



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ENG.<sup>a</sup> FTAL. CELINA RUBIANO DA SILVA

POTENCIAL DE USO DE LODO DE ESGOTO DA ETE DE  
MOGI-MIRIM (SP) NA COMPOSTAGEM, UTILIZANDO  
FERRAMENTA PREVISTA NO MECANISMO DE  
DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL).

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Mudanças Climáticas, Projetos Sustentáveis e Mercado de Carbono da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista.

Orientador: MSc. Diego Mendonça Arantes

CURITIBA

2013

# POTENCIAL DE USO DE LODO DE ESGOTO DA ETE DE MOGI-MIRIM (SP) NA COMPOSTAGEM, UTILIZANDO FERRAMENTA PREVISTA NO MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL).

Eng.<sup>a</sup> Florestal Celina Rubiano da Silva. Engenheira na CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

## **Resumo**

O presente trabalho buscou aplicar a metodologia da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) ACM0022 a um caso real em Mogi Mirim, SP, para adequação do projeto ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). A metodologia refere-se a tratamentos alternativos dados ao lodo gerado em Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), em substituição ao envio deste lodo a aterros sanitários. No presente caso, foi considerado como destinação alternativa o tratamento através da compostagem com posterior aplicação na agricultura. Foi realizado cálculo do custo atual de destinação, das emissões de gases de efeito estufa na linha de base e do potencial de redução de emissões. As emissões da linha de base calculadas referem-se apenas à decomposição do lodo no aterro, sendo desconsideradas as emissões associadas ao manejo do aterro. O aterro para onde atualmente o lodo é enviado possui sistema de captação e queima de biogás e coleta e tratamento do chorume, tornando o projeto de MDL pouco atrativo, no entanto o tratamento alternativo tem potencial para reduzir custos de destinação para a concessionária do serviço de saneamento. A alternativa de destinação tem potencial de atratividade para casos em que o aterro de destino do lodo seja mais precário que o do cenário estudado.

Palavras-chave: Uso agrícola do lodo, gases de efeito estufa, ETE, aterro sanitário.

## **Abstract**

*It was applied the methodology from United Nations Framework Convention for Climate Change (UNFCCC) ACM0022 “Alternative waste treatment processes” on to a real situation in Mogi Mirim, SP, to make it suitable to Clean Development Mechanism (CDM). The methodology refers to alternative treatments of organic wastes generated in a sludge treatment plant, instead of the disposal at solid waste sites. In this case, the alternative treatment is composting the organic waste with posterior application at agriculture. It was estimated the current cost for transport and destination of organic wastes, the emissions of greenhouse gases in the baseline and the potential reduction of emissions. It was just considered the baseline emissions associated with the decomposition of the organic waste at the solid waste disposal site (SDWS). The emissions associated with the management of the SDWS weren't calculated. The solid waste disposal site where the organic waste is currently disposed has a partial landfill gas capture system, with flaring of methane gas. Also has wastewater*

*treatment system, making the CDM project less attractive. However, the alternative treatment is a potential way to reduce costs of organic waste destination after sludge treatment. It also has potential in cases where the solid waste disposal site is precarious than the one verified in this study.*

*Keywords: organic waste in agriculture, greenhouse gases, sludge treatment plant, solid waste disposal site.*

## **INTRODUÇÃO**

No decorrer das últimas décadas a humanidade tem buscado formas mais harmônicas de conviver e lidar com o planeta. Isso porque ficou notório o impacto causado pelas ações antrópicas no meio ambiente como um todo. Nesse contexto, reduzir resíduos gerados pela atividade humana e gerar dividendos a partir disso é o grande desafio em pauta. Aliar benefícios ambientais e monetários tem se mostrado a forma mais efetiva na busca pelo desenvolvimento sustentável, sendo o pagamento por serviços ambientais e o mercado de créditos de carbono exemplos aplicáveis.

