

Artigo Técnico

Gestão do uso agrícola do lodo de esgoto: estudo de caso do estado do Paraná, Brasil

Management of agricultural use of sewage sludge: case study of Paraná state, Brazil

Simone Bittencourt¹, Miguel Mansur Aisse², Beatriz Monte Serrat³

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. 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 gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná, Brasil, no período de 2011 a 2013. Foram analisados 49 relatórios de rastreabilidade, 337 projetos agrônômicos e laudos laboratoriais de 129 lotes de lodo de esgoto. Verificou-se que 107.416 t de lodo de esgoto higienizado por estabilização alcalina prolongada foram aplicadas em 5.529 ha de áreas agrícolas no Paraná, sendo a Região Metropolitana de Curitiba (RMC) responsável por 54% da destinação. Apesar de o interior do estado possuir um maior potencial de áreas agrícolas para aplicação do lodo de esgoto, quando comparado à RMC, a expansão da atividade no interior do Paraná ainda é tímida, com somente 22% do total de 81 unidades de gerenciamento licenciadas no estado destinando o lodo para uso agrícola no ano de 2013.

Palavras-chave: biossólidos; reciclagem; Resolução CONAMA nº 375/06; gerenciamento de lodo

ABSTRACT

The agricultural use is an environmentally sustainable destination for sewage sludge because it promotes the recycling of nutrients and is beneficial to the cultivation of plants and physicochemical and biological soil characteristics. It is a worldwide consolidated alternative, which in Brazil is limited to a few states. Paraná is one of the states where the sewage sludge has agriculture as a priority disposal. This study aimed to evaluate the management of the agricultural use of sewage sludge process in the state of Paraná, Brazil, in the 2011-2013 period. There were analyzed 49 traceability reports, 337 agronomic projects and laboratory reports of 129 batches of sewage sludge. It was found that 107,416 t of sewage sludge hygienised by prolonged alkaline stabilization were applied on 5,529 ha of agricultural land in Paraná, with the Curitiba Metropolitan Region (CMR) responsible for 54% of the destination. Although the state has a greater potential of agricultural areas for the application of sewage sludge, compared to CMR, the expansion of activity in the interior of Paraná is still modest, with only 22% of the total of 81 management units licensed in the state destining the sludge for agricultural use in 2013.

Keywords: biosolids; recycling; CONAMA Resolution no. 375/06; sludge management

INTRODUÇÃO

Em razão da expansão do saneamento básico e da melhoria dos processos de tratamento de esgoto no Brasil, houve consequente aumento na geração de lodo de esgoto, de modo que as empresas de saneamento enfrentam o desafio de destinar adequadamente esse 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 (GODOY, 2013; SAMPAIO, 2013). As demais alternativas de tratamento e disposição final adotadas no

cenário mundial — como incineração (XU *et al.*, 2015), biomassa para geração de energia (KOGA *et al.*, 2007), mistura para fabricação de cimento (YOKOHAMA, 2011) e de materiais de construção (OKUNO *et al.*, 1997; JORDÁN *et al.*, 2005; MATSUMIYA, 2012) — são empregadas de forma incipiente no Brasil, principalmente em pesquisas.

O lodo de esgoto possui considerável quantidade de matéria orgânica e de nutrientes que são essenciais para o desenvolvimento vegetal, podendo ser utilizado na recuperação de solos erodidos e de áreas degradadas (NAVAS *et al.*, 1999; BEZERRA *et al.*, 2006; TAMANINI

¹Engenheira Agrônoma. Mestre em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Doutora em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela UFPR. Profissional da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

²Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo (USP). Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da UFPR - Curitiba (PR), Brasil.

³Doutora em Solos e Nutrição de Plantas pela USP. Professora Sênior do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFPR - Curitiba (PR), Brasil.

Endereço para correspondência: Simone Bittencourt - Rua Engenheiro Antônio Batista Ribas, 151, casa 1 - Tarumã - 82800-130 - Curitiba (PR), Brasil - E-mail: sbittencourt@sanepar.com.br

Recebido em: 04/11/15 - **Aceito em:** 26/06/17 - **Reg. ABES:** 156260

et al., 2008) e como fonte de nutriente para cultivos agrícolas e florestais (LOURENÇO *et al.*, 1996; DESCHAMPS, FAVARETTO, 1997; JUNIO *et al.*, 2013). No entanto, o resíduo também pode conter substâncias inorgânicas e orgânicas poluentes, com potencial de causar impactos negativos ao ambiente e a populações humanas e animais eventualmente expostas, assim como agentes patogênicos que devem ser reduzidos a níveis que não apresentem riscos à saúde humana.

No Brasil, a disposição de lodo de esgoto doméstico na agricultura segue a Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Resolução CONAMA nº 375/06) (BRASIL, 2006). Entre os procedimentos dessa resolução estão aqueles relacionados ao licenciamento, à frequência de monitoramento do lodo, à elaboração de projeto agrônomico e às condições de manuseio, transporte e aplicação do material. O documento também estabelece critérios para culturas e áreas agrícolas aptas a receber o material, para restrições locais, para definição de dose de aplicação e para o monitoramento das áreas de aplicação. Entre os requisitos de qualidade do lodo, são definidos limites máximos de concentração para agentes patogênicos, indicadores bacteriológicos e contaminantes inorgânicos. Ao contrário da maior parte das legislações internacionais sobre o tema, a Resolução CONAMA nº 375/06 exige o monitoramento de substâncias orgânicas no lodo, não sendo determinados limites máximos de concentração (BRASIL, 2006).

No estado do Paraná, os procedimentos, padrões e requisitos para a utilização do lodo em áreas agrícolas são estabelecidos pela Resolução Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos nº 021/09 (PARANÁ, 2009). Essa resolução define unidade de gerenciamento de lodo (UGL) como uma unidade vinculada ou não a uma estação de tratamento de esgoto (ETE), que realiza o gerenciamento de lodo gerado por uma ou mais ETEs, para fins de reciclagem agrícola.

