

## II-307 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO LODO DA ETE GOIÂNIA: PARÂMETROS LEGAIS PARA USO AGRÍCOLA

**Nayara Gracyelle Dias** <sup>(1)</sup>

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (UFG). Mestranda em Construção Civil. Especialista em tratamento e disposição final de Resíduos Sólidos e Líquidos pela UFG. Engenheira da SANEAGO-GO.

**Valéria Moreira Silva**

Engenheira Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO). Técnica em Meio Ambiente pelo Instituto Federal Goiano (IFGO). Técnica industrial da SANEAGO-GO.

**Camila Dantas Lúcio Roncato**

Engenheira, área civil, Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Civil pela Université de Sherbrooke (Canadá). Engenheira da SANEAGO-GO.

**Karol Kelly da Silva**

Gestora Ambiental pela Universidade do Norte do Paraná (UNOPAR). Técnica em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal do Tocantins (IFTO). Técnica industrial da SANEAGO-GO.

**Fabrizio Ribeiro**

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Goiás (UEG). Especialista em tratamento e disposição final de Resíduos Sólidos e Líquidos pela UFG. Mestre em Engenharia de Meio Ambiente pela Escola de Engenharia Civil da UFG. MBA: Perito, Auditor e Gestor Ambiental pelo Instituto de Pós-graduação (IPOG). Engenheiro da SANEAGO-GO.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Av. Fued José Sebba, 1245 - Jardim Goiás - Goiânia-GO - CEP 74805-100 - Brasil - Tel: (62) 3243-3408 - email: [nayaradias@saneago.com.br](mailto:nayaradias@saneago.com.br)

### RESUMO

A atenção em preservar, não contaminar o meio ambiente e recuperar áreas degradadas têm sido objeto de preocupação dos órgãos reguladores/fiscalizadores e das entidades envolvidas com saneamento básico. Desta forma, o lodo produzido nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) é um dos principais problemas a ser solucionado na atualidade visto que sua produção é inevitável e seu lançamento sem critério ou controle pode gerar impactos ambientais graves. Este trabalho tem como objetivo contribuir com análises sobre o resultado da destinação de lodo ETE em solos agrícolas com base na destinação do lodo da ETE Goiânia que tem sido aplicado na recuperação de áreas degradadas e em solos destinados à agricultura em Goiás. A metodologia de análise utilizada será baseada em relatórios técnicos fornecidos pela Companhia de Saneamento sobre o monitoramento do solo em três pontos de amostragem: um ponto na reserva legal localizado nas adjacências da área que recebe o lodo, outro ponto na área onde é aplicado esse lodo e outro ponto em área próxima à área de aplicação do lodo. Os relatórios disponibilizados são referentes aos anos de 2012 e 2013. A análise dos resultados foi feita com base nas Resoluções CONAMA 375/2006 e 420/2009 comparando o atendimento a essas legislações. Com base nos resultados das amostras, é possível concluir que o lodo da ETE Goiânia atende os principais parâmetros exigidos pelas Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que viabiliza a sua utilização na recuperação de áreas degradadas ou atividades agrícolas. Foi constatado ainda que o solo que recebeu o lodo da ETE encontra-se dentro dos padrões estabelecidos pela legislação, valendo salientar que os metais pesados presentes em solos agrícolas nem sempre são provenientes dos resíduos da ETE pois muitos são oriundos de produtos utilizados em atividades agrícolas tradicionais. Assim, o controle dessa aplicação deve ser bastante efetivo para evitar sérios danos ambientais e à saúde da população.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo de ETE, disposição agrícola, meio ambiente, resíduos de ETE.

### INTRODUÇÃO

A crescente exigência dos órgãos públicos determina cada vez mais a importância da implantação de sistemas de esgotamento sanitário com destinação e tratamento adequado dos efluentes, ocasionando igualmente a necessidade do gerenciamento dos resíduos sólidos gerados nos processos de tratamento, incluindo sua destinação final. Desta forma, a disposição final de lodo de ETE ganha cada vez mais expressão no Brasil e

torna-se necessário o desenvolvimento de alternativas seguras visando o atendimento as recentes exigências ambientais e para que esse resíduo não se transforme em um problema ambiental (BETTIOL E CAMARGO, 2006). Através da análise da disposição final do lodo de esgoto é possível conhecer o potencial de reciclagem desse produto como uma nova matéria-prima. A Tabela 1 mostra o panorama brasileiro e goiano quanto à existência de estações de tratamento de esgoto sanitário nos municípios e também a destinação final do lodo gerado pelas estações.