O mercado de créditos de carbono surgiu como solução viável a uma questão ambiental aflitiva no final da década de 1990, o aquecimento global. A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) foi o palco das discussões acerca das soluções possíveis para mitigação do aumento da temperatura média global. Através do Protocolo de Quioto, firmado em 1997, ficou estabelecido às nações signatárias distintas responsabilidades em prol da redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE) (BRASIL, 2008).

De acordo com o documento, os chamados países desenvolvidos, com maior responsabilidade na emissão de gases de efeito estufa, pelo seu histórico pós Revolução Industrial, seriam obrigados a reduzir suas emissões de gases dentre os quais o carbônico, metano, óxido nitroso e clorofluorcarbonos (CFCs). Estes países encontram-se listados no Anexo I do Protocolo de Quioto. Os países não constantes no Anexo I são considerados contribuintes menores ao aquecimento global, mas também com sua parcela de responsabilidade. As reduções nas emissões destes países são voluntárias, com previsão para sua obrigatoriedade num acordo pós Quioto (MCT, 1997). A meta de redução é unificada em porcentagem para todos os países do Anexo I, mas são previstas formas de comercializar partes das metas entre os países signatários. Isso significa que países com diferentes níveis de redução podem comercializar suas emissões, conforme seus interesses nacionais. Daí a instauração do mercado mundial de créditos de carbono.

O Brasil não está incluído no Anexo I do Protocolo de Quioto, de forma que as reduções de emissões de gases de efeito estufa são voluntárias. Entretanto, há no documento previsão de uma ferramenta para a participação dos países fora do Anexo I no mercado mundial de créditos de carbono. O

Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é a ferramenta definida pelas Nações Unidas para que países do Anexo I possam financiar o desenvolvimento a partir de energia limpa e/ou renovável em países em desenvolvimento, sendo que os efeitos benéficos provenientes possam ser abatidos das metas de redução de gases de efeito estufa dos países desenvolvidos (BRASIL, 2008).

Tais reduções são previstas em diversos escopos, como energia, resíduos, indústria, transporte, entre outros. Para que seja possível aplicar o conceito mundialmente, foram desenvolvidas metodologias específicas e aplicáveis aos diversos casos, devendo ser aprovadas pela UNFCCC.

Dentre as metodologias que envolvem o escopo energia e disposição de resíduos está a Metodologia ACM 0022, disponibilizada *online* no sítio da UNFCCC. Tal metodologia é aplicável a atividades de projeto em que resíduo fresco, originalmente destinado a aterro de resíduos sólidos, é tratado usando alternativas previstas na metodologia. Maiores detalhes da metodologia serão discutidos adiante.

O tratamento alternativo de resíduos favorece a redução do acúmulo desnecessário e também contribui para que a vida útil de aterros sanitários seja mais prolongada, reduzindo riscos de contaminação do solo e das águas subterrâneas. A situação ideal almejada não é só a redução dos resíduos, mas a possibilidade de reaproveitamento ou transformação dos mesmos, para que este se torne insumo. Exemplo claro de tal possibilidade é o uso do bio-sólido gerado em estações de tratamento de esgoto doméstico na agricultura. Tal técnica pode parecer inovadora, mas é conhecida de longa data dos chineses, e também bastante utilizada na Europa (BUENO, 1999).

Estimativas indicam que o lodo produzido em estações de tratamento de esgoto com condições aeradas correspondem a 39% do resíduo urbano acumulado em localidades atendidas por este tipo de tratamento. O lodo de esgoto retirado das estações logo após o tratamento do efluente doméstico já possui as características nutricionais que justificam sua aplicação no solo. Entretanto, esta aplicação não pode ser direta, devido à presença de patógenos no lodo, podendo causar a contaminação do solo. Assim, a compostagem surge como uma das diversas técnicas viáveis para a redução destes patógenos. Isto porque os microorganismos que atuam no processo geram calor, elevando a temperatura o suficiente para destruir os patógenos existentes e tornando o bio-sólido seguro para aplicação (FERNANDES & SILVA, 1999).