Têm influência na definição da alternativa de disposição final mais adequada: as características do lodo gerado em uma ETE, seja exclusivamente doméstico ou doméstico e industrial; as questões relacionadas à infraestrutura e a aspectos geográficos, como a ausência de aterros licenciados ou de áreas agrícolas próximas; e os critérios legais. 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.

No Brasil, a aplicação de lodo de esgoto em áreas agrícolas está restrita a poucos estados, como São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul e Distrito Federal (SAMPAIO, 2013), e recentemente o Espírito Santo. Dessa forma, frente à escassez de exemplos práticos, o presente estudo, com base na apresentação da gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná, no período de 2011 a 2013, teve por objetivo sistematizar um modelo de gerenciamento, destacando os limites e as potencialidades do processo.

O presente estudo de caso do Paraná (um dos poucos estados brasileiros com experiência na realização do processo), buscou contribuir para a implementação dessa alternativa de destinação final em outros estados brasileiros que possuam condições similares.

METODOLOGIA

Área de estudo

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 m³.ano⁻¹ de esgoto tratado. Desse total, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) foi responsável pelo tratamento de cerca de 295 milhões m³.ano⁻¹ de esgoto, em 166 municípios (BRASIL, 2012). Em 2012, o esgoto coletado foi tratado em 227 ETEs (SANEPAR, 2012).

Área mais populosa do estado, a Região Metropolitana de Curitiba (RMC) possuía, em 2012, sistemas de esgotamento sanitário, operados pela SANEPAR, em 20 dos seus 29 municípios. Nesse ano, a SANEPAR tratou 122.485 milhões m³.ano⁻¹ de esgoto doméstico em 24 ETEs (BRASIL, 2012).

Nas ETEs operadas pela SANEPAR o tratamento biológico foi realizado 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.

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 ou filtro biológico aerado submerso. Em nenhuma das ETEs verificou-se a existência de decantador primário em operação.

Em 2013, o estado do Paraná possuía 81 UGLs, constituídas por uma ou mais ETEs, licenciadas pelo órgão ambiental estadual, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP), das quais, 29 estavam em operação no período de 2011 a 2013. Dessa forma, essas UGLs e os lotes de lodo de esgoto destinados por elas foram objeto do presente estudo de caso.

Coleta de dados

Os documentos, em meio físico e digital, utilizados para a coleta de dados para realização do presente estudo foram: projetos agrônomicos e relatórios de rastreabilidade.

De 49 relatórios de rastreabilidade, foram obtidas informações da quantidade total de lodo de esgoto destinada para uso agrícola a cada ano, do período de 2011 a 2013. O relatório de rastreabilidade é o documento que contém dados que possibilitam relacionar a origem e a qualidade dos lotes de lodo de esgoto utilizados como insumo com as respectivas glebas agrícolas onde foram aplicados, culturas e destino dos produtos colhidos, objetivando identificar não conformidades e problemas para a saúde humana, animal ou ambiental (PARANÁ, 2009).

O projeto agrônomico é o documento elaborado por profissional habilitado visando à aplicação de lodo de esgoto em determinada área agrícola, observando os critérios e procedimentos da legislação vigente (PARANÁ, 2009). Foram obtidos dados de 337 projetos agrônomicos, que correspondiam à destinação agrícola de 129 lotes de

lodo de esgoto. O lote de lodo de esgoto consiste na quantidade desse material — destinado para uso agrícola — gerada por uma UGL no período compreendido entre duas amostragens subsequentes, caracterizadas físico-química e microbiologicamente (PARANÁ, 2009).

Desses projetos agrônômicos, foram obtidos os seguintes dados:

- Quantidade, em toneladas de massa total e toneladas de sólidos totais (t_{ST}), de lodo de esgoto destinado ao uso agrícola;
- Quantidade, total e por propriedade agrícola, de hectares (ha) que receberam lodo de esgoto;
- Dose de aplicação de lodo de esgoto nas áreas agrícolas;
- Fatores limitantes no cálculo da dose de aplicação;
- Quantidade de nutrientes (nitrogênio – N, fósforo – P e potássio – K) e de corretivo de acidez de solo fornecida pela aplicação do lodo de esgoto;
- Custo evitado pelo agricultor, de compra de fertilizantes e corretivos de acidez do solo, 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.

Para o cálculo de geração de lodo, foram obtidos do sistema corporativo de controle de dados da SANEPAR, denominado Sistema de Controle e Vigilância da Qualidade de Água e Esgoto (SQA), os dados mensais de vazão média operacional, de volume total de lodo gerado e de teor de sólidos totais (ST) do lodo bruto líquido descartado (antes do desaguamento) das ETEs operadas pela empresa, no ano de 2013.

Para a descrição da gestão do uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná, realizou-se o levantamento de informações nos setores responsáveis pelos sistemas de esgotamento sanitário da SANEPAR e consultas em documentos normativos da empresa. Também, foram realizadas visitas a ETEs, UGLs, áreas agrícolas e consultas verbais aos gestores do processo na empresa, referentes ao período de 2011 a 2013, para complementação das informações. Esse levantamento permitiu a descrição das etapas da gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto, bem como a elaboração de um fluxograma e de quadros-resumo do processo, visando a mostrar de forma descomplicada a sequência operacional desse processo desenvolvido pela SANEPAR.

Análise dos dados

A Tabela 1 apresenta a forma como os dados obtidos dos projetos agrônômicos foram classificados para o cálculo da quantidade de lodo de esgoto aplicada em áreas agrícolas, da distância média entre as UGLs e as áreas agrícolas de destinação, do tamanho médio das áreas agrícolas e da dose média de aplicação agrícola de lodo de esgoto.

