anos, devido, entre outros fatores, a aspectos econômicos (BITTENCOURT, 2014). Fato também verificado para a destinação do lodo gerado em outras regiões do estado. Ainda assim, a disposição na agricultura é particularmente importante para municípios localizados a uma distância que torna a disposição em aterros licenciados economicamente inviável.

A Resolução Conama 375/06 apresenta procedimentos relacionados à caracterização do lodo de esgoto, por meio de análises laboratoriais, e à frequência destas análises de caracterização, em função da quantidade de lodo de esgoto destinado para uso agrícola. Entre os requisitos 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).

Segundo a Resolução Conama 375/06, os critérios nela contidos podem ser reformulados a qualquer momento, com base em pesquisas científicas e desenvolvimento tecnológico; o Ministério do Meio Ambiente coordenaria um grupo de monitoramento permanente, que iria se reunir ao menos anualmente, e sua revisão seria obrigatória no sétimo ano de sua publicação (BRASIL, 2006). No entanto, até o segundo semestre do ano de 2015, nada foi alterado no documento.

Dessa forma, para subsidiar a adequação da Resolução Conama 375/06, o presente estudo teve por objetivo analisar a aplicabilidade dos critérios e procedimentos estabelecidos na Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006), quanto à frequência de monitoramento do lodo de esgoto. Para tanto, o estudo fundamentou-se na gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná, entre 2007 e 2013, e na comparação com a caracterização de lodo de esgoto para uso agrícola exigida em legislações internacionais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se uma análise crítica da “Seção II - da frequência de monitoramento do lodo de esgoto ou produto derivado” da Resolução Conama 375/06, priorizando os aspectos considerados conflitantes e/ou que possam ser melhorados. Utilizou-se da comparação com legislações internacionais e da análise de dados da gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto adotado no Paraná, no período de 2007 a 2013, avaliando a aplicabilidade do conteúdo da Resolução para a realidade do processo no estado. Em relação à qualidade de lodo, priorizou-se no texto a abordagem sobre lodo Classe A, uma vez que no Paraná, para uso agrícola, somente é permitida a existência desta classe de lodo (PARANÁ, 2009).

A partir do levantamento de dados fornecidos pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), foi realizada a sistematização e análise de informações de lotes de lodo de esgoto destina-

dos a uso agrícola no Paraná, no período de 2007 a 2013. De um total de 49 relatórios de rastreabilidade, 576 projetos agrônômicos 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 sólidos totais (ST), de lodo de esgoto destinado ao uso agrícola;
- taxa de aplicação de lodo de esgoto nas áreas agrícolas;
- custo de compra de fertilizantes e corretivos de acidez do solo evitado pelo agricultor, devido ao uso do lodo de esgoto.

Esses aspectos, entre outros relacionados à gestão do processo de uso agrícola no Paraná, no período de 2007 a 2013, foram abordados por Bittencourt (2014).

Foram objeto do presente estudo lotes de lodo gerados em diferentes sistemas de tratamento de esgoto, 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.

A Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL) é definida na Resolução Conama 375/06 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 (ETE) e pelo monitoramento dos efeitos ambientais,

agronômicos e sanitários de sua aplicação em área agrícola (BRASIL, 2006).

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.

Para subsidiar a análise da Seção II, foram levantados os custos de serviços de análises laboratoriais para caracterização do lodo de esgoto, segundo as exigências da Resolução Conama 375/06. Os orçamentos de serviços de análises laboratoriais para caracterização de um lote de lodo de esgoto foram solicitados a quatro 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 de UGLs de diferentes portes do estado do Paraná, utilizando as faixas de frequência de monitoramento e de parâmetros exigidos, para lodo equivalente à Classe A, pelas normas brasileira (BRASIL, 2006), americana (US EPA, 2007), me-

xicana (MÉXICO, 2003) e europeia, nesta última, considerando a opção de moderadas mudanças do relatório elaborado por Milieu; WRc; RPA (2010), as quais são apresentadas na Tabela 1.

