

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

ANA CAROLINA AMARAL PEREIRA

EFEITOS DA DISPOSIÇÃO DE LODO DE ETE DE INDÚSTRIA
ALIMENTÍCIA NO SOLO: ESTUDO DE CASO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia

Rio Claro – SP

2015

604.6 Pereira, Ana Carolina Amaral
P436e Efeitos da disposição de lodo de ETE de indústria
 alimentícia no solo: estudo de caso / Ana Carolina Amaral
 Pereira. - Rio Claro, 2015
 75 f. : il., figs., tabs.

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
 Instituto de Geociências e Ciências Exatas
 Orientador: Marcelo Loureiro Garcia

 1. Resíduos. 2. Solo. 3. Água subterrânea. 4. Lodo. I.
 Título.

ANA CAROLINA AMARAL PEREIRA

EFEITOS DA DISPOSIÇÃO DE LODO DE ETE DE INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA NO SOLO: ESTUDO DE CASO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Marcelo Loureiro Garcia
Orientador
IGCE / UNESP / Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Guilherme Peixoto
FCFAR / UNESP / Araraquara (SP)

Prof. Dr. Dagoberto Yukio Okada
FT / UNICAMP / Campinas (SP)

Resultado: Aprovado.

Rio Claro, SP, 04 de setembro de 2015.

RESUMO

O lodo proveniente de estações de tratamento de efluentes geralmente é rico em nutrientes e possui alto teor de matéria orgânica, por isso pode desempenhar importante papel no condicionamento do solo e na produção agrícola. Porém, visto que o lodo pode conter poluentes e agentes patogênicos, é importante que sua utilização no solo seja feita de maneira controlada e segura. O presente trabalho objetivou analisar os efeitos da aplicação de lodo de estação de tratamento de efluentes em uma área de Latossolo cultivado com eucalipto no solo e na água subterrânea, assim como avaliar a compatibilidade do lodo com a disposição no solo. Os resultados indicam que o lodo utilizado apresenta características adequadas à aplicação no solo de acordo com a Resolução CONAMA nº 375/2006, desde que passe por processo de redução de patógenos. Todos os parâmetros analisados na água subterrânea e no solo estiveram de acordo com o padrão de qualidade determinado na Resolução CONAMA nº 420/2009, sendo que não houve diferença entre as áreas receptoras de lodo e testemunha quanto às substâncias orgânicas potencialmente tóxicas. Foi verificada uma tendência de pequeno aumento da concentração dos constituintes inorgânicos (Al, Ba, B, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn), o que não foi confirmado estatisticamente. A aplicação de lodo contribuiu para o aumento da fertilidade do solo das glebas receptoras, indicado pelo aumento da saturação por bases, soma de bases, Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e matéria orgânica, além da redução do alumínio trocável e da saturação por alumínio.

Palavras-chave: Disposição de lodo no solo. Lodo de ETE. Água subterrânea. Solo.

ABSTRACT

Sludge from wastewater treatment plants usually contains high levels of organic matter and nutrients, and therefore it can be used as fertilizer and soil conditioner. However, its disposal on the soil has to be properly managed because it can contain contaminants and pathogens. The aim of this work was to study the effects of food industry sludge disposal on the soil and groundwater, as well as to assess the sludge application viability. The results show that the sludge characteristics are adequate for its application on latosol according to brazilian federal regulation (Resolução CONAMA nº 375/2006), but it must be treated prior to the land disposal to reduce the pathogens levels. All soil and groundwater parameters met the constituents' quality standards settled by brazilian federal regulation (Resolução CONAMA nº 420/2009), and there was no statistically significant difference for toxic organic substances between the amended and unamended soil treatments. There was a small concentration increase of inorganic compounds (Al, Ba, B, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn) in the soil area with sludge, but it was not statistically confirmed. Soil fertility, sum of bases, cation exchange capacity, and organic matter values increased with sludge application, and exchangeable Al and Al saturation values decreased.