**Tabela 1 - Municípios, total e com tratamento de esgoto sanitário realizado nas Estações de Tratamento de Esgoto - ETEs, por destino do lodo gerado pelo processo de tratamento do esgoto, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação - 2008**

	Municípios									
	Total	Com tratamento do esgoto sanitário realizado nas ETE's								
		Total	Destinação do lodo gerado pelo processo de tratamento do esgoto							
			Total	Rio	Mar	Terreno Baldio	Aterro Sanitário	Inciner- ração	Reaproveita- mento	Outro
Brasil	5564	1513	1091	163	1	97	452	19	169	316
Goiás	246	60	35	2	-	1	12	-	3	19

Fonte: IBGE (2008)

Nota: O município pode dar mais de um destino ao lodo gerado pelo processo de tratamento do esgoto sanitário

O Estado de Goiás, como mostra a Tabela 1, possui somente 24% dos seus municípios com estações de tratamento de esgoto, porém este panorama tende a mudar assim como em todo o país, pois com a criação da Lei 11445/2007 existe uma grande preocupação com a universalização dos serviços de saneamento. O planejamento proposto na lei abrangerá um horizonte de 20 anos para programação de investimentos em saneamento básico e as concessões dos serviços estarão vinculadas à existência de previsão de ampliação e implantação dos sistemas inexistentes e dessa forma o número de estações de tratamento deverá aumentar consideravelmente.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), existem três formas possíveis de disposição adequada para lodos provenientes de ETE's, são elas: Incineração, Aterro Sanitário e Aplicação no solo (MMA, 2009). Com base nisso, mais de 500 municípios brasileiros não dispõem adequadamente seus resíduos de esgotos pois lançam em rios, mares e terrenos baldios. Porém, é importante ressaltar que o lançamento nos rios pode ser a pior destinação entre todas devido à grande escassez de água para abastecimento humano que tem-se vivido e porque em períodos de estiagem esse lodo causa ainda mais impacto em virtude da redução de vazão dos mananciais que consequentemente reduz a capacidade de autodepuração.

A disposição em incineradores é uma alternativa com custo de implantação e operação consideravelmente elevada demandando alto consumo de energia e ainda produzindo gases que também deverão ser tratados. Caso seja produzido efluente líquido durante a incineração, esse efluente deverá apresentar condições de ser lançado em rede de esgoto doméstico ou no próprio corpo receptor desde que atenda ao padrão de qualidade exigido pelo órgão ambiental o que se torna mais uma desvantagem para a utilização dessa alternativa, pois dependendo da qualidade do efluente ele terá que passar por novo processo de tratamento (MMA, 2009).

A disposição em aterros sanitários não demanda gastos de energia como na incineração mas reduz a vida útil do aterro principalmente se houver codisposição com os resíduos sólidos urbanos. Mesmo sendo possível a execução de aterro exclusivo para os lodos, esse deverá ter capacidade para receber todo o resíduo gerado na ETE como, por exemplo, a areia, os detritos grosseiros e o lodo propriamente dito e seria descartada toda a propriedade nutritiva do ponto de vista agrônomo que o lodo apresenta (MMA, 2009).

O próprio Ministério do Meio Ambiente considera que a melhor forma de disposição do lodo seja a aplicação no solo. O Programa Nacional de Capacitação de Gestores Ambientais em seu Módulo Específico Licenciamento Ambiental de Estações de Tratamento de Esgoto e Aterros Sanitários ressalta "que a aplicação no solo é a alternativa que melhor se enquadra no conceito de desenvolvimento sustentável integrado, pois o lodo passa a ter uma função de promotor do desenvolvimento socioeconômico da região" (MMA, 2009).

A Tabela 1 mostra que o reaproveitamento do lodo é feito somente em 3 municípios do Estado de Goiás. O reaproveitamento do lodo, de acordo com o IBGE, pode ser tanto na fabricação de materiais de construção como na agricultura. Dessa forma, existe uma ampla perspectiva para abranger mais municípios com a destinação do lodo para a agricultura pois o foco, hoje, com relação ao meio ambiente não é somente conservar, existe ainda a preocupação em não contaminar e ainda recuperar áreas degradadas ou recuperar solos pobres em nutrientes, o que o reaproveitamento na agricultura pode contribuir consideravelmente.

Essa alternativa para disposição de lodo de ETE em áreas agrícolas, é uma das mais promissoras principalmente do ponto de vista econômico e ambiental, já que esse material contém em sua composição concentrações consideráveis de matéria orgânica e de nutrientes. No entanto, a presença de metais tóxicos e agentes patogênicos constituem uma das principais barreiras ao uso de lodo de esgoto na agricultura (SANTOS et al., 2013).