A aplicação do bio-sólido em áreas agricultáveis é opção vantajosa por conter altos teores de nitrogênio e fósforo, importantes nutrientes para culturas agrícolas, podendo assim ser alternativa à aplicação de fertilizantes inorgânicos com maior custo (BUENO, 1999). Sua aplicação é positiva também quando se considera que a formação de compostos estáveis de carbono no solo contribui para a redução de emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera (FERNANDES & SILVA, 1999). A qualidade do bio-sólido depende da dimensão e do desenvolvimento da área atendida pela estação de

tratamento de esgoto produtora. Isto porque a presença de indústrias ao redor aumenta a possibilidade da presença de metais pesados na composição final do bio sólido. Além disso, como qualquer outro fertilizante, devem ser tomadas as devidas precauções com a dosagem aplicada, para não gerar toxicidade às plantas ou elevação excessiva da acidez do solo.

A fim de disciplinar a aplicação de bio sólido como fertilizante agrícola e evitar a contaminação do solo e da água subterrânea, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) editou uma normatização estadual para o uso do produto. Como forma de proteção do solo, a norma estabelece um limite anual de aplicação do lodo no solo, baseado no teor de metais, nitrogênio e pH do lodo de esgoto a ser utilizado (CETESB, 1999). Foram estabelecidos também critérios de aplicação no solo, com estabelecimento de declividades máximas e distâncias mínimas em relação a áreas populadas ou protegidas para aplicação do lodo de esgoto. Outra previsão de adequação do lodo para a aplicação agrícola refere-se às maneiras previstas para redução adicional dos patógenos do lodo de esgoto (principalmente coliformes fecais). A compostagem confinada ou aerada é prevista na norma como método para redução adicional de patógenos. Este tratamento também é previsto pela UNFCCC como destinação alternativa ao lodo de esgoto, enquadrando-se na metodologia ACM0022 (UNFCCC, 2012).

Conforme a norma estadual estabelecida pela CETESB, o lodo a ser aplicado em áreas agrícolas deve atender a alguns parâmetros para que possa ser utilizado. Desta forma, a qualidade do processo de tratamento do esgoto é essencial para que se atinja o objetivo final do projeto.

Além da normatização estadual citada, há uma Resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), de nº 375, de 29/08/2006, que estabelece critérios semelhantes aos estaduais para aplicação do lodo de esgoto na agricultura, além de prever o controle e o disciplinamento da aplicação aos órgãos ambientais estaduais (CONAMA, 2006).

Para o presente trabalho, foi selecionada a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) de Mogi-Mirim (SP). A região possui vocação agrícola, com extensos plantios de eucalipto e laranja, o que favorece a aplicação do lodo de esgoto, já que não há contato direto do lodo com porções comestíveis das plantas. Além disso, existem no município de Mogi-Mirim diversas usinas de compostagem licenciadas ou em processo de licenciamento ambiental junto à CETESB.

Andreoli (2001) afirma que a grande quantidade de lodo gerada num sistema de tratamento aeróbio e a necessidade de passagem por um digestor anaeróbio para redução da porção bacteriana aeróbia são fatores a serem considerados quando do planejamento do processo de compostagem do lodo. Caso a estação gere lodo durante o tratamento primário, e havendo mistura deste ao lodo secundário, podem ocorrer alterações significativas na composição final do mesmo (ANDREOLI, 2001). No caso da ETE

de Mogi Mirim, não é produzido lodo primário, de forma que a massa total de lodo produzida e enviada ao aterro corresponde ao lodo secundário.

Por ser pastoso, o lodo gerado não pode ser compostado sozinho, devendo ser misturado a algum resíduo estruturante, como restos vegetais ou serragem de madeira, de forma a otimizar as condições para compostagem do resíduo (FERNANDES & SILVA, 1999). Como já destacado anteriormente, a região possui usinas de compostagem, que podem atuar na recepção, estruturação e compostagem do biossólido.