Keywords: Sludge application on soil. Wastewater sludge. Groundwater. Soil.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS	8
2.1	Objetivo geral.....	8
2.2	Objetivos específicos.....	8
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1	Tratamento de efluentes.....	9
3.2	Lodo de ETE	10
3.3	Aplicação de lodo no solo	12
3.3.1	Legislação	12
3.3.2	Taxa de aplicação	14
3.3.3	Efeitos da aplicação de lodo	15
4	METODOLOGIA E ÁREA DE ESTUDO	20
4.1	Área de estudo	20
4.2	Estação de tratamento de efluentes.....	20
4.3	Tratamento e destinação do lodo	23
4.4	Coleta e análise do lodo	24
4.5	Coleta e análise do solo	24
4.6	Coleta e análise da água subterrânea	25
4.7	Análise dos dados.....	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1	Características do lodo.....	27
5.1.1	Constituintes inorgânicos.....	27
5.1.2	Macro e micronutrientes, pH e umidade.....	29
5.1.3	Indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos	30
5.1.4	Estabilidade.....	31
5.1.5	Substâncias orgânicas	31
5.2	Características da água subterrânea	36
5.2.1	Constituintes inorgânicos.....	36
5.2.2	Indicadores bacteriológicos	38
5.2.3	Substâncias orgânicas	39
5.3	Características do solo	42

5.3.1	Fertilidade	42
5.3.2	Constituintes inorgânicos.....	51
5.3.3	Substâncias orgânicas	55
6	CONCLUSÕES	56
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICES	64
	APÊNDICE A – Resultados de substâncias orgânicas potencialmente tóxicas no solo...	65
	ANEXOS	73
	ANEXO A – Valores orientadores da qualidade do solo, de acordo com a Resolução CONAMA nº 420/2009	74

1 INTRODUÇÃO

Uma das principais fontes de poluição dos rios no Brasil é o despejo de efluentes industriais e domésticos sem o tratamento prévio adequado. As estações de tratamento de efluentes (ETEs) tem por objetivo a remoção dos poluentes, nutrientes e matéria orgânica presentes nas águas residuárias antes que retornem ao meio ambiente por meio de despejo nos corpos d'água receptores.

Além do efluente tratado, as ETEs geram como subproduto um resíduo de natureza predominantemente orgânica denominado lodo. O lodo produzido em uma ETE corresponde a cerca de 1 a 2% do volume do efluente tratado, entretanto o tratamento e a disposição final deste resíduo representam de 30 a 50% do custo operacional da estação (SANEPAR, 1999). Para que um sistema de tratamento alcance plenamente seus objetivos, além de sua correta operação em termos de eficiência de remoção de poluentes e de carga orgânica, é fundamental que o lodo gerado seja corretamente disposto.

Há diferentes maneiras de destinação deste subproduto, entre elas destacam-se a aplicação no solo, envio a aterros sanitários e incineração. O lodo biológico é rico em nutrientes e possui alto teor de matéria orgânica, por isso sua aplicação como fertilizante para incrementar a qualidade física e química do solo é altamente recomendada. Além disso, do ponto de vista ambiental, a aplicação do lodo no solo diminui a necessidade de utilização de adubos químicos, evita a sobrecarga dos aterros sanitários e também diminui a emissão de CO₂ por incineração.

As características do lodo gerado em ETEs são muito variáveis pois dependem diretamente da origem do efluente bruto e do tipo do tratamento a que é submetido. O lodo de esgoto sanitário tende a apresentar alta concentração de patógenos, e pode conter também contaminantes químicos. Por outro lado, as características de lodos de ETEs industriais dependem do tipo de processo produtivo e insumos utilizados, sendo também fontes potenciais de contaminação.

A despeito dos benefícios que a aplicação de lodo no solo pode apresentar, este resíduo, independentemente de sua origem, pode conter poluentes e agentes patogênicos. Por isso, sua utilização no solo deve ser feita de maneira controlada de forma a evitar a degradação ambiental.

É neste contexto que se apresenta a necessidade da avaliação dos efeitos que esta prática pode causar no ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos no solo e na água subterrânea da aplicação de lodo de estação de tratamento de efluentes de uma indústria alimentícia com contribuição de efluente sanitário no solo.

2.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar as características químicas e microbiológicas do lodo quanto à compatibilidade deste resíduo para disposição no solo.
- b) Avaliar as características do solo e da água subterrânea da área de aplicação de lodo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Tratamento de efluentes

O tratamento de efluentes consiste na remoção de poluentes das águas residuárias domésticas ou industriais, sendo que o método a ser utilizado dependerá das características físicas, químicas e biológicas do efluente bruto, assim como do destino final do efluente tratado.