A Resolução CONAMA 375 determina o teor de nutriente, teor de metais pesados e quantidade de microrganismos máximos permitidos para a aplicação do lodo de esgoto em solos agrícolas. A partir destes parâmetros e para fins de controle de qualidade, o lodo é caracterizado pela sua composição química, presença de patógenos, mineralização do nitrogênio orgânico, persistência da matéria orgânica e capacidade de elevação do pH do solo (CONAMA, 2006). Essa resolução é importante principalmente para a avaliação posterior do solo visto que poderá ser utilizada para verificar a presença ou não de um contaminante na torta de lodo que porventura venha a aparecer na amostra de solo analisada.

Ao mesmo tempo que é a destinação mais promissora entre todas disponíveis, a aplicação do lodo no solo deve ser feita de forma extremamente controlada e planejada para que não se torne um grande problema ambiental ao contrário de um benefício ambiental e econômico. Por esse motivo, em 2009, o Ministério do Meio Ambiente publicou a Resolução CONAMA 420/2009 relacionada a solos com presença de substâncias químicas originárias de atividades antrópicas. Em seu Art. 3º, essa resolução impõe que a proteção do solo deve ser preventiva ou corretiva sempre com o objetivo de restaurar, preservar ou recuperar o solo de forma compatível com o uso que lhe será destinado. Assim, a destinação de lodos de ETE's nos solos deve ter como princípio a preservação da qualidade da terra mesmo com a presença de metais pesados, por exemplo, de forma que não prejudique o uso que determinado solo possui e também não prejudique a população que se encontra em suas adjacências. A resolução prevê ainda que deve ser monitorado constantemente qualquer empreendimento que desenvolva atividade com potencial contaminação devendo apresentar relatórios técnicos conclusivos sobre esse monitoramento ao órgão ambiental competente (CONAMA, 2009).

A Resolução CONAMA 420/2009 define que a avaliação da qualidade do solo deve ser feita com base em Valores Orientadores (CONAMA, 2009):

- a) de Referência de Qualidade: Valores com parâmetros iniciais que orientarão a análise sobre qualidade do solo. São determinados pelos órgãos ambientais.
- b) de Prevenção: São valores máximos permitidos para que o contaminante não interfira no uso do solo e estão determinados dentro da própria Resolução CONAMA 420/2009. Os resultados apresentados neste trabalho serão avaliados com base nesses parâmetros. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (CONAMA, 2009) “as concentrações de substâncias químicas no solo resultantes da aplicação ou disposição de resíduos e efluentes, observada a legislação em vigor, não poderão ultrapassar os respectivos Valores Orientativos de Prevenção”.
- c) de Investigação: São valores de concentração das substâncias que já podem colocar em risco a saúde humana e foram originados com base nos Valores de Prevenção.

Os estudos científicos desenvolvidos com o lodo e os solos no Brasil contribuirão para aprimoramento da legislação, garantindo confiabilidade e segurança quanto ao uso da técnica de disposição final do lodo de ETE para fins agrícolas.

O objetivo deste trabalho é caracterizar o lodo da ETE Goiânia a partir de análises laboratoriais de 2012 e 2013, comparar a concentração dos metais pesados e agentes patogênicos presentes na torta de lodo com os parâmetros da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 375/2006 avaliando a qualidade do lodo para uso agrícola como forma de destinação final e também a qualidade do solo onde esse lodo já foi aplicado verificando o grande potencial que esta destinação apresenta com relação aos outros processos existentes e o atendimento valores de prevenção estipulados na Resolução CONAMA 420/2009.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A ETE Goiânia teve sua operação iniciada em 2004 e o processo empregado é o tratamento primário quimicamente assistido. Atualmente o sistema é composto de gradeamento, caixa de areia aerada e decantador primário com vazão afluyente de 1600 l/s. O cloreto férrico é utilizado como coagulante na caixa de areia e o polieletrólito aniônico é aplicado na calha Parshall para auxiliar na coagulação. O lodo primário é desaguado em centrífugas, estabilizado e higienizado quimicamente com cal virgem. A produção do lodo é de aproximadamente 80 toneladas por dia, com teor de sólidos de aproximadamente 35%.

Após centrifugado e aplicada a cal (óxido de cálcio) numa proporção de 20% com relação a sua massa, o lodo já está preparado para ser transportado para o local de disposição. O lodo destinado a aplicação agrícola é monitorado pela empresa produtora trimestralmente por meio da retirada de 3 amostras, quando o caminhão já está carregado para transportar o lodo para a Fazenda onde a disposição ocorre. O procedimento de coleta de amostras segue as diretrizes da NBR 10.007:2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (SANEAGO, 2013).

Além do monitoramento do lodo propriamente dito, a concessionária monitora também a qualidade das águas subterrâneas e superficiais principalmente com relação aos metais pesados após a disposição do lodo e também o solo tanto da área de aplicação do lodo como fora em pontos próximos dessa área, atendendo assim tanto a Resolução CONAMA 375/2006 quanto a Resolução CONAMA 420/2009.