Desta forma, o presente trabalho propõe o uso do lodo de esgoto produzido na ETE de Mogi-Mirim (SP) como fertilizante agrícola, a ser aplicado de acordo com a normatização estadual vigente, após processo de redução de patógenos através da compostagem, de forma a possibilitar sua aplicação segura. Objetiva-se verificar a redução dos custos com a disposição final do lodo, que atualmente é destinado a aterro sanitário particular, além de estimar a redução de emissões de GEE quando o lodo deixa de ser alojado em aterros e passa por tratamento alternativo, estando as emissões de linha de base subestimadas devido à metodologia simplificada adotada. Assim pode-se vislumbrar a possibilidade de geração de dividendos e redução expressiva dos custos de destinação do lodo de esgoto.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

A ETE de Mogi-Mirim (SP) localiza-se às margens do Rio Mogi Guaçu, na zona rural do município, com coordenadas UTM aproximadas 23K 7.524.636 m N e 294.064 m L (Datum WGS84). Por ser estação de tratamento biológico aeróbio, há grande produção de lodo no processo. Segundo dados obtidos junto a representantes da concessionária responsável pela construção e operação da estação, a produção diária de lodo é de 9,5 toneladas.

De forma simplificada, o tratamento do esgoto doméstico na ETE de Mogi-Mirim se dá pelo gradeamento para retirada de materiais grosseiros, com posterior tratamento primário. O tratamento secundário, que efetivamente reduz a carga orgânica do efluente tratado, é realizado de forma aeróbia, com circulação do efluente em carrossel, e manutenção de uma população bacteriológica suficiente para a remoção orgânica desejada. Através da ação das bactérias no esgoto é gerado o efluente final, em condições que atendam à legislação vigente (para o Estado de São Paulo, o artigo 18 do Decreto Estadual 8468, de 1976, e suas alterações). O subproduto desta ação bacteriológica é o chamado lodo secundário, que consiste em biomassa de bactérias (PEDROZA et al, 2010).

A ETE em pauta foi construída através de licitação, tendo sido inaugurada em 2012. Seu sistema de tratamento secundário é aeróbio, não havendo assim geração de metano no processo. A produção de

lodo neste tipo de tratamento é relativamente superior à produção pelo sistema anaeróbio. Para a estação em pauta, que trata 150 L/s, a geração diária de lodo é de 9,5 toneladas. A fim de reduzir tais custos de transporte e disposição final do mesmo, a ETE possui uma centrífuga, que retira a umidade do lodo gerado, com teor de sólidos de até 24%. Ainda assim, dados de SANEPAR & PROSAB (1999) indicam que os custos de tratamento e disposição final do lodo gerado correspondem a até 50% dos custos operacionais de uma ETE.

Além da vocação tradicional da região de Mogi-Mirim para a cultura de frutas cítricas, a eucaliptocultura também pode ser considerada como cultura representativa na região, dada a proximidade com uma grande indústria papelreira, localizada no município de Mogi-Guaçu. As áreas agricultáveis possuem solo com boa capacidade de infiltração, não havendo grandes exigências quanto à metodologia de aplicação de fertilizantes. Os solos apresentam-se em sua maioria ácidos, como boa parte dos solos brasileiros.

O presente trabalho é um estudo de caso, a fim de verificar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um projeto de MDL, através do tratamento alternativo do lodo de esgoto gerado na ETE de Mogi-Mirim (SP), que pode ser compostado e que atualmente é destinado a um aterro sanitário particular.

Os procedimentos para realização deste estudo foram:

**a. Determinação dos custos atuais de destinação do lodo**

Através dos valores de custos totais de transporte e destinação do lodo (R\$ 118,82/t), fornecidos por representantes da concessionária responsável pela ETE, e sabendo-se que a mesma produz 9,5 t/dia de lodo secundário, foi possível determinar o custo médio anual de destinação do resíduo.