O tratamento de efluentes pode ser dividido nos níveis preliminar, primário, secundário e terciário. O tratamento preliminar é a etapa inicial do processo e visa a remoção dos sólidos em suspensão grosseiros, materiais de maiores dimensões e areia, por meio de gradeamento e desarenadores. O tratamento primário objetiva a remoção de sólidos em suspensão sedimentáveis e parte da matéria orgânica, associada a estes sólidos. Os principais sistemas de tratamento de esgoto no nível secundário são: lagoas de estabilização, disposição no solo, sistemas anaeróbios, lodos ativados e reatores anaeróbios com biofilmes. Já o tratamento terciário, que é utilizado eventualmente, visa a remoção de poluentes específicos ou remoção complementar de poluentes não removidos satisfatoriamente no tratamento secundário (SPERLING, 2005).

No tratamento secundário o mecanismo predominante é o biológico, e o objetivo é a remoção de matéria orgânica e eventualmente nitrogênio e fósforo. Neste tipo de tratamento, os microrganismos utilizam a matéria orgânica do efluente como alimento, transformando em gás carbônico, água e material celular (devido ao crescimento e reprodução dos microrganismos), e metano, quando são considerados os tratamentos anaeróbios (SPERLING, 2005).

A maior parte dos microrganismos envolvidos no tratamento biológico são bactérias, mas também encontram-se vírus, protozoários, rotíferos e ciliados. As bactérias utilizam a matéria orgânica como fonte de material, transformando-a em massa celular no processo de anabolismo ou assimilação; e como fonte de energia, no processo de catabolismo ou dissimilação, no qual a energia é liberada na transformação de material orgânico em produtos estabilizados (VAN HAANDEL; ALEM SOBRINHO, 2006).

O catabolismo pode ocorrer pelo processo oxidativo ou fermentativo. No processo oxidativo o aceptor de elétrons (geralmente oxigênio) do material orgânico está presente no sistema de tratamento, de forma extracelular, gerando como produto compostos inorgânicos estáveis, sendo o dióxido de carbono e a água os mais importantes. Já no catabolismo

fermentativo, o composto catabolizado se decompõe em duas partes. A digestão anaeróbia é o processo de maior interesse para a área de tratamento de esgoto, e gera como produtos finais o metano e o dióxido de carbono (VAN HAANDEL; ALEM SOBRINHO, 2006).

Os subprodutos sólidos gerados no tratamento de esgotos, de maneira geral, são: material gradeado, areia, espuma, lodo primário, lodo secundário e lodo químico (caso haja etapa físico-química) (SPERLING; GONÇALVES, 2001).

3.2 Lodo de ETE

Os sólidos removidos por sedimentação nos sedimentadores primários recebem a denominação de lodo primário. Este resíduo não estabilizado geralmente apresenta alto teor de matéria orgânica e potencial de geração de odores.

O lodo biológico secundário compreende a biomassa de microrganismos gerada devido à remoção da matéria orgânica dos esgotos. Pode ser classificado em (1) lodo biológico aeróbio não estabilizado, que é gerado em sistemas de tratamento com lodos ativados convencional ou reatores aeróbios de alta carga, nos quais o tempo de retenção dos sólidos no sistema é baixo e há muita disponibilidade de matéria orgânica; (2) lodo biológico estabilizado, gerado em sistemas de lodos ativados com aeração prolongada e reatores aeróbios de baixa carga, nos quais a biomassa fica retida por mais tempo no sistema com menor disponibilidade de alimento, predominando a respiração endógena. Os microrganismos utilizam as próprias reservas de matéria orgânica do protoplasma celular, o que resulta em um lodo com maior teor relativo de sólidos inorgânicos e menor teor de matéria orgânica. (3) Lodo biológico anaeróbio estabilizado, proveniente de lagoas de estabilização e reatores anaeróbios, onde a biomassa fica retida um longo período de tempo. Este tipo de lodo contém além da biomassa microbiana, sólidos do esgoto sedimentados e algas mortas (SPERLING; GONÇALVES, 2001).

O lodo poderá sofrer diferentes tipos de tratamento, dependendo da necessidade, de acordo com sua destinação final. No adensamento a quantidade de água no resíduo é reduzida através de meios físicos, sendo os mais utilizados gravidade, flotação, centrífuga, adensador de esteira ou tambor rotativo (MIKI; ALEM SOBRINHO; VAN HAANDEL, 2006) e secagem natural, por meio de leitos de secagem (PEDROZA et al., 2006).

Já a estabilização do lodo tem como objetivos a redução da quantidade de patógenos, a eliminação de odores e a inibição, redução ou eliminação do potencial de putrefação. Os métodos mais utilizados para tais finalidades são estabilização por cal, digestão anaeróbia

(processo mais comum em estações de porte médio a grande), digestão aeróbia e compostagem (MIKI; ALEM SOBRINHO; VAN HAANDEL, 2006).