O monitoramento do solo, foi realizado 3 pontos distribuídos na Fazenda Ponte Funda (Figura 1): Um dentro da Reserva Legal, outro na área de disposição do lodo e outro em ponto próximo à área de disposição do lodo. Em cada ponto são coletadas três amostras simples de solo para obtenção de uma amostra composta. Para cada amostra foram avaliados teores de alumínio, antimônio, arsênio, bário, boro, cálcio, cobalto total, fósforo, manganês, matéria orgânica, mercúrio, molibdênio, níquel, potássio, prata, pH, selênio, sódio, vanádio, zinco, acidez potencial (H+Al), Soma de Bases (S), Capacidade de troca Catiónica (CTC), porcentagem de saturação de bases (V%) e também os parâmetros orgânicos do anexo V da Resolução do CONAMA 375/06. Foram avaliados ainda coliformes totais e termotolerantes e ovos viáveis de helmintos (SANEAGO, 2013). Porém, para este trabalho serão analisados somente os seguintes parâmetros:

- ▲ Concentração de agentes patogênicos: Coliformes Termotolerantes, Ovos viáveis de helmintos e Salmonella.
- ▲ Metais pesados: Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Selênio e Zinco.



**Figura 1- Localização dos Pontos de Amostragem**

Analizou-se dados dos resultados realizados com as amostras do lodo da Estação de Tratamento de Esgoto Dr. Hélio Seixo de Brito (ETE Goiânia), coletadas nos meses de janeiro, março, maio e outubro do ano de 2012 e março, junho, setembro, novembro de 2013. Para a análise de resultados dos solos, foram avaliadas amostras de março, junho, setembro e dezembro de 2013. Para realizar esse estudo, foram desenvolvidas as seguintes etapas:



Etapas 1 – Visitas e registros fotográficos na unidade geradora do lodo (ETE Goiânia - SANEAGO) para conhecer a ETE e o tratamento do lodo.

Etapas 2 – As análises utilizadas para composição deste estudo foram realizadas por laboratórios contratados pela SANEAGO e disponibilizadas pela Gerência de Tratamento de Esgotos (P-GTE) da concessionária, assim como demais dados e informações necessárias.

Etapas 3 - Os dados obtidos foram tabulados e comparados a Resolução CONAMA 375/2006 e CONAMA 420/2009 sendo possível verificar a qualidade do lodo da ETE Goiânia quanto aos parâmetros de metais pesados e agentes patogênicos para reciclagem na agricultura. Além disso foram analisados os resultados do monitoramento do solo em que o lodo foi aplicado.

## RESULTADOS

As principais características do lodo, resultantes de análises laboratoriais (parâmetros físico-químicos e biológicos) estão apresentadas nas Tabelas 2 e 3.

**Tabela 2 - Determinações sobre o lodo de esgoto da ETE Goiânia (Jan, Mar, Mai, Out/2012).**

Parâmetros	Unidades	LQ <sup>(1)</sup>	Resultados analíticos				CONAMA 375/2006 – VMP
			Janeiro	Março	Maio	Outubro	
Salmonelas	P/A em 10 g de MS	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Coliformes Termotolerantes	NMP/g de ST	0,6	<0,7	<0,7	<0,8	<2,2	10 <sup>3</sup> - classe A 10 <sup>6</sup> - classe B
Ovos viáveis de helmintos	Ovos g <sup>-1</sup> de ST	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	< 0,25- classe A < 10 – classe B
Vírus	-	-	-	-	-	-	
Arsênio	mg kg <sup>-1</sup>	1	<1	<1	<1	<1	41
Bário	mg kg <sup>-1</sup>	1	56	119	174	26	1300
Cádmio	mg kg <sup>-1</sup>	0,095	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	39
Chumbo	mg kg <sup>-1</sup>	1	14	13	30	6,8	300
Cobre	mg kg <sup>-1</sup>	1	49	85	279	76	1500
Cromo	mg kg <sup>-1</sup>	1	49	54	88	16	1000
Merúrio	mg kg <sup>-1</sup>	0,048	0,47	0,75	1,51	<0,05	17
Molibdênio	mg kg <sup>-1</sup>	1	1,2	<1	<1	57	50
Níquel	mg kg <sup>-1</sup>	1	13	22	48	8,9	420
Selênio	mg kg <sup>-1</sup>	1	<1	<1	<1	<1	100
Zinco	mg kg <sup>-1</sup>	1	193	357	676	107	2800
pH		0-14	12,4	13,1	12,7	7,7	

<sup>1</sup> LQ = Limite mínimo de quantificação

VMP: Concentração máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (base seca)

P/A = Por Amostra; MS = Massa Seca; NMP= Número Mais Provável; mg kg<sup>-1</sup> = miligrama por quilograma

- Análises não-realizadas

Fonte: SANEAGO, 2013.