**b. Cálculo das emissões da linha de base**

Para estimar as emissões de GEE na linha de base e de projeto, foi utilizada a metodologia UNFCCC ACM0022, versão 1.0.0 (UNFCCC, 2012a). Esta metodologia é aplicável a projetos em que resíduos frescos que seriam enviados a aterros passam por tratamentos alternativos. Dentre tais tratamentos, é prevista a compostagem.

Para o presente trabalho, não foram utilizadas algumas ferramentas disponibilizadas pela UNFCCC e necessárias à elaboração de projetos de crédito de carbono. Isto porque tais ferramentas são muito específicas ao atendimento das exigências de estrutura do projeto, e não da mensuração específica da geração de créditos de carbono. Para o cálculo das emissões de linha de base, foi considerada apenas a metodologia UNFCCC ACM0022.

De acordo com a metodologia, as emissões da linha de base correspondem ao somatório das emissões de metano pela decomposição do resíduo no aterro, emissões de metano relativas ao tratamento do chorume gerado no aterro pela decomposição dos resíduos, emissões de GEE associadas à geração de energia no aterro e emissões relativas ao uso de gás natural no aterro. Para o presente trabalho, foram estimadas apenas as emissões relativas à decomposição do resíduo (lodo) no aterro, pois é o único resíduo de interesse do projeto. Desta forma, as emissões da linha de base podem ser mensuradas pela equação 1:

$$BE_y = BE_{CH4t,y} \times DF_{RATE,t,y} \quad (1)$$

Em que:

$BE_y$  = Emissões da linha de base no ano y (tCO<sub>2</sub>e);

$BE_{CH4t,y}$  = Emissões de metano no aterro no ano y (tCO<sub>2</sub>e);

$DF_{RATE,t,y}$  = Variável dependente da taxa de atendimento a algum marco legal do país que exija tratamentos alternativos do resíduo sólido. No Brasil, a Lei 12.305/2010 estabelece prazo até 2014 para eliminação dos lixões, mas não estabelece prazos limites para outras metas, de forma que este valor será considerado unitário.

As emissões de metano provenientes do aterro na linha de base são determinadas através da ferramenta “Emissões de aterros sanitários”. A equação determinada na ferramenta possui diversas constantes tabeladas na própria ferramenta para o caso aplicável, em que o projeto de MDL previne a disposição de resíduos em um aterro específico, pré-existente. Assim, foi deduzida a equação 2, através da qual é possível calcular as emissões de metano provenientes do aterro:

$$BE_y = BE_{CH4t,y} = 1,964 \times (1-f_y) \times W_y \times MOS \quad (2)$$

Em que:

$BE_y = BE_{CH4t,y}$  = Emissões de metano no aterro, na linha de base no ano y (tCO<sub>2</sub>e);

$f_y$  = Porção de metano capturado para queima no aterro no ano y;

$W_y$  = Quantidade de lodo produzido na ETE disposto no aterro durante o ano y (t);

$MOS$  = Fração de matéria orgânica seca do lodo (%).

Os valores obtidos para as variáveis descritas foram informados diretamente por representantes do aterro sanitário (para  $f_y$ ) e da ETE (para  $W_y$  e  $MOS$ ) e correspondem a 0,57, 3.467,5 t lodo/ano e 23%, respectivamente.

### c. Cálculo das emissões de projeto

Conforme indicação da metodologia ACM0022, para o cálculo das emissões de projeto, foram utilizadas as ferramentas “Emissões fugitivas e de projeto da compostagem” e “Ferramenta para cálculo das emissões de linha de base, de projeto e fugitivas relativas ao consumo de energia elétrica”.

Seguindo tais ferramentas, as emissões de projeto seriam o resultado do somatório das emissões relativas ao consumo de energia elétrica e de combustíveis fósseis durante o processo de compostagem, juntamente às emissões de óxido nitroso e de metano (neste caso, tanto da compostagem quanto do chorume gerado no processo).