As características do lodo gerado em ETEs são muito variáveis pois dependem diretamente das características do efluente bruto, que por sua vez estão relacionadas à sua origem, e do tipo do tratamento a que é submetido. As ETEs podem receber apenas esgotos sanitários, apenas efluentes industriais ou ambos, em proporções variáveis.

De uma forma geral, o lodo gerado por efluentes domésticos tende a ter menos metais pesados, porém maior concentração de patógenos, sendo que o tipo e quantidade dos agentes microbiológicos depende da saúde da população atendida pela rede coletora. Já os contaminantes químicos detectados no lodo estão relacionados geralmente à contribuição dos efluentes industriais. Os metais provêm principalmente de galvanoplastia, curtumes, indústrias farmacêuticas e de formulação de compostos orgânicos, fundições, lavanderias, indústrias de petróleo, de corantes e pigmentos (SILVA et al., 2001).

Apesar desta generalização ser coerente, a qualidade dos lodos é muito variável, e deve ser estudada caso a caso. Lodos de esgoto sanitário podem ter cargas altas de contaminantes químicos provenientes de produtos domésticos de limpeza, cosméticos, higiene pessoal e remédios (SMITH, 2009; SAITO, 2007).

Da mesma forma, as características de lodos de ETE industriais dependem do tipo de processo produtivo e insumos utilizados. As ETEs de indústrias alimentícias, por exemplo, podem gerar lodos com baixa concentração de poluentes químicos por utilizarem insumos com baixos teores destes contaminantes. Asik e colaboradores (2015) verificaram maiores concentrações de zinco, chumbo e níquel totais em lodo de efluente sanitário municipal do que de duas indústrias alimentícias (fabricação de fermento e comida enlatada) e de um distrito industrial. Já em lodos de abatedouros, mesmo sem a contribuição de esgoto sanitário, são verificados altos níveis de contaminantes microbiológicos (MÉNDEZ-CONTRERAS et al., 2009).

Além disso, vários fatores influenciam o destino dos poluentes presentes no efluente nos processos de tratamento, sendo os mecanismos de remoção pouco uniformes entre os grupos de compostos. Normalmente, em um tratamento biológico aeróbio concentram-se no lodo os grupos metais, bifenilas policloradas e pesticidas (SILVA et al., 2001).

A qualidade do esgoto, a tecnologia de tratamento, sua escala de produção, a legislação ambiental vigente, os solos e agricultura regional, os impactos ambientais e os custos são alguns

fatores que podem influenciar na determinação do destino final do lodo (FERNANDES et al., 2001).

Dependendo das características do lodo, este resíduo pode ser reciclado na agricultura, utilizado na recuperação de áreas degradadas, utilizado para a produção de substratos, disposto em aterros, em “landfarming”, no oceano ou ser incinerado (LARA; ANDREOLI; PEGORINI, 2001).

3.3 Aplicação de lodo no solo

Tanto os impactos ambientais quanto a resposta agrônômica da aplicação de lodo no solo dependerão principalmente da composição do lodo e do tipo de solo.

Os Estados Unidos, Canadá e alguns países da União Europeia, por exemplo, já realizam a aplicação de lodo no solo há mais de vinte anos, já no Brasil esta prática é mais recente (SAITO, 2007). Alguns países, como a Alemanha, já utilizam em escala operacional a destinação de grande parte do lodo gerado para plantações florestais (LIRA; GUEDES; SCHALCH, 2008).

3.3.1 Legislação

A definição do termo “Resíduos Sólidos”, de acordo com a Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, a qual instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos é a seguinte:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Desta forma, o lodo gerado em estações de tratamento de efluentes industriais e/ou sanitários, mesmo com altos teores de umidade, pode ser considerado um resíduo sólido e é, portanto, regido por esta lei.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos é baseada nos princípios de desenvolvimento sustentável e ecoeficiência, apresentando entre seus objetivos a proteção da qualidade ambiental, a reutilização, reciclagem e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos,