Realizou-se o cálculo de geração média anual de lodo bruto em ST, para o período de 2011 a 2013, a partir dos dados de volume do lodo bruto líquido descartado nas ETEs (antes do desaguamento), obtidos no SQA, e adotando-se uma média teórica de 4% de ST — média de ST registrada no SQA no ano de 2014 —, utilizando a Equação 1.

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

Em que:

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

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

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

ST é o teor médio de ST do lodo na entrada do processo de desaguamento (%).

Para realização do cálculo, adotou-se a massa específica de 1.000 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, uma aproximação do valor de 996,9 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ obtido por Moretto *et al.* (2011). Foram calculados os custos evitados pelos agricultores em razão do uso do lodo de esgoto, que forneceu N, P, K e corretivo de acidez de solo, utilizando as Equações 2 e 3.

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

Em que:

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

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

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

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

Tabela 1 - Categorias de agrupamento dos dados.

Tipo de lodo	Origem	Localização da UGL	Processo biológico de tratamento de esgoto	Pós-tratamento do esgoto
Aeróbio	UGL Belém	Região Metropolitana de Curitiba	Lodos ativados de aeração prolongada	Não
Misto	3 UGLs (Atuba, CIC Xisto e Padilha Sul)	Região Metropolitana de Curitiba	Sistemas contendo reatores anaeróbios, tipo UASB	Sim
Misto	25 UGLs	23 municípios do interior do estado do Paraná	Sistemas contendo reatores anaeróbios, tipo UASB	Em alguns sistemas

UGL: unidade de gerenciamento de lodo; CIC: Cidade Industrial de Curitiba; UASB: *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*.

$$QE = QD \times TX \quad (3)$$

Em que:

QD é a quantidade de nutriente disponível no lodo de esgoto ($\text{kg}_{\text{ST}}\text{t}^{-1}$); e TX é a dose de aplicação de lodo de esgoto, em ST, na área agrícola ($\text{t}_{\text{ST}}\text{ha}^{-1}$).

Os adubos comerciais utilizados para os cálculos foram ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, e o corretivo de acidez do solo foi o calcário dolomítico (Poder Relativo de Neutralização Total – 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 dos produtos: ureia, superfosfato triplo, cloreto de potássio e calcário dolomítico — obtido do Departamento de Economia Rural (DERAL), da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (SEAB) (PARANÁ, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Gestão do uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná

Verificou-se que, no processo de gestão de uso agrícola desenvolvido pela SANEPAR, a primeira ação necessária é a definição da constituição da UGL, ou seja, sua localização e as ETEs que a compõem. Segundo a Resolução CONAMA nº 375/06 (BRASIL, 2006) a aplicação de lodo de esgoto no solo agrícola somente poderá ocorrer mediante a existência de uma UGL devidamente licenciada pelo órgão ambiental competente. As UGLs são unidades responsáveis pelo recebimento, processamento, caracterização, transporte e destinação do lodo de esgoto produzido por uma ou mais ETEs e monitoramento dos efeitos ambientais, agronômicos e sanitários de sua aplicação em área agrícola (BRASIL, 2006).

Para essa definição, os gestores do processo levaram em conta: a disponibilidade de área e infraestrutura para tratamento e armazenamento do lodo; o custo de transporte de lodo bruto das ETEs, que irão constituir a UGL, até a ETE ou local onde estará situada fisicamente a unidade; o custo de análises laboratoriais, considerando que quanto maior o número de ETEs que compõem uma UGL menor será esse custo; e a distância entre a área agrícola onde pretende-se aplicar o lodo de esgoto ou produto derivado e a UGL de origem, fator que influi no custo de transporte.

Após definida a UGL, é realizada a elaboração do plano de gerenciamento da unidade, que contém a descrição de todo o processo de gestão, incluindo as características da UGL, as características do lodo gerado, as áreas e os cultivos prioritários para aplicação. O plano é um

documento necessário para o licenciamento ambiental da UGL e é elaborado por profissional habilitado (PARANÁ, 2009).

Os próximos passos do processo de gestão são o licenciamento das UGLs e a solicitação, ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), de autorizações para comercialização e uso agrícola e florestal de lodo de esgoto gerado — de acordo com o disposto no artigo 16 do Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004 (BRASIL, 2004a).

A sistematização das informações levantadas no presente estudo de caso permitiu dividir as atividades do processo de gestão de uso agrícola desenvolvido pela SANEPAR em duas esferas de ação: uma no âmbito da UGL e outra no âmbito agrícola.