Substituindo as constantes fornecidas nas ferramentas em todas as equações, foi obtida a equação 3, a seguir:

$$PE_{COMP_y} = W_y \times 0,1403 + (4,704 \times VC_y \times DQO_y) \quad (3)$$

Em que:

$PE_{COMP_y}$  = Emissões de projeto pela compostagem no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e);

$W_y$  = Quantidade de lodo produzido na ETE disposto no aterro durante o ano  $y$  (t);

$VC_y$  = Volume de chorume produzido no processo de compostagem no ano  $y$  (m<sup>3</sup>/ano);

$DQO_y$  = Demanda química de oxigênio do chorume produzido pela compostagem no ano  $y$  (t/m<sup>3</sup>).

Para estimar o volume do chorume produzido foi considerado o dado real de produção de lodo de esgoto, correspondente a 3.152,27 m<sup>3</sup>/ano. Através deste dado e considerando leiras triangulares com altura máxima de 2 m e largura máxima de 4,5 m, conforme recomendado por Fernandes & Silva (1999), foi estimada a área basal da leira, 262,6 m<sup>2</sup> a cada mês. Para o cálculo da vazão do chorume produzido foi utilizado o “Método Suíço” (CAPELO NETO *et al*, 1999), conforme equação 4:

$$Q = \frac{P \times A \times K}{t} \quad (4)$$

Em que:

$Q$  = Volume do chorume produzido (l/s);

$P$  = Precipitação média mensal (mm);

$A$  = Área da leira ( $m^2$ );

$t$  = Número de segundos em 1 mês (2592000);

$K$  = Coeficiente relativo ao grau de compactação da leira. Para compostagem, a compactação é reduzida e a densidade é alta, tendo sido utilizado o valor de 0,25 (CAPELO NETO *et al*, 1999).

A precipitação média mensal, de 125 mm, está em conformidade com o verificado na bacia do Rio Mogi Guaçu (CBH-MOGI, 1999).

A estimativa do valor da DQO do chorume foi baseada em valor médio tabelado para chorume produzido em aterros com menos de 02 anos, correspondente a  $0,018 \text{ t/m}^3$  (TCHOBANOGLIOUS, 1993 apud IWAI, 2005).

Quanto às emissões fugitivas relativas ao decaimento anaeróbico do resíduo orgânico, elas devem ser consideradas apenas quando há envio de material compostado ao aterro ou com deposição anaeróbia (UNFCCC, 2011), que não é o caso do presente projeto.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **a. Custos atuais de destinação do lodo**

Os custos totais de transporte e destinação do lodo correspondem a R\$ 118,82/t gerada. Atualmente, o lodo é enviado ao aterro sanitário particular Estre, localizado em Paulínia (SP). A distância percorrida entre a ETE e o aterro é de 75 Km. Tais custos ficam a cargo da concessionária do serviço de saneamento, sendo relativos ao pacote de serviços de transporte e destinação, já que a mesma empresa realiza ambos os serviços.

Com a produção atual de lodo da ETE de 9,5 t/dia (haverá aumento neste valor, já que é prevista ampliação da estação nos próximos anos), o custo anual médio apenas com transporte e destinação do lodo é de R\$ 412.008,35.

### **b. Emissões da linha de base**

As emissões da linha de base, neste caso específico, foram estimadas apenas em relação às emissões de metano produzido pela decomposição do lodo de esgoto no aterro sanitário. Tais emissões correspondem a  $673,53 \text{ tCO}_2\text{e/ano}$ .

Para o cálculo efetuado no presente projeto, as emissões relativas ao chorume produzido pela decomposição do lodo no aterro sanitário e ao consumo de energia e de gás natural dentro do aterro, quando associadas à decomposição do lodo, não foram consideradas. Tal procedimento justifica-se pela dificuldade de obtenção dos dados necessários junto ao aterro sanitário receptor e pelas dimensões do mesmo, que possui mais de 700.000 m<sup>2</sup>. Assim, embora as emissões da linha de base sob o ponto de vista da degradação do lodo devam ser totalmente contabilizadas, tais emissões são parte muito pequena do total de emissões do aterro.