e o incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para o reaproveitamento dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Especificamente em relação a lodos, a Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006 (cujo Anexo I foi alterado pela Resolução CONAMA nº 380, de 31 de outubro de 2006), define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Esta resolução também norteia a prática de aplicação de lodo de estações de tratamento de efluentes industriais com contribuição de esgoto sanitário.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 375/2006, para a realização da prática de aplicação de lodo no solo é necessário, entre outros itens, um projeto agrônômico e o licenciamento ambiental. É necessário também o atendimento a requisitos mínimos de qualidade do lodo (Tabela 1), a qual deve ser monitorada periodicamente, e à taxa de aplicação máxima, que deve ser calculada com base na recomendação de adubação nitrogenada para a cultura. O monitoramento ambiental do solo da área de aplicação também deve ser realizado periodicamente, de forma a incluir parâmetros de fertilidade, sódio trocável, condutividade elétrica, constituintes inorgânicos e substâncias orgânicas em casos específicos.

Tabela 1 - Limites máximos definidos na Resolução CONAMA nº 375/2006 para constituintes inorgânicos e agentes patogênicos presentes no lodo de esgoto a ser aplicado no solo.

Parâmetro	Unidade	Concentração máxima permitida
Arsênio	mg.kg ⁻¹	41
Bário	mg.kg ⁻¹	1300
Cádmio	mg.kg ⁻¹	39
Chumbo	mg.kg ⁻¹	300
Cobre	mg.kg ⁻¹	1500
Cromo	mg.kg ⁻¹	1000
Mercúrio	mg.kg ⁻¹	17
Molibdênio	mg.kg ⁻¹	50
Níquel	mg.kg ⁻¹	420
Selênio	mg.kg ⁻¹	100
Zinco	mg.kg ⁻¹	2800
Coliformes termotolerantes	NMP / g de ST	1000
Ovos viáveis de helmintos	Ovo / g de ST	0,25
<i>Salmonella</i> sp.	P/A em 10 g de ST	Ausência
Vírus	UFP ou UFF / g de ST	0,25

Fonte: BRASIL, 2006a.

Os valores orientadores de qualidade do solo e água subterrânea, válidos para todo o Brasil, quanto à presença de substâncias químicas são definidos na Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009b). Esses valores são concentrações de substâncias químicas que podem ser utilizados como indicadores de qualidade e de alterações do solo e água subterrânea.

Desta maneira, a avaliação da qualidade do solo e da água subterrânea deve ser efetuada com base nestes valores orientadores determinados na citada resolução, nomeadamente, os valores de Referência de Qualidade (VRQ), de Prevenção (VP) e de Investigação (VI).

O Valor de Referência de Qualidade (VRQ) refere-se a concentrações encontradas naturalmente no solo. Uma vez que as características do solo variam de acordo com o local, estes valores devem ser determinados por legislação estadual. Os estados de São Paulo e Minas Gerais, por exemplo, já possuem legislação e VRQs próprios, mas o estado de Goiás ainda não.

O Valor de Prevenção (VP) é a concentração limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais, tais como: servir como meio básico para sustentação da vida, como habitat para pessoas e animais e como meio de produção de alimentos.

Já o Valor de Investigação (VI) é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado. O VI varia de acordo com o uso do solo e pode ser agrícola, residencial ou industrial.

3.3.2 Taxa de aplicação

A taxa de aplicação de lodo é a quantidade do resíduo, em toneladas de base seca aplicada no solo por hectare de área (BRASIL, 2006a).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006a), a taxa de aplicação máxima anual de lodo de esgoto ou produto derivado deverá (1) observar a recomendação de adubação nitrogenada para a cultura, (2) garantir que o pH final da mistura solo-lodo não ultrapasse 7,0, e (3) respeitar o limite máximo de carga total acumulada teórica de constituintes inorgânicos no solo.

Quanto ao nitrogênio, a taxa de aplicação anual de lodo no solo não poderá ser maior do que o quociente entre a recomendação para adubação nitrogenada oficial do estado e o teor de nitrogênio disponível no lodo (Equação 1).

$$\text{Taxa de aplicação máxima anual (t.ha}^{-1}\text{)} = \frac{N \text{ recomendado para a cultura (kg.ha}^{-1}\text{)}}{N \text{ disponível no lodo (kg.t}^{-1}\text{)}} \quad (1)$$

Esta exigência se justifica uma vez que os lodos de esgoto são ricos em nitrogênio o qual, se aplicado em quantidades maiores do que a capacidade de absorção da cultura, apresenta potencial poluente das águas subterrâneas devido à lixiviação do excesso deste nutriente (BOEIRA, 2009; DYNIA; BOEIRA; SOUZA, 2006).