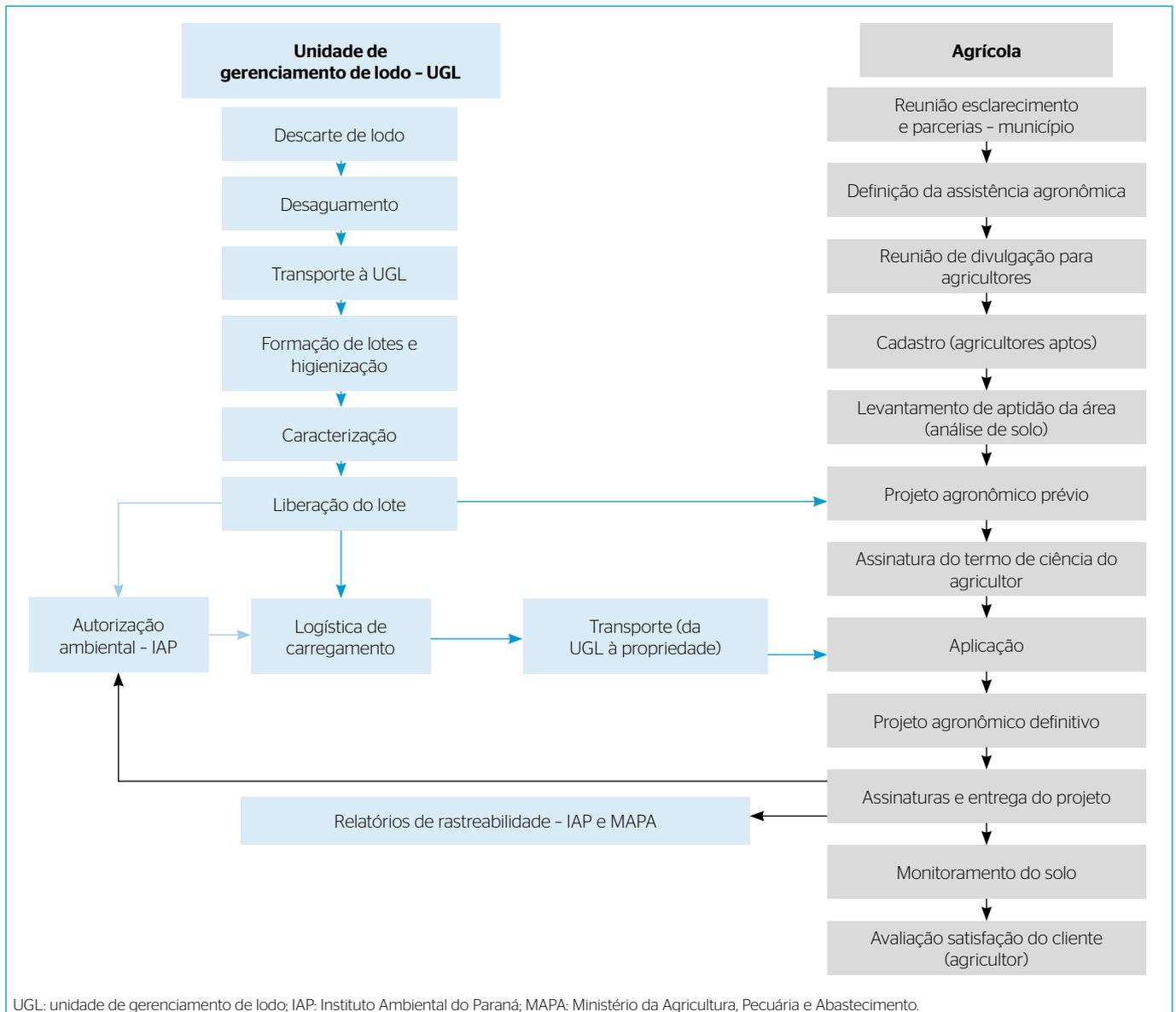
Dessa forma, para facilitar a visualização do processo como um todo e de cada uma de suas etapas, elaboraram-se: um fluxograma do processo (Figura 1) e quadros-resumo com os objetivos de cada etapa do processo, no âmbito da UGL (Quadro 1) e no âmbito agrícola (Quadro 2).

Verificou-se que o desenvolvimento do processo de uso de lodo na agricultura é complexo, sendo que, no âmbito da UGL, inclui diversas etapas que exigem planejamento e controle; consequentemente, são necessários profissionais capacitados para sua adequada realização. Da mesma forma, essas condições são primordiais para o desenvolvimento das ações no âmbito agrícola, uma vez que elas envolvem a participação, além do setor de saneamento e do setor agrícola, de outros setores, como de saúde e meio ambiente.

Para melhor compreensão, a seguir é realizada a descrição de alguns aspectos importantes do processo de uso agrícola de lodo desenvolvido pela SANEPAR.

No âmbito da UGL, a primeira etapa de tratamento do lodo é o desaguamento, que é realizado em centrífugas nas ETEs de vazão acima de $200 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ ou aquelas de menor porte que não possuem área suficiente para implantação de leitos de secagem. Nas ETEs de menor capacidade são utilizados leitos de secagem para o desaguamento de lodo. Verificou-se que o desaguamento em centrífuga foi realizado em 11 ETEs que faziam parte das UGLs objeto do presente estudo.

O processo de higienização adotado em todas as UGLs que a SANEPAR opera é 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 acontece 30 dias antes da coleta de amostras para realização das análises laboratoriais, momento no qual não se adiciona mais lodo ao lote. Nesse processo de higienização é aplicada uma dosagem de cal de 30 a 50% em relação aos ST do lodo, sendo que, segundo relatos dos gestores das UGLs, em lodos mais secos utilizam-se dosagens mais próximas a 30%.



UGL: unidade de gerenciamento de lodo; IAP: Instituto Ambiental do Paraná; MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Figura 1 - Fluxograma das etapas de gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no Paraná.

Quadro 1 - Resumo das etapas do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná, âmbito da unidade de gerenciamento de lodo.

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 ao 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 a 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 Resolução SEMA nº. 021/09.
Caracterização do lote de lodo de esgoto	Atender as determinações da Resolução SEMA nº. 021/09 quanto à amostragem.
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 (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 AA para transporte e disposição final do lote.

ETE: estação de tratamento de esgoto; UGL: unidade de gerenciamento de lodo; IAP: Instituto Ambiental do Paraná; AA: autorização ambiental.

Verificou-se que a higienização do lodo proveniente de desaguamento em leito de secagem 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.

No lodo desaguado em centrífuga, a mistura da cal foi realizada imediatamente após o desaguamento, em um misturador mecânico, sendo a mistura armazenada em pátio até a formação de um lote. No presente estudo, 34% das UGLs possuíam lodo desaguado em centrífuga. Verificou-se que o procedimento adotado nas ETEs que estavam licenciadas em UGLs localizadas em outras ETEs era de armazenar o lodo desaguado até a formação de quantidade que viabilizasse economicamente o seu transporte até a UGL licenciada, local onde o lodo foi higienizado. Eventualmente o processo de higienização foi realizado na própria ETE geradora.