**Tabela 3 - Determinações sobre o lodo de esgoto da ETE Goiânia ( Mar, Jun, Set, Nov/2013).**

Parâmetros	Unidades	LQ <sup>(1)</sup>	Resultados analíticos				CONAMA 375/2006 – VMP
			Março	Junho	Setembro	Novembro	
Salmonelas	P/A em 10 g de MS	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Coliformes Termotolerantes	NMP/g de ST	0,6	<0,85	<0,7	<0,7	<0,7	10 <sup>3</sup> - classe A 10 <sup>6</sup> - classe B
Ovos viáveis de helminthos	Ovos g <sup>-1</sup> de ST	0,1	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	< 0,25- classe A < 10 – classe B
Vírus	-	-	-	-	-	-	
Arsênio	mg kg <sup>-1</sup>	1	<1	<1	<1	<1	41
Bário	mg kg <sup>-1</sup>	1	11	46	122	112	1300
Cádmio	mg kg <sup>-1</sup>	0,095	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	39
Chumbo	mg kg <sup>-1</sup>	1	27	10	12	25	300
Cobre	mg kg <sup>-1</sup>	1	182	50	147	163	1500
Cromo	mg kg <sup>-1</sup>	1	43	16	41	65	1000
Mercúrio	mg kg <sup>-1</sup>	0,048	1,04	0,44	0,71	2,05	17
Molibdênio	mg kg <sup>-1</sup>	1	<1	<1	14	<1	50
Níquel	mg kg <sup>-1</sup>	1	35	16	25	27	420
Selênio	mg kg <sup>-1</sup>	1	<1	<1	<1	<1	100
Zinco	mg kg <sup>-1</sup>	1	986	556	469	428	2800
pH		0-14	11,9	12,8	11,2	11,8	

<sup>1</sup> LQ = Limite mínimo de quantificação

VMP: Concentração máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (base seca)

P/A = Por Amostra; MS = Massa Seca; NMP= Número Mais Provável; mg kg<sup>-1</sup> = miligrama por quilograma

- Análises não-realizadas

Fonte: SANEAGO, 2013.

Avaliando os parâmetros das Tabelas 2 e 3 comparados com a Resolução CONAMA 375/2006, constata-se que o lodo da ETE Goiânia, apesar de ter em sua unidade apenas o tratamento primário quimicamente assistido, acrescentando a cal com o objetivo de eliminar os patógenos, classifica-se em classe A.

Observa-se que na análise realizada em Outubro de 2012, o pH do material encontra-se neutro, assim pode-se afirmar que provavelmente a coleta foi realizada em pontos onde não se deu uma mistura homogênea da cal.

Na análise de Outubro de 2012, a concentração do metal Molibdênio estava acima dos padrões exigidos pela legislação. Como nas outras análises esse parâmetro foi detectado com teores baixos, provavelmente ocorreu um despejo na rede de algum resíduo ou substância que tenha alta concentração desse parâmetro, considerando que a ocorrência desta substância não é típica de esgotos sanitários.

Considerando os riscos da aplicação de lodo de esgoto contendo metais pesados no solo, Korentajer citado por Damasceno e Campos (2013) comenta que os riscos dos metais serem transportados na cadeia alimentar é mínimo quando o pH do solo é mantido a um valor superior a 6,5, podendo portanto ser um problema nos países de clima tropical onde os solos tendem a ser ácidos com pH normalmente abaixo de 6,0. Nesse aspecto, o lodo da ETE Goiânia apresenta um pH entre 7 e 14, o que contribui para a elevação do pH do solo no

momento da aplicação, minimizando os riscos de solubilização de metais potencialmente tóxicos evitando sua absorção pelas plantas e a lixiviação no solo.

Comparando as concentrações de metais pesados e agentes patogênicos no lodo da ETE-Goiânia com os limites de concentração máxima estabelecidos pela Resolução CONAMA 375/2006, observa-se que este lodo é considerado passível de utilização agrícola. É recomendado o monitoramento contínuo do lodo e da aplicação de cal para verificar tais limitações quanto ao uso agrícola do lodo.

Os resultados referentes ao monitoramento do solo em que o lodo foi aplicado estão apresentados nas Tabelas 4, 5 e 6.