Quanto à carga acumulada teórica de constituintes inorgânicos, o limite permitido é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Cargas acumuladas teóricas permitidas de constituintes inorgânicos pela aplicação de lodo de esgoto em solos agrícolas.

Parâmetro	Carga teórica permitida pela aplicação de lodo de esgoto (kg.ha ⁻¹)
Arsênio	30
Bário	265
Cádmio	4
Chumbo	41
Cobre	137
Cromo	154
Mercúrio	1,2
Molibdênio	13
Níquel	74
Selênio	13
Zinco	445

Fonte: BRASIL, 2006a.

3.3.3 Efeitos da aplicação de lodo

O lodo de esgoto pode ser utilizado no solo como forma de adubação. A taxa de aplicação de 10 t.ha⁻¹ de lodo de ETE municipal (sanitário e industrial) complementado com potássio e fósforo no plantio de *Eucalyptus grandis* mostrou-se suficiente para que os indivíduos produzissem a mesma quantidade de matéria seca epígea que os eucaliptos do tratamento com adubação mineral (LIRA; GUEDES; SCHALCH, 2008). Silva et al. (2008) trabalhando com o mesmo tipo de lodo condicionado com polímeros e complementado com potássio e boro também obtiveram resultados semelhantes em relação ao volume de madeira entre o tratamento com lodo e a adubação mineral em plantio de eucaliptos. Foi verificado no

experimento que a dose mais adequada estaria entre 5 e 10 t.ha⁻¹ e que os resultados dos tratamentos com lodo seco e úmido não apresentaram diferença.

A aplicação do lodo de efluente sanitário e industrial pode não alterar os teores de nitrogênio no solo, mas pode apresentar efeito sobre a fitodisponibilidade deste elemento, indicada pelo aumento linear de nitrogênio nas folhas de eucalipto com o aumento da dose de biossólido aplicada (ANDRADE; MATTIAZZO, 2000).

Em solo franco-arenoso degradado (resíduo de mineração) as plantas de azevém e tomate apresentaram aumento da produção de biomassa quando tratados com lodo de esgoto municipal estabilizado caleado na dose de 2% (peso/peso) em relação à testemunha. A dose de 10% (peso/peso) causou inibição do crescimento e aumento da mortalidade de plantas de tomate possivelmente devido ao aumento da condutividade elétrica do solo acima dos valores favoráveis e devido à toxicidade dos metais presentes no lodo e no solo (MINGORANCE et al., 2014).

Já Nascimento et al. (2004) verificaram que a produção de matéria seca do milho e do feijoeiro com a aplicação de lodo de efluente municipal (doses de 0 a 60 t.ha⁻¹) foi menor do que com adubação mineral, apesar de ser maior que a testemunha, em Argissolo vermelho-amarelo distrófico textura média e Espodossolo Cárbico hidromórfico textura arenosa.

Aumento na produtividade e redução do tempo de colheita de chuchu (*Sechium edule*) foram verificados com a aplicação de 7,3 ton.ha⁻¹ (peso seco) de lodo de uma indústria alimentícia (abatedouro de aves) após higienização com adição de CaO (MÉNDEZ-CONTRERAS et al., 2009).

A eficácia da utilização do lodo de esgoto de efluentes sanitários e industriais no desenvolvimento de espécies nativas brasileiras foi verificada por Paiva et al. (2009). Segundo os autores, o lodo seco termicamente complementado com potássio na dose 20 g.dm⁻³ apresentou resultados semelhantes à adubação mineral quanto à altura e produção de biomassa de mudas de espécies de início de sucessão em ecossistemas florestais aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia* Raddi), pau-de-viola (*Cytarexylum myrianthum* Cham) e unha de vaca (*Bauhinia forficata* Link).

A aplicação de lodo pode melhorar a qualidade do solo. Nascimento et al. (2004) verificaram aumento dos teores de matéria orgânica (chegando a 62%), nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio, potássio e Capacidade de Troca Catiônica (CTC) em Argissolo vermelho-amarelo distrófico textura média e Espodossolo Cárbico hidromórfico textura arenosa tratados com diferentes doses de lodo de esgoto municipal não caleado. Mingorance et al. (2014)

verificaram aumento da condutividade elétrica, do carbono orgânico total e da média geométrica das enzimas que indicam maior atividade microbiana em solo franco-arenoso originário de mineração (solo degradado) tratado com lodo de esgoto municipal estabilizado e caleado nas quantidades 2%, 5% e 10% (peso/peso). Aumento do fósforo disponível e da condutividade elétrica foi detectado em solos que receberam lodos de efluentes de indústrias alimentícias (comida enlatada e fermento de pão), de esgoto sanitário municipal e de mistura de efluentes sanitários e industriais (ASIK et al., 2015). A aplicação de lodo de efluente gerado em fábrica de pipoca também gerou aumento de fósforo disponível e condutividade elétrica no solo, além de matéria orgânica, nitrogênio, sódio, potássio e magnésio (UNAL; KATKAT, 2009).