Identificou-se que, no período do estudo, um lote de lodo de esgoto era formado anualmente em cada uma das UGLs do interior do Paraná. Nas UGLs da RMC os lotes foram formados mensalmente (UGL Belém) ou trimestralmente (demais UGLs).

No processo de higienização por EAP, é necessário que o lote de lodo, depois de formado, permaneça no mínimo 60 dias armazenado em pátio (30 dias para o período de cura e 30 dias para a realização de análise de ovos viáveis de helmintos). No caso da geração de lodo da UGL Belém, no período de 2011 a 2013, realizou-se uma caracterização mensal visando a otimizar o uso do pátio de armazenamento e a facilitar a logística de transporte para as áreas agrícolas, apesar de a Resolução CONAMA nº 375/06 estabelecer a formação de lote com sua respectiva caracterização bimestralmente. A amostragem para caracterização de um lote de lodo foi realizada de acordo com os procedimentos descritos na Instrução Normativa nº 10 de 2004 do MAPA.

Cada lote de lodo de esgoto foi caracterizado conforme os parâmetros estabelecidos pela Resolução SEMA nº 21/09 (PARANÁ, 2009). Foi realizada a liberação do lote para uso agrícola após a comprovação de que este atendia aos limites estabelecidos pela legislação quanto a 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, ele passa por nova higienização; caso não atenda aos limites de substâncias inorgânicas, a alternativa de disposição final é a disposição em aterros para resíduos Classe II – não inertes.

Quadro 2 – Resumo das etapas do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no estado do Paraná, âmbito agrícola.

Âmbito agrícola	
Reuniões de esclarecimento	Apresentar o processo de uso agrícola de lodo de esgoto para entidades ligadas à saúde, ao ambiente e à agricultura do município.
Definição da assistência agrônômica	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 a 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	Entrega das três vias do projeto agrônômico, devidamente assinadas pelo responsável pela UGL, pelo agrônomo responsável e pelo agricultor. 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.

UGL: unidade de gerenciamento de lodo; IAP: Instituto Ambiental do Paraná; AA: autorização ambiental; MAPA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

O material foi disponibilizado aos agricultores previamente cadastrados, os quais cultivavam plantas aptas a receber 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 e elaborados os projetos agrônômicos. No projeto, determinou-se a dose de aplicação, considerando as características agrônômicas do lodo, do solo e as necessidades nutricionais da cultura; quando necessário, definiu-se a complementação de adubação.

A determinação da dose de aplicação máxima de lodo (em ST) foi realizada utilizando-se o menor valor calculado, de acordo com os seguintes critérios:

- 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);
- necessidade de correção de acidez do solo: calculou-se a necessidade de correção de acidez do solo para elevação da saturação de bases (V%) ao nível exigido pela cultura (IAPAR, 2003; OLEYNIK *et al.*, 1995; POGGERE *et al.*, 2012);
- limite de carga total acumulada de substâncias inorgânicas no solo: realizou-se o cálculo teórico de acúmulo de substâncias inorgânicas no solo, a quantidade do elemento no lodo e a dose de aplicação. (PARANÁ, 2009).

No processo de gestão, a assistência agrônômica foi realizada por meio de contratação do serviço, por profissional próprio da SANEPAR, ou por profissional externo à empresa, em parceria, por exemplo, com o Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater), com a cooperativa de agricultores ou com o engenheiro agrônomo responsável pela área agrícola.

Os agricultores receberam orientações técnicas e assinaram os projetos agrônômicos, 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.

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

A geração média de lodo de esgoto no Paraná, no período de 2011 a 2013, foi calculada em $57.492 t_{ST}\cdot ano^{-1}$, sendo que o volume médio de lodo líquido descartado foi de $1.437.309 m^3\cdot ano^{-1}$. A ETE Belém (vazão média de $1.091 L\cdot s^{-1}$) foi a maior geradora de lodo, com geração média de $4.638 t_{ST}\cdot ano^{-1}$.

Entre 2011 e 2013, foram aplicadas 107.416 t de lodo de esgoto higienizadas por EAP ($52.335 t_{ST}$), com teor médio de 53,7% ST, em 5.529 ha de áreas agrícolas do estado do Paraná (Tabela 2). As UGLs da RMC foram responsáveis por 54% do total de lodo destinado.

Observa-se que houve redução na quantidade anual destinada ao uso agrícola (Tabela 2 e Figura 2). As UGLs da RMC foram as que mais contribuíram para essa redução, uma vez que a quantidade de lodo destinada ($6.508 t_{ST}$) em 2013 representou 46% da quantidade destinada em 2011 ($14.144 t_{ST}$).

Também no interior do Paraná houve redução da quantidade de lodo destinada para agricultura (Tabela 2). Dois fatores podem explicar esse fato. O primeiro refere-se a situações de lodo, que estava sendo acumulado em pátio sem ter nenhum tipo de destinação e que foi destinado para uso agrícola entre os anos de 2011 e 2013. Verificou-se que as UGLs da região de Maringá destinaram, em 2011, o lodo gerado e armazenado há mais de dois anos ($10.559 t$ de massa total ou $7.209 t_{ST}$), e que UGLs da região de Campo Mourão, em 2012, destinaram $2.321 t$ de lodo em massa total ($1.353 t_{ST}$) para uso agrícola, correspondendo ao lodo gerado e armazenado por cinco anos. Nos anos posteriores, conforme verificado nos relatórios de rastreabilidade, essas UGLs passaram a destinar somente o lodo produzido anualmente. O segundo fator refere-se à não implementação do uso agrícola por um número significativo de UGLs ao longo desses três anos. O número de UGLs que destinou lodo para uso agrícola nos

Tabela 2 - Quantidade de lodo de esgoto, higienizado por EAP, aplicada em áreas agrícolas no estado do Paraná, Brasil, período de 2011 a 2013.