**Tabela 4 - Resultado da análise do solo da Reserva Legal existente na área de disposição do lodo da ETE Goiânia ( Mar, Jun, Set, Dez/2013).**

Parâmetros	Unid.	Branca Ago/2011	mar/13	jun/13	set/2013	dez/13	LQ <sup>1</sup>	VMP CONAMA 420/2009 (mg/kg)
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	<1,8x10 <sup>4</sup>	-	<1,8x10 <sup>4</sup>	<1,8x10 <sup>4</sup>	1,6x10 <sup>3</sup>	-	-
Coliformes Totais	NMP/100 mL	1,6x10 <sup>8</sup>	-	-	-	-	-	-
Ovos de Helminthos	Ovos g <sup>-1</sup> de ST	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	-	-
Salmonela	P/A em 10 g de MS			1,8x10 <sup>4</sup>	<1,8	4,1x10	-	-
Arsênio	mg/kg	0,1	0,6	<LQ	0,1	0,2	0,1	35
Bário	mg/kg	<LQ	9,2	31,3	115,1	354	0,33	300
Cádmio	mg/kg	0,058	< 0,1	-	2,7	< 0,1	0,1	3
Chumbo	mg/kg	0,115	0,4	4,4	5,6	11,5	0,13	180
Cobre	mg/kg	0,224	1,9	7,4	8,8	11,4	0,2	200
Cromo	mg/kg	0,713	1,8	8,6	9,3	25	0,13	150
Mercúrio	mg/kg	0,065	1,1	<LQ	<LQ	<LQ	0,033	12
Molibdênio	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,25	50
Níquel	mg/kg	0,147	<LQ	4	1,1	6,4	0,13	70
Selênio	mg/kg	0,05	<LQ	-	<LQ	-	-	-
Zinco	mg/kg	0,4	7,3	20,2	6,6	18	0,4	450
pH		6,32	6,41	6,9	7,23	5,59	-	-

<sup>1</sup> LQ = Limite mínimo de quantificação

VMP: Concentração máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (base seca)

P/A = Por Amostra; MS = Massa Seca; NMP= Número Mais Provável; mg kg<sup>-1</sup> = miligrama por quilograma

- Análises não-realizadas

Fonte: SANEAGO, 2013.

O solo da Reserva Legal apresentou resultados em conformidade com os valores orientados para solos estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009, exceto o metal bário que está um pouco acima do valor máximo permitido no mês de dezembro de 2013. Este elemento é encontrado naturalmente no solo ou pode ser proveniente de atividades industriais (CETESB, 2012). Vale ressaltar que o lodo em estudo não apresenta valores de bário que ultrapassem os valores máximos permitidos pela resolução CONAMA 420/2009. LIMA (2012) avaliou o uso do lodo de esgoto como remediador de solos contaminados com bário e concluiu que a absorção de bário pelas plantas foi reduzida.

**Tabela 5 - Resultado da Análise do Solo da Área de Disposição do lodo da ETE Goiânia ( Mar, Jun, Set, Dez/2013).**

Parâmetros	Unid.	Branca Ago/2011	mar/13	jun/13	set/2013	dez/13	LQ <sup>1</sup>	CONAMA 420/2009 (mg/kg)
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	4,5x10 <sup>5</sup>	-	<1,8x10 <sup>4</sup>	7,2x10 <sup>2</sup>	<1,8x10 <sup>3</sup>	-	-
Coliformes Totais	NMP/100 mL	3,5x10 <sup>7</sup>	-	-	-	-	-	-
Ovos de Helmintos	Ovos g <sup>-1</sup> de ST	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	-	-
Salmonela	P/A em 10 g de MS	-	-	4,7x10 <sup>5</sup>	3,3x10 <sup>4</sup>	<1,8x10 <sup>3</sup>	-	-
Arsênio	mg/kg	0,105	1	0,8	<LQ	0,1	0,1	35
Bário	mg/kg	<LQ	6,5	28	102,1	181,8	0,33	300
Cádmio	mg/kg	0,095	<LQ	24,2	9	5,6	0,13	3
Chumbo	mg/kg	0,124	0,9	14,2	9,9	7,6	0,13	180
Cobre	mg/kg	0,258	3,6	25	20,8	9,8	0,2	200
Cromo	mg/kg	1,114	7,7	61,3	59,5	35,5	0,13	150
Mercúrio	mg/kg	0,003	1,2	1,1	<LQ	<LQ	0,033	12
Molibdênio	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,25	50
Níquel	mg/kg	0,204	0,8	11	7,2	4,4	0,13	70
Selênio	mg/kg	0,01	<LQ	-	-	-	-	-
Zinco	mg/kg	0,33	16,6	106,6	31,3	18,8	0,4	450
pH		5,41	7,5	7,1	7,85	6,09	-	-