Munhoz e Berton (2006) verificaram que a absorção do fósforo por cultura de milho é menor quando a fonte utilizada é o lodo de esgoto em comparação com a adubação mineral, tendo encontrado valores médios de 34% de eficiência (64% para lodo de efluentes sanitários e 16% para sanitários e industriais tratados em conjunto). Foi verificado também que a aplicação de lodo além de causar a diminuição da adsorção do fósforo e de sua energia de ligação no solo, gerou uma redistribuição do fósforo no solo, com aumento das frações mais lábeis em detrimento da fração residual. Desta forma, apesar da eficiência do lodo ser menor do que da adubação mineral em relação ao fósforo, nem sempre esta diferença se manifesta na produtividade da cultura.

Os efeitos da aplicação de lodo na melhoria da qualidade do solo podem ser observados também a médio e longo prazo. Após 5 anos da aplicação de 120 t.ha⁻¹ de lodo de esgoto no solo, Nicolás et al. (2014) verificaram maiores teores de carbono orgânico, nitrogênio, massa microbiana e densidade da cobertura vegetal em relação às parcelas de controle. Harrison et al. (1994) verificaram, mesmo após 15 anos da aplicação de 500 t.ha⁻¹ de lodo de esgoto de ETE municipal em um solo de textura grossa, que o solo tratado com lodo apresentava maiores teores de carbono, nitrogênio, fósforo, cálcio, além de maior CTC, maior relação C/N e menor pH do que o solo das parcelas testemunha.

A aplicação de lodo também melhora as características físicas do solo, aumentando a retenção de água em solos arenosos e melhorando a permeabilidade em solos argilosos, tal como outras fontes de matéria orgânica (BETTIOL; CAMARGO, 2006). Filizola et al. (2006) verificaram a redução da argila dispersa em água em Latossolo tratado com lodo de efluentes sanitários e mistos (industriais e sanitários), o que sugere melhoria na qualidade do solo. Além disso, Nicolás et al. (2014) verificaram que o Calcisol Háplico que recebeu 120 t.ha⁻¹ de lodo

apresentou melhora da agregação das partículas do solo, aumentando a fração de macroagregados (2000–8000 μm) em relação ao solo de controle.

Apesar dos benefícios já conhecidos que a aplicação do lodo pode proporcionar, este resíduo pode conter substâncias danosas ao meio ambiente e ao homem. Alguns componentes indesejáveis dos efluentes podem se concentrar no lodo, tais como metais pesados, poluentes orgânicos e microrganismos patogênicos, sendo que as características do lodo dependerão diretamente das características do efluente (SILVA et al., 2001).

Silva et al. (2006) verificaram que a prática da aplicação de lodo em cultivo de milho pode apresentar potencial de acúmulo de metais pesados no solo e nas plantas. Foi verificada uma tendência de aumento nos teores de cobre, manganês e zinco nas folhas e de manganês níquel e zinco nos grãos de milho. Incrementos nos teores totais de cobre, zinco e níquel foram verificados de forma mais pronunciada no solo que recebeu lodo de efluente sanitário mais industrial em relação ao que recebeu lodo de efluente apenas sanitário. O aumento dos teores dos metais foi proporcional às doses aplicadas de lodo, que corresponderam a 1, 2, 4, e 8 vezes a recomendação de adubação nitrogenada para a cultura do milho. Segundo Nascimento et al. (2004) que estudou absorção de metais pesados por milho e feijoeiro adubados com lodo de esgoto, a textura do solo é fator importante na disponibilidade dos metais para absorção pelas plantas, tendo observado maior absorção no Espodossolo Cárbico hidromórfico textura arenosa do que no Argissolo vermelho-amarelo distrófico textura média.