Lodo produzido na UGL	Ano	Quantidade de lodo destinada		Área aplicada (ha)
		Lodo massa total (t)	Sólidos totais de lodo (t_{ST})	
Aeróbio ^a - RMC	2011	22.266	10.145	653
	2012	17.749	6.234	413
	2013	13.699	4.342	419
	Total	53.714	20.721	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	737
Total RMC	2011	30.469	14.144	943
	2012	26.160	10.636	699
	2013	18.029	6.508	580
	Total	74.658	31.288	2.222
Misto ^b - Interior	2011	13.859	9.623	1.721
	2012	10.085	6.606	894
	2013	8.814	4.818	694
	Total	32.758	21.047	3.309
Total		107.416	52.335	5.529

Tratamento de esgoto por: ^alodos ativados de aeração prolongada; e ^breator anaeróbio, tipo *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB), seguido ou não de pós-tratamento. As quantidades de lodo destinadas referem-se a lodo com adição de cal da higienização; UGL: unidade de gerenciamento de lodo; RMC: Região Metropolitana de Curitiba.

anos de 2011, 2012 e 2013 foi, respectivamente, 12, 19 e 18, o que representa 15, 23 e 22% do total de UGLs licenciadas para realizar o processo. No ano de 2013, laudos laboratoriais de caracterização de lotes de lodo com resultados inconsistentes, principalmente em relação a parâmetros agrônômicos, 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.

Com base nos relatos dos gestores do processo e de agricultores que utilizaram o material, foi possível concluir que existe boa aceitação por parte dos agricultores, fato também verificado por Borges (2016) em estudo de caso da SANEPAR de estratégias de promoção da sustentabilidade para a gestão de lodo de esgoto. Portanto, tal fato não foi o motivo da pequena expansão do processo, e sim a falta de infraestrutura aliada à complexidade da gestão do processo, segundo relatos dos gestores.

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 nº 021/09 (PARANÁ, 2009).

A Tabela 3 compara os lotes de lodo das UGLs da RMC e do interior quanto à distância média entre as UGLs e as áreas agrícolas de destinação, ao tamanho médio das áreas agrícolas e à dose de aplicação média.

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. A distância média entre as UGLs da RMC e as áreas de aplicação de lodo foi superior à distância média de 37 km das UGLs do interior até as áreas de aplicação (Tabela 3). Isso porque a RMC é a região que mais produz olerícolas no

Tabela 3 - Distância média até as áreas agrícolas, tamanho médio de áreas e dose de aplicação média de lodo de esgoto em áreas agrícolas do estado do Paraná, Brasil, período de 2011 a 2013.

Origem do lote de lodo	Distância média da UGL à área agrícola (km)	Tamanho médio das áreas agrícolas (ha)	Dose de aplicação média em ST (t _{ST} /ha ³)
Aeróbio - RMC	82	14,0	15,0
Misto - RMC	88	9,0	14,0
Misto - Interior	37	23,0	8,0
Média Paraná	65	16,7	11,6

A dose de aplicação média refere-se a lodo com adição de cal da higienização; UGL: unidade de gerenciamento de lodo; RMC: Região Metropolitana de Curitiba; ST: sólidos totais.