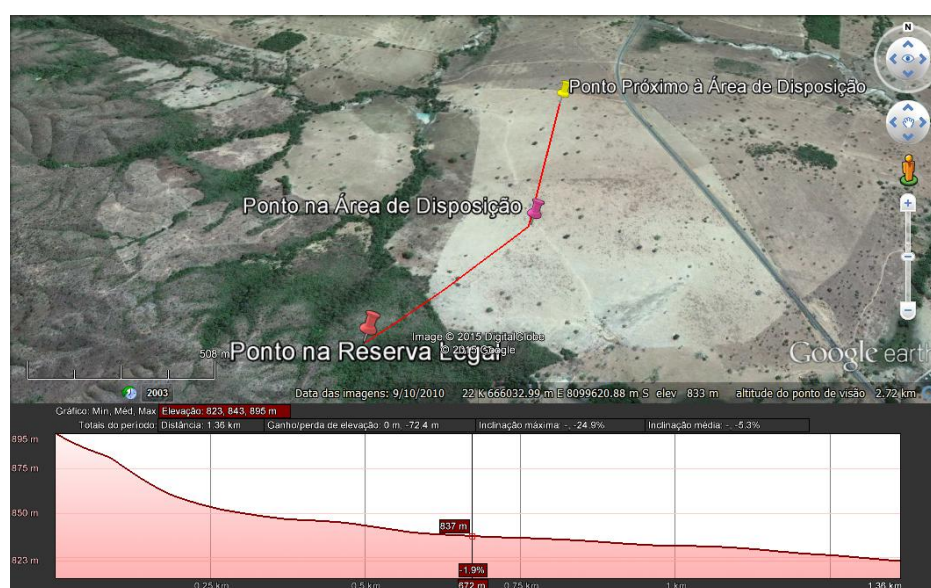
<sup>1</sup> LQ = Limite mínimo de quantificação

VMP: Concentração máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (base seca)

P/A = Por Amostra; MS = Massa Seca; NMP= Número Mais Provável; mg kg<sup>-1</sup> = miligrama por quilograma

- Análises não-realizadas

Fonte: SANEAGO, 2013.



**Figura 2 - Pontos de Amostragem com Perfil de Elevação do Terreno na Linha Traçada em Vermelho**



**Tabela 6 - Resultado da análise do solo em ponto próximo à área de disposição do lodo da ETE Goiânia (Mar, Jun, Set, Dez/2013).**

Parâmetros	Unid.	Branca Ago/2011	mar/13	jun/13	set/2013	dez/13	LQ <sup>1</sup>	CONAMA 420/2009 (mg/kg)
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	<1,8x10 <sup>1</sup>	-	<1,8x10 <sup>4</sup>	<1,8x10 <sup>4</sup>	<1,8x10 <sup>3</sup>	-	-
Coliformes Totais	NMP/100 mL	1,6x10 <sup>8</sup>	-	-	-	-	-	-
Ovos de Helmintos	Ovos g <sup>-1</sup> de ST	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	-	-
Salmonela	P/A em 10 g de MS	-	-	<1,8x10 <sup>4</sup>	<1,8x10 <sup>4</sup>	<1,8x10 <sup>3</sup>	-	-
Arsênio	mg/kg	0,015	1,1	0,7	0,3	0,3	0,1	35
Bário	mg/kg	1,29	15,5	50	90,6	134,7	0,33	300
Cádmio	mg/kg	0,1	<LQ	35	11,7	8,7	0,13	3
Chumbo	mg/kg	0,125	1,6	12,8	13	10,2	0,13	180
Cobre	mg/kg	0,2	5,2	27,1	21,4	19	0,2	200
Cromo	mg/kg	0,31	13,3	97,9	84,7	73,9	0,13	150
Mercurio	mg/kg	<LQ	1,8	1	0,1	<LQ	0,033	12
Molibdênio	mg/kg	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	0,25	50
Níquel	mg/kg	0,179	1,3	15,4	8	10,7	0,13	70
Selênio	mg/kg	<LQ	<LQ		<LQ	<LQ	-	-
Zinco	mg/kg	3,85	12,3	45,9	27,9	23	0,4	450
pH		6,07	6,14	7,51	3,13	6,13	-	-

<sup>1</sup> LQ = Limite mínimo de quantificação

VMP: Concentração máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (base seca)

P/A = Por Amostra; MS = Massa Seca; NMP= Número Mais Provável; mg kg<sup>-1</sup> = miligrama por quilograma

- Análises não-realizadas

Fonte: SANEAGO, 2013.

De acordo com a tabela 5, a concentração de agentes patógenos reduziu em todas as análises com relação à amostra branca retirada antes da aplicação do lodo no local. Portanto, pode-se considerar que o potencial contaminante por patógenos pela aplicação do lodo no solo é baixo.

Com relação ao solo presente na área onde o lodo foi aplicado, nota-se que somente o metal cádmio não atende os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009. Na agricultura, uma fonte direta de contaminação do solo pelo cádmio é a utilização de fertilizantes fosfatados e a captação desse metal pelas plantas ocorre quando o pH é baixo (ALBERTINI, 2007). O lodo de esgoto da ETE Goiânia apresenta pH básico, sendo assim o uso deste no solo é benéfico pois reduz a absorção de cádmio pelas plantas.