A partir de informações de volume e teor de sólidos totais (ST) do lodo bruto líquido descartado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) antes do desaguamento, por meio de consulta ao sistema corporativo da Sanepar, denominado Sistema de Controle e Vigilância da Qualidade de Água e Esgoto (SQA), realizou-se a estimativa de geração de lodo bruto em ST, utilizando a Equação 1.

$$G = [V \times \mu \times (ST/100)] / 1000 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

ST = sólidos totais

G é a produção anual de lodo em massa seca (t_{ST} ano⁻¹);

V é o volume total de lodo na entrada do desaguamento (m^3 ano⁻¹);

μ é a massa específica do lodo na entrada do desaguamento ($kg\ m^{-3}$) e

Tabela 1 – Frequência de monitoramento de lodo de esgoto a ser aplicado na agricultura, segundo regulamentação dos Estados Unidos, União Europeia, México e Brasil

Regulamento	Frequência de monitoramento (vezes por ano)						
	Uma	Dois	Quatro	Seis	Oito	Doze	
	Sólido Totais (t ano ⁻¹)						
CFR 40 Parte 503 ⁽¹⁾	< 290	-	290-1500	1500-15000	-	> 15000	
Documento trabalho UE ⁽²⁾	Parâmetros agrônômicos	< 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)

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} . Utilizou-se, para as UGLs da RMC, os dados do ano de 2013 de volume (m^3) e de ST (%) do lodo bruto líquido descartado (conduzido ao desaguamento) de cada ETE que compõe uma UGL. 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. 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 as normas objeto do presente estudo.

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 e substâncias inorgânicas. Para parâmetros sanitários foram adotados os critérios para atendimento de Lodo Classe A, utilizando a alternativa de tratamento denominada monitoramento do processo (a 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 agrônomico.

Uma vez que as normas americana e mexicana não exigem a realização de parâmetros agrônomicos 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 o custo de caracterização destes parâmetros segundo essas legislações.

Para UE, no cálculo de monitoramento para os parâmetros de sanidade utilizou-se o custo de duas análises para determinação de coliformes termotolerantes (cujo procedimento analítico é semelhante ao da determinação de *Escherichia coli*), uma vez que o relatório (MILIEU; WRc; RPA, 2010) 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.

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.

Para os parâmetros substâncias orgânicas, utilizou-se o custo de análise dos 34 compostos orgânicos exigidos pela Resolução Conama 375/06.

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 2 e 3.

$$CE = [(QE \times 100) / AC] \times PR \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

CE é o custo evitado pelo agricultor com o uso do lodo de esgoto ($\text{R\$ ha}^{-1}$);

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

PR é o preço do adubo comercial ($\text{R\$ kg}^{-1}$);

QE é a quantidade de nutriente equivalente no lodo de esgoto aplicado na área (kg ha^{-1}).

$$QE = QD \times TX \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

ST = Sólidos Totais

QD é a quantidade de nutriente disponível no lodo de esgoto (kg t_{ST}^{-1});

TX é a taxa de aplicação de lodo de esgoto, em ST, na área agrícola ($\text{t}_{ST} \text{ha}^{-1}$).

Os adubos comerciais utilizados para os cálculos foram: ureia, super fosfato 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 adubos comerciais utilizados para os cálculos (PARANÁ, 2015).

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 da análise dos resultados, realizou-se a formulação de propostas de alterações do conteúdo da Seção II 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.

3 RESULTADOS

A “Seção II – da frequência de monitoramento do lodo de esgoto ou produto derivado” da Resolução Conama 375/06 possui o artigo 10 com cinco parágrafos. O texto desta seção 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 2 apresenta a classificação das UGLs selecionadas por faixa de frequência de caracterização estabelecidas pela Resolução Conama 375/06 (BRASIL, 2006). Não foi utilizada a faixa de frequência acima de $15.000 \text{ t ano}^{-1}$, visto que a UGL Belém, a maior do estado, possuía uma geração de lodo abaixo desta quantidade, de $3.929 \text{ t}_{ST} \text{ ano}^{-1}$.