### **c. Emissões de projeto**

As emissões de projeto foram calculadas de forma completa, já que a variável mais importante nesta etapa é referente ao lodo produzido, não às condições do aterro de destino. Assim, foram consideradas as emissões relativas ao consumo de energia e combustíveis fósseis associado ao processo de compostagem, e ao óxido nitroso e metano emitidos durante o processo de compostagem e também pelo chorume produzido. O valor obtido para as emissões de projeto foi de 494,94 tCO<sub>2</sub>e/ano.

Desta forma, há redução potencial de 178,59 tCO<sub>2</sub>e/ano, o que não significa que o projeto seja atrativo financeiramente. Isto porque a redução de emissões pode não gerar dividendos suficientes que cubram os gastos com a elaboração, proposição e certificação do projeto de créditos de carbono. Entretanto, é importante ressaltar que no cálculo das emissões de linha de base não foram consideradas emissões relativas ao manejo do aterro, o que pode aumentar o saldo potencial de redução de emissões. Verificado o potencial de redução de emissões, deve ser realizada análise econômica do projeto, caso seja desejo da concessionária geradora.

Ainda, é necessário considerar que a situação avaliada no presente trabalho é praticamente ideal, quando considerado o padrão de serviços sanitários no Brasil. Trata-se de uma ETE moderna, com atendimento pleno à legislação vigente, que envia seu lodo a um aterro particular, dotado de sistema para captura e queima de biogás e tratamento do chorume, que é terceirizado. Além disso, tanto ETE quanto aterro sanitário são controlados por empresas privadas, que buscam certificações internacionais, e para tanto, necessitam efetuar um rigoroso auto monitoramento de suas atividades e resultados.

Deve-se destacar que não há nas ferramentas de cálculo utilizadas a estimativa das emissões relativas ao transporte do resíduo, pois se considera que as emissões de CO<sub>2</sub> pela queima de combustíveis fósseis será a mesma nas condições de linha de base e de projeto. Neste caso específico, é importante ressaltar que a distância entre a ETE e o aterro de destino do lodo de esgoto aproxima-se de 75 Km, enquanto existem diversas empresas que realizam compostagem para produção de fertilizantes

agrícolas orgânicos no próprio município de Mogi-Mirim (SP), indicando que a redução destas emissões associadas ao transporte, neste caso, pode ser significativa.

O presente trabalho visa à adequação do projeto de destinação alternativa do lodo de esgoto considerando as possibilidades previstas pela metodologia ACM0022, que não inclui a aplicação direta do lodo de esgoto no solo. A aplicação direta do lodo pode ser realizada, no Estado de São Paulo, caso o seja atendido que determina a normatização estadual da CETESB. Nesta norma são previstas formas de redução de patógenos no lodo além da compostagem, como alguns tratamentos térmicos e a estabilização com cal.

Vale destacar que as emissões de GEE ocorrentes após a aplicação do lodo compostado na agricultura não são alvo de cálculo dentro da metodologia. Estudo realizado por Urzedo *et al* (2013) na região de Sorocaba indicam que as emissões de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, e CH<sub>4</sub> num plantio florestal de *Calophyllum brasiliense* (Camb) são superiores quando se aplica lodo de esgoto compostado em comparação ao uso de lodo de esgoto apenas estabilizado.

Assim, a possibilidade de aplicação do lodo de esgoto diretamente na agricultura sem utilização do processo de compostagem deve ser verificada dentro do âmbito da geração de créditos de carbono. Isto porque as emissões de GEE provenientes da compostagem deixam de existir, e há potencial de emissões reduzidas após aplicação no solo, em condições climáticas subtropicais, conforme verificado por Urzedo *et al* (2013).

## **CONCLUSÕES**

Verificou-se que o tratamento alternativo do lodo de esgoto através da compostagem pode ser vantajoso em termos de emissões e custos, principalmente ao considerarmos que as emissões da linha de bases estão subestimadas.