Fato interessante ainda pode ser mencionado quanto à topografia do terreno que apresenta inclinação da direção da Reserva Legal para a área de disposição do lodo como mostra a Figura 2. Com a utilização do Software Google Earth, traçou-se um encaminhamento e o programa calculou o perfil de elevação do terreno em que o Ponto na Reserva Legal encontra-se na cota 895 m, o ponto dentro da área de disposição do lodo encontra-se na cota 837 m e o ponto próximo à área de disposição encontra-se na cota 823 m.

Os resultados para a ponto situado nas adjacências da área de disposição do lodo foram relativamente próximos em comparação aos obtidos para o solo situado dentro da área de disposição do lodo e sendo que somente o parâmetro cádmio não está atendendo às determinações do Ministério do Meio Ambiente. Há que se avaliar ainda que em junho foi o mês com maior teor de cádmio no solo e que o lodo apresentou índice de cádmio menor que 0,1 mg/kg comprovando que o não atendimento à resolução está estritamente relacionada às atividades que têm sido ou foram desenvolvidas na região.

## CONCLUSÕES

Após avaliação da qualidade do lodo da ETE Goiânia quanto aos parâmetros de concentrações de metais pesados e agentes patogênicos como fatores limitantes e exigidos na Resolução CONAMA 375/2006, conclui-se que o lodo atende aos parâmetros estabelecidos, portanto é passível de utilização agrícola, contribuindo para o enriquecimento da fertilidade do solo e colaborando com a destinação correta dos resíduos sólidos de ETE. Entretanto, a aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas é uma prática que requer fiscalização rigorosa dos órgãos ambientais.

Com relação à análise do solo, pode-se afirmar que os solos provenientes da aplicação do lodo das ETE's não causam impactos que possam apresentar riscos à saúde da população. As atividades agrícolas desenvolvidas em diversas localidades do Brasil e de Goiás devem ser controladas com relação ao uso de produtos à base, principalmente de cádmio pois estas proporcionaram o aparecimento desse metal pesado nas amostras analisadas. A maior evidência disto é o fato do lodo apresentar teores de cádmio bem abaixo dos teores presentes no solo após a aplicação do resíduo da ETE Goiânia. O risco de contaminação por patógenos pelo lodo aplicado no solo é baixo e mostra a capacidade que a aplicação da cal desempenha na eliminação de agentes patogênicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALBERTINI, S.; CARMO, L. F. do; PRADO FILHO, L. G. do. Utilização de serragem e bagaço de cana-de-açúcar para adsorção de cádmio. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, v. 27, n. 1, p. 113-118, 2007.
2. BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. A disposição de Lodo de Esgoto em Solo Agrícola. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura. Embrapa meio ambiente. Jaguariúna, p.25-35, 2006.
3. CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Fixa de informação toxicológica. 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/bario.pdf>>. Acesso em 01 de maio de 2015.
4. CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO nº 375 de 29 de agosto de 2006. Critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=514>> Acesso em: 20 de maio de 2013.
5. CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. RESOLUÇÃO nº 420 de 30 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf>> Acesso em: 20 de abril de 2015.
6. DAMASCENO, S.; CAMPOS, J. R. Caracterização de lodo de estação de tratamento de esgotos sanitários para uso agrícola. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/peru/bratar035.pdf>> Acesso em 10 de outubro de 2013.
7. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)> Acesso em 15 de fevereiro de 2015.
8. LIMA, ANA LÚCIA DE. Amenizantes em solo contaminado com bário. 2012. xii, 97 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012.
9. MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Programa Nacional de capacitação de gestores ambientais: Módulo específico licenciamento ambiental de estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários / Ministério do Meio Ambiente. – Brasília: MMA, 2009. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/dai\\_pnc/\\_publicacao/76\\_publicacao19042011110356.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/dai_pnc/_publicacao/76_publicacao19042011110356.pdf) Acesso em: 20 de março de 2015.
10. SANEAMENTO DE GOIÁS – SANEAGO. Boletins de Análises da Torta da Estação de Tratamento de Esgotos Dr. Hélio Seixo de Brito. Goiânia: SANEAGO, 2013.
11. SANTOS, H. M.; ARRUDA, A. F.; TAVARES, M. G. O.; MOREIRA, R. C. Caracterização de lodo e efluente de ETE e água de rio a partir de avaliação química e ecotoxicológica. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/mestrado/trabalhos-mestrado/mestrado-hugo-melo.pdf>> Acesso em 02 de junho de 2013.