Tabela 2 - Classificação de UGLs do estado do Paraná de acordo com a geração de lodo em sólidos totais (ST) e a frequência de monitoramento estabelecida pela Resolução Conama 375/06

UGL	Região	Geração de lodo em ST ($t_{ST} \text{ ano}^{-1}$)	Critérios da Resolução Conama 375/06	
			Faixa de quantidade de lodo destinado para aplicação na agricultura em ST ($t_{ST} \text{ ano}^{-1}$)	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

A Resolução Conama 375/06 subdivide a frequência de monitoramento das características do lodo em cinco faixas (Tabela 1), 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_{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 quatro vezes ao ano.

A Tabela 3 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 5.982,24.

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: Corg, P, Nkjeldahl, N amoniacal, nitrato, nitrito, S, Ca, Mg, ovos viáveis, vírus entéricos, substâncias inorgânicas e orgânicas. Este fato corrobora o relato de gestores da companhia de saneamento sobre a dificuldade na contratação do serviço de análises laboratoriais, frente à limitada disponibilidade de laboratórios com infraestrutura e capacidade técnica para atender todos os critérios estabelecidos pela Resolução Conama 375/06.

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

Tabela 3 - 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\$)				
	Agrônomicos	Substâncias Inorgânicas	Sanidade	Orgânicos	TOTAL
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

NOTA: Levantamento de preços 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.

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 total para as ETEs operadas pela empresa de 33.000 t_{ST} de lodo. Esta quantia foi superior às cerca de 20.000 t_{ST} geradas naquele ano, com base no controle corporativo da empresa de dados de volume de lodo bruto líquido descartado (em m^3 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 (devido à adição de cal) ou compostagem (devido à adição de res-

tos vegetais), dificultando ainda mais a previsão da quantidade a ser destinada. Dessa forma, para evitar erros de super ou subdimensionamentos de quantidade, considera-se que a frequência de monitoramento deveria ter como base o lodo gerado.

A Tabela 4 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 do relatório elaborado por Milieu; WRc; RPA (2010) e brasileira.

Verifica-se na Tabela 4, que o custo de caracterização por tonelada de lodo em ST 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.

Por exemplo, para UGL Pitanga, de pequeno porte (Tabela 4), de acordo com a Resolução Conama

Tabela 4 – Simulação de custo anual de análises para caracterização de lodo de esgoto de UGLs de diferentes portes, de acordo com as normas americana, mexicana, europeia e brasileira. ST = sólidos totais

UGL	Região	Geração de lodo em ST ($t_{ST} \text{ ano}^{-1}$) *	Custo (R\$ t_{ST}^{-1})			
			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

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

375/06, é necessária uma caracterização ao ano, ou seja, um custo de R\$ 2.035,61 (Tabela 3) 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 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 (2009) 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.

A Tabela 5 mostra 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.

Ao se comparar as cinco faixas de frequência de monitoramento estabelecidas pela Resolução Conama 375/06 (Tabela 6), nota-se que a quantidade de lodo por análise do limite superior da primeira faixa de monitoramento e o limite inferior das faixas de monitoramento 2 e 3, são, respectivamente, 76 e 88% menor do que a quantidade por análise do limite inferior da faixa de monitoramento 4.

Tabela 5 – 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. ST = sólidos totais

UGL	Região	Geração de lodo em ST ⁽¹⁾ ($t_{ST} \text{ ano}^{-1}$)	A. Custo de caracterização do lodo (R\$ t_{ST}^{-1})	B. Custo evitado pelo agricultor ⁽²⁾ (R\$ t_{ST}^{-1})	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

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 mistos do interior, nos períodos de 2007 a 2013 e 2011 a 2013.