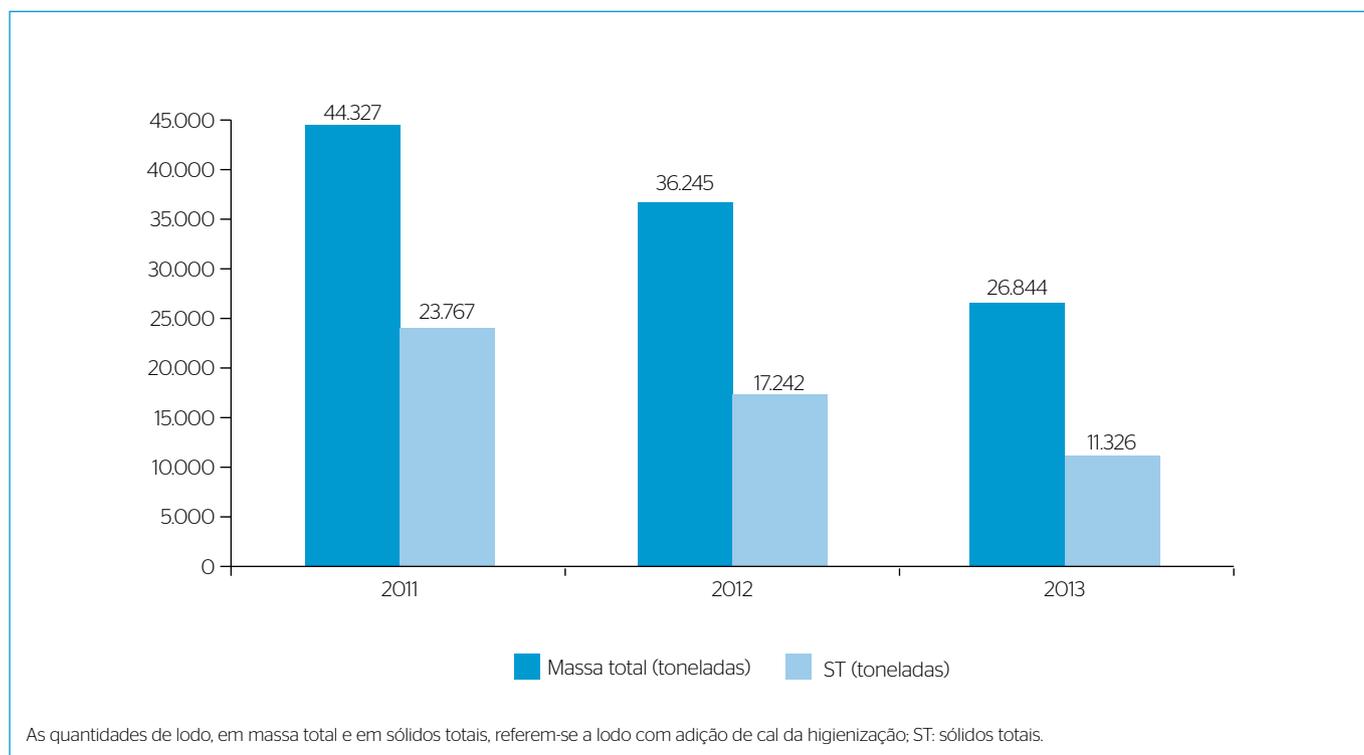


Figura 2 - Quantidade de lodo de esgoto, higienizado por EAP, aplicado em áreas agrícolas no Paraná, em 2011, 2012 e 2013.

Paraná, com cerca de 34% da produção estadual (MOREIRA, 2011), e esses cultivos não podem receber lodo.

O outro fator que resultou no envio do lodo gerado nas UGLs da RMC a maiores distâncias é baixa aptidão do solo para uso agrícola de lodo de esgoto, principalmente em relação à declividade, em áreas próximas a essas UGLs. A Resolução CONAMA nº 375/06 estabelece que, em terrenos com declividade de até 10%, é permitida a aplicação do lodo superficialmente, sem incorporação; de 10 a 15% de declividade, a aplicação deve incluir incorporação; de 15 a 18%, deve ser subsuperficial e em sulcos para cultivos agrícolas; e de 18 a 25%, a aplicação deve ser 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.

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 Iguazu, 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 verificou-se o predomínio de aplicação de lodo em áreas mais distantes da RMC, principalmente a oeste e sudoeste dessa região.

Verificou-se um tamanho médio de 16,7 ha das áreas agrícolas nas quais o lodo foi aplicado, sendo que as áreas agrícolas que receberam lodo misto da RMC apresentaram tamanho inferior (Tabela 3). Esse resultado é condizente com a distribuição de área média por estabelecimento agropecuário do Paraná. 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. Em relação ao Paraná esses números são, respectivamente, 43 ha e 41,8% (IPARDES, 2004).

A dose de aplicação média do lodo foi de $11,6 t_{ST}.ha^{-1}$ (Tabela 2). O N foi o fator que limitou a dose 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 V% do solo foi o fator que limitou a determinação da dose de aplicação de lodo, em $t.ha^{-1}$, em 90% dos projetos agrônômicos.

No presente estudo, a dose de aplicação média foi próxima àquela utilizada na Austrália para biossólido estabilizado com cal, de $13 t_{ST}.ha^{-1}$

(BEECHER, 2008) — semelhante à verificada por Bittencourt *et al.* (2014), de $14,7 t_{ST}.ha^{-1}$, em estudo de lotes de lodo da RMC destinados ao uso agrícola no período de 2007 a 2010.

O interior do estado apresentou a menor média de dose de aplicação em razão dos maiores V% dos solos onde o lodo foi aplicado, que levaram a uma maior limitação na dose 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 ha^{-1} , 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 P_2O_5 e 35% do K_2O demandados pelos cultivos agrícolas deste estudo de caso. Resultado semelhante ao obtido por Bittencourt *et al.* (2014), em estudo de lotes de lodo da RMC destinados ao uso agrícola no período de 2007 a 2010, que forneceram 88% do calcário (PRNT 75%), 74% do nitrogênio, 73% do P_2O_5 e 35% do K_2O demandados pelos cultivos agrícolas.

CONCLUSÕES

O estudo de caso 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, possibilitando a visualização de forma descomplicada da sequência operacional do processo de uso agrícola de lodo de esgoto desenvolvido pela SANEPAR. Foi possível verificar que o desenvolvimento da atividade é complexo e envolve infraestrutura para higienização e armazenamento, processos diferenciados de formação de lotes entre UGLs, transporte concentrado em determinadas épocas do ano, planejamento para formação de lotes em períodos próximos à demanda agrícola, além da necessidade de profissionais capacitados para a gestão do processo.

Na avaliação da gestão no Paraná no período de 2011 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. Observou-se uma redução na quantidade anual de lodo destinado ao uso agrícola devido, principalmente, à destinação em aterro industrial do lodo produzido na RMC.

Apesar de o 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 22% do total de 81 UGLs licenciadas no estado destinando o lodo para uso agrícola no ano de 2013.