A fim de verificar se a aplicação da metodologia ACM0022 para o presente caso geraria dividendos, deve ser realizada análise econômica do projeto, destacando que há potencial de aplicação da mesma para destinação alternativa de lodo de esgoto quando o mesmo é destinado a aterro com sistema de manejo menos aperfeiçoado.

A verificação de que o lodo compostado emite mais GEE do que o lodo fresco quando aplicados na agricultura, além da emissão ocorrente durante o processo de compostagem, justificam que se busque uma nova metodologia de cálculo de emissões, considerando a maior redução potencial de GEE quando o lodo é aplicado fresco em plantios florestais.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao MsC. Diego Mendonça Arantes, orientador e amigo, ao Eng. Carlos Roberto Ferreira, Diretor Presidente da SESAMM, e a Bruno Caldas, da Estre Ambiental de Paulínia, pelas informações prestadas.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ANDREOLI, C. V. (coordenador). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES; Projeto PROSAB, 2001. 282 p.

BRASIL. **Contribuição do Brasil para evitar a mudança do clima**. Brasília, 2008. 73 p.

BUENO, R. C. R. **Biossólido - Processo de redução adicional de patógenos com a utilização de energia solar**. 156 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CAPELO NETO, J.; MOTA, S.; SILVA, F. J. A. Geração de Percolado em Aterro Sanitário no Semi-Árido Nordeste. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 160 – 167, 1999.

CBH-MOGI. **Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu – Relatório Zero**. Mogi Guaçu, 1999. 16 p. Disponível em: < <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBH-MOGI/1306/relmogiseg.pdf>>. Data de acesso: 02/09/2013.

CETESB. **Norma Técnica P4.230 – Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação: Manual Técnico**. 33 f.. São Paulo, 1999.

CONAMA. **Resolução CONAMA n° 375**. Brasília, 2006. 25p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=506>>. Data de acesso: 03/09/2013.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Londrina: Projeto PROSAB, 1999. 91 p.

IWAI, C. K. **Tratamento de chorume através de percolação em solos empregados como material de cobertura de aterros para resíduos sólidos urbanos**. 423 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2005.

MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (tradução e edição). **Protocolo de Quioto à Convenção Sobre Mudança do Clima**. Brasília, 1997. 29 p.

PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA, J. F.; PICKLER, A. C.; LEAL, E. R. M.; MILHOMEN, C.C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – Uma revisão. **Revista Liberato**. Novo Hamburgo, v. 11, n. 16, p. 147 – 158, 2010.

SANEPAR; PROSAB. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba, 1999. 98 p.

UNFCCC. **Methodological Tool: “Tool to calculate baseline, project and/or leakage emissions from electricity consumption”**. Versão 01. Bonn, 2008. 16 p. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-05-v1.pdf>>. Data de acesso: 02/09/2013.

UNFCCC. **Methodological Tool: “Project and leakage emissions from composting”**. Versão 01.0.0. Bonn, 2011. 16 p. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-13-v1.pdf>>. Data de acesso: 02/09/2013.

UNFCCC. **Approved consolidated baseline and monitoring methodology ACM0022 “Alternative waste treatment processes”**. Versão 1.0.0. Bonn, 2012a. 51 p. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/V6E6Y5C7KYQAB6CW8BD9CDO0767BOW>>. Data de acesso: 29/08/2013.

UNFCCC. **Methodological Tool: “Emissions from solid waste disposal sites”**. Versão 06.0.1. Bonn, 2012b. 16 p. Disponível em: < <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/tools/am-tool-04-v6.0.1.pdf>>. Data de acesso: 02/09/2013.

URZEDO, D. I.; FRANCO, M. P.; PITOMBO, L. M.; CARMO, J. B. Effects of organic and inorganic fertilizers on greenhouse gas (GHG) emissions in tropical forestry. **Forest Ecology and Management**. v. 310, p. 37 – 44, 2013.