Tabela 6 – Quantidade de lodo de esgoto por análise de caracterização de acordo com as faixas de frequência de monitoramento estabelecidas pela Resolução Conama 375/06. ST = sólidos totais

Faixas de monitoramento	Quantidade de lodo em ST ($t_{ST} \text{ ano}^{-1}$)	Análises ao ano (n°)	Quantidade de lodo por caracterização (t_{ST})
1	< 60	1	Até 60
2	60 a 240	2	30 a 120
3	240 a 1.500	4	60 a 375
4	1.500 a 15.000	6	250 a 2.500
5	> 15.000	12	> 1.250

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, sem prejuízo à segurança sanitária e ambiental. Dessa forma, propõe-se que, na discussão de revisão da Resolução Conama 375/06, seja permitida a adoção de faixas de caracterização de lotes de lodo de esgoto para uso agrícola que considerem uma quantidade limite de 250 toneladas de lodo em matéria seca por lote para as Unidades de Gerenciamento de Lodo de pequeno porte, ou seja, que geram até 250 toneladas de lodo por ano. Para as UGLs com maior geração de lodo, propõe-se a adoção das faixas de monitoramento apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Proposta de faixas de frequência de monitoramento para Unidades de Gerenciamento de Lodo (UGL) que geram acima de 250 toneladas de matéria seca de lodo ao ano

Quantidade de lodo gerado na UGL em sólidos totais ($t_{ST} \text{ ano}^{-1}$)	Frequência de monitoramento
500 a 1.000	Semestral
1.000 a 1.500	Trimestral
1.500 a 15.000	Bimestral
> 15.000	Mensal

Neste contexto de estabelecer a frequência de monitoramento com base em uma determinada quantidade de lodo por caracterização, a Resolução Conama 375/06 também permitiria a realização de lotes em período de tempos superiores a um ano.

Por exemplo, adotando-se a sugestão de uma quantidade mínima de 250 t por lote de lodo de esgoto, o custo por análise para UGL Pitanga (Tabela 5) reduziria para R\$ 8,14 t_{ST}^{-1} , representando 13,6% do custo estimado para frequência atualmente estabelecida.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se grande variabilidade no custo de caracterização de lodo de esgoto e laboratórios com escassez de infraestrutura e capacidade técnica para atender todos os critérios estabelecidos pela Resolução Conama 375/06.

O custo de caracterização por tonelada de ST de lodo é mais elevado no caso do atendimento da norma brasileira para todos os portes de UGLs quando comparado ao atendimento das normas americana, mexicana e europeia, nesta última, considerando a opção de moderadas mudanças do relatório elaborado por Milieu; WRC; RPA (2010).

A frequência de monitoramento estabelecida pela Resolução Conama 375/06 deveria ter como base o “lodo gerado”, de modo a evitar erros de dimensionamentos de quantidade. Também deveria levar em conta a quantidade de lodo por caracterização, de forma que o custo de análise para UGLs de pequeno porte fosse menos oneroso. Sugere-se que 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_{ST} , de modo a dar mais viabilidade econômica as UGLs de pequeno porte.

Devido à importância da quantificação do lodo gerado em ETEs para o processo de gestão deste resíduo, sugere-se que esta informação seja incluída no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o qual serve como ferramenta para o conhecimento e avaliação do setor saneamento (BRASIL, 2014).

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.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- BITTENCOURT, S. Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná: Aplicabilidade da Resolução Conama 375/06. 220 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 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. 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). Disponível em: <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=4>. Acesso em: 25/08/2014.
- INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). Caderno estatístico - município de Pitanga. Curitiba: IPARDES, 2013. 32 p. Disponível em: <<http://www.ipar-des.gov.br/cadernos/Montapdf.php?Municipio=85200>>. Acesso em: 07/07/2014.
- 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.
- 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=15/08/200>. 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.
- 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.
- 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.
- 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. 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.
- 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.
- 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.