REFERÊNCIAS

- BEECHER, N. (2008) Moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource. In: LEBLANC, R.J.; MATTHEWS, P.; RICHARD, R.P. (Eds.). *Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge and Biosolids Management*. Malta: Progress Press. p. 15-83.
- BEZERRA, F.B.; OLIVEIRA, M.A.C.L.; PEREZ, D.V.; ANDRADE, A.G.; MENEGUELLI, N.A. (2006) Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 3, p. 469-476.
- BITTENCOURT, S.; SERRAT, B.M.; AISSÉ, M.M.; GOMES, D. (2014) Sewage sludge usage in agriculture: a case study of its destination in the Curitiba Metropolitan Region, Paraná, Brazil. *Water Air Soil Pollution*, v. 225, n. 9, p. 2074-2082.
- BORGES, S.F. (2016) *Estratégias de promoção da sustentabilidade para a gestão do resíduo sólido "lodo de esgotos": um estudo de caso da Sanepar (Companhia de Saneamento do Paraná)*. 67 p. Planejamento de Pesquisa (Bacharelado em Administração) - Faculdade CNEC Campo Largo, Campo Largo.
- BRASIL. (2004a) Presidência da República. Casa Civil. Decreto Federal nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. 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. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm>. Acesso em: 25 set. 2015.
- BRASIL. (2004b) 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. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=7416>>. Acesso em: 29 mar. 2014.
- BRASIL. (2006) Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama 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. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, 30 ago. 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2013.
- BRASIL. (2012) 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: 5 set. 2014.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ (SANEPAR). (2012) *Relatório de administração e demonstrações contábeis*. Curitiba: Sanepar. 69 p. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/sites/site>>. Acesso em: 5 set. 2014.
- sanepar.com.br/files/relatorio_demonstracoes_contabeis_2012_b.pdf>. Acesso em: 5 set. 2014.
- DESCHAMPS, C.; FAVARETTO, N. (1997) Efeito do lodo de esgoto complementado com fertilizante mineral na produtividade e desenvolvimento da cultura do feijoeiro e do girassol. *SANARE*, v. 8, n. 8, p. 33-38.
- GODOY, L.C. de. (2013) A logística na destinação do lodo de esgoto. *Revista Científica On-line Tecnologia, Gestão, Humanismo*, v. 2, n. 1. Disponível em: <<http://www.fatecguaratingueta.edu.br/revista/index.php/RCO-TGH/article/view/43/27>>. Acesso em: 15 out. 2015.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). (2003) *Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná*. Londrina: IAPAR, 2003. 30 p. (Circular, nº 128).
- INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). (2004) *Leituras regionais: Mesorregião Geográfica Metropolitana de Curitiba*. Curitiba: IPARDES. 219 p.
- JORDÁN, M.M.; ALMENDRO-CANDEL, M.B.; ROMERO, M.; RINCÓN, J.M. (2005) Application of sewage sludge in the manufacturing of ceramic tile bodies. *Applied Clay Science*, v. 30, n. 3-4, p. 219-224.
- JUNIO, G.R.Z.; SAMPAIO, R.A.; NASCIMENTO, A.L.; SANTOS, G.B.; SANTOS, L.D.T.; FERNANDES, L.A. (2013) 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.
- KOGA, Y.; OONUKI, H.; AMARI, T.; ENDO, Y.; KAKURATA, K.; OSE, K. (2007) Biomass Solid Fuel. Production from Sewage Sludge with Pyrolysis and Co-firing in Coal Power Plant. *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review*, v. 44, n. 2. Disponível em: <<https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e442/e442043.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2015.
- LOURENÇO, R.S.; ANJOS, A.R.M. dos; LIBARDI, P.L.; MEDRADO, M.S.M. (1996) Efeito do lodo de esgoto na produtividade de milho e feijão, no sistema de produção da bracinga. *SANARE*, v. 5, n. 5, p. 90-92.
- MATSUMIYA, Y. (2012) *Green Energy Production from Municipal Sewage Sludge in Japan*. Japan Sewage Works Association. 14 p. Disponível em: <<http://gcus.jp/wp/wp-content/uploads/2011/10/b9d3da09628478f76161e05c89b06be91.pdf>>. Acesso em: 29 jan. 2014.
- MOREIRA, M.G. (2011) *Análise da conjuntura agropecuária: safra 2011/12 - olericultura*. Paraná: Secretaria da Agricultura e do Abastecimento Departamento de Economia Rural Estado do Paraná. 14 p.
- MORETTO, S.R.O.; PUPPI, R.F.K.; PEGORINI, E.S.; INOUE, P.S.; OLIVEIRA, G.G. de. (2011) Medidas da densidade do lodo proveniente de digestão anaeróbia. *Infobibos*. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2011_1/DensidadeLodo/index.htm>. Acesso em: 29 jul. 2014.

- NAVAS, A.; MACHÍN, J.; NAVAS, B. (1999) Use of biossolids to restore the natural vegetation cover on degraded soils in the badlands of Zaragoza (NE Spain). *Bioresource Technology*, v. 69, p. 199-205.
- OKUNO, N.; URIU, M.; HORII, T.; MIYAGAWA, K. (1997) Evaluation of Thermal Sludge Solidification. *Water Science and Technology*, v. 36, n. 11, p. 227-233.
- OLEYNIK, J.; BRAGAGNOLO, N.; BUBLITZ, U.; SILVA, J.C.C. (1995) *Análises de solo: tabelas para transformação de resultados analíticos e interpretação de resultados*. 3. ed. Curitiba: EMATER-Paraná. 66 p. (Informação Técnica nº 31).
- PARANÁ. (2009) Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução Sema nº 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. Disponível em: <<http://www.documentos.dioe.pr.gov.br/dioe>>. Acesso em: 25 jan. 2013.
- PARANÁ. (2015) 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: 4 fev. 2015.
- POGGERE, G.C.; SERRAT, B.M.; MOTTA, A.C.V.; BITTENCOURT, S.; DALPISOL, M.; ANDREOLI, C.V. (2012) 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.
- SAMPAIO, A. (2013) Afinal, queremos ou não viabilizar o uso agrícola do lodo produzido em estações de esgoto sanitário? Uma avaliação crítica da Resolução CONAMA 375. *Revista DAE*, n. 193, p. 16-27. Disponível em: <http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_193_n_1503.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2014.
- TAMANINI, C.R.; MOTTA, A.C.V.; ANDREOLI, C.V.; DOETZER, B.H. (2008) Land reclamation recovery with the sewage sludge use. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 51, n. 4, p. 643-655.
- XU, H.; WANG, C.; WANG, K. (2015) Full-Scale Plant Study of the Innovative Spray-Drying-Based Sludge Incineration (SDSI) Process: Behavior of Heavy Metals. *Energy Fuels*, v. 29, n. 6, p. 3908-3912.
- YOKOHAMA (2011). 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 jun. 2014.