Aumento no teor disponível de manganês, cobre, zinco, cromo e níquel foi verificado em solos que receberam aplicação de lodos de efluentes de indústrias alimentícias (comida enlatada e fermento de pão), de esgoto sanitário municipal e de mistura de efluentes sanitários e industriais provenientes de um distrito industrial. O aumento mais pronunciado foi detectado no solo que recebeu o lodo de esgoto sanitário municipal, sendo reflexo da concentração maior destes metais neste lodo (ASIK et al., 2015).

Também em plantação de milho, foi verificado que a aplicação de doses excessivas de lodo pode representar risco de contaminação nas águas subterrâneas devido à lixiviação do nitrato. Quanto maior a dose de lodo, maiores quantidades de nitrato são lixiviadas. Foi verificado que até 24% do nitrogênio aplicado via lodo haviam sido lixiviados para a camada 0,6-2,2 cm após três safras (taxa de aplicação de lodo 8 vezes maior que a recomendação nitrogenada para a cultura). Uma vez que o nitrato nesta profundidade está praticamente inalcançável para as raízes das culturas anuais, ele pode continuar a se mover no perfil do solo

e, com o passar do tempo, atingir camadas mais profundas e o lençol freático (DYNIA; BOEIRA; SOUZA, 2006).

Efeito semelhante foi observado por Harrison (1994), que verificou a nitrificação e lixiviação de parte do nitrato aplicado, após 15 anos, por meio de lodo de esgoto municipal em solo de textura grossa com plantio de Álamo-negro (*Populus nigra*), Abeto-de-Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) e Pinheiro ponderosa (*Pinus ponderosa*) para fora do perfil do solo estudado (150 cm). A taxa de aplicação utilizada foi 500 t.ha⁻¹.

Deve ser observado ainda o efeito residual de compostos nitrogenados cuja mineralização torna-se mais lenta, mas permanece contínua no solo que recebeu aplicação de lodo. Este efeito residual deve ser levado em consideração para a determinação da dose ideal de aplicações de lodo sucessivas em uma mesma área, para que seja reduzido o risco de lixiviação excessiva do nitrato (BOEIRA; MAXIMILIANO, 2006).

Elementos potencialmente tóxicos como cádmio, chumbo, cobre, ferro, manganês, molibdênio, níquel e zinco, assim como patógenos humanos e compostos orgânicos persistentes podem estar presentes no lodo em concentrações prejudiciais. A aplicação de teores de nitrogênio acima da capacidade de absorção da cultura é danosa ao meio, uma vez que o excesso de nitrogênio pode lixiviar e contaminar a água subterrânea. Em locais com baixos índices pluviométricos, os sais de sódio, provenientes da decomposição do lodo, podem causar a redução da permeabilidade e da infiltração da água. Este efeito se dá uma vez que o sódio substitui o cálcio e o magnésio no complexo de troca, o que causa a dispersão da argila e desestrutura o solo (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

4 METODOLOGIA E ÁREA DE ESTUDO

Neste trabalho foram analisados os efeitos ambientais no solo e na água subterrânea da aplicação de lodo de estação de tratamento de efluentes de uma indústria alimentícia de transformação de produtos agrícolas (frutas e legumes) em um latossolo cultivado com eucalipto. O estudo de caso se baseou nos dados e resultados laboratoriais do solo, lodo e água subterrânea cedidos pela indústria, obtidos de coletas realizadas entre os anos de 2012 e 2013.

A seguir são descritas as características da área de estudo e da prática de aplicação do lodo, assim como os procedimentos metodológicos para obtenção dos dados.

4.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se na região metropolitana de Goiânia, estado de Goiás, na região Centro-Oeste do Brasil, em área rural. A fazenda possui cinco glebas de cultura de eucalipto que totalizam 53,2 hectares. As glebas 1, 2, 3 e 4, com 39,9 hectares no total, foram utilizadas durante dois anos e meio para aplicação do lodo, e uma área de 13,3 hectares, denominada gleba testemunha, manteve-se sem aplicação. A área caracteriza-se por latossolo vermelho de textura argilosa (PLANO..., 2010).

Latossolos com textura argilosa apresentam geralmente elevados valores de porosidade total e microporosidade. São solos menos suscetíveis à erosão, com drenagem boa ou acentuada e densidade do solo próxima de $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$ (CORREIA; REATTO; SPERA, 2004).

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima da região de Goiânia é do tipo Aw, ou seja, clima tropical com inverno seco e verão chuvoso (KOTTEK et al., 2006). A temperatura média anual é de $23,2^{\circ}\text{C}$ e precipitação média anual é de 1571,4 mm (INMET, 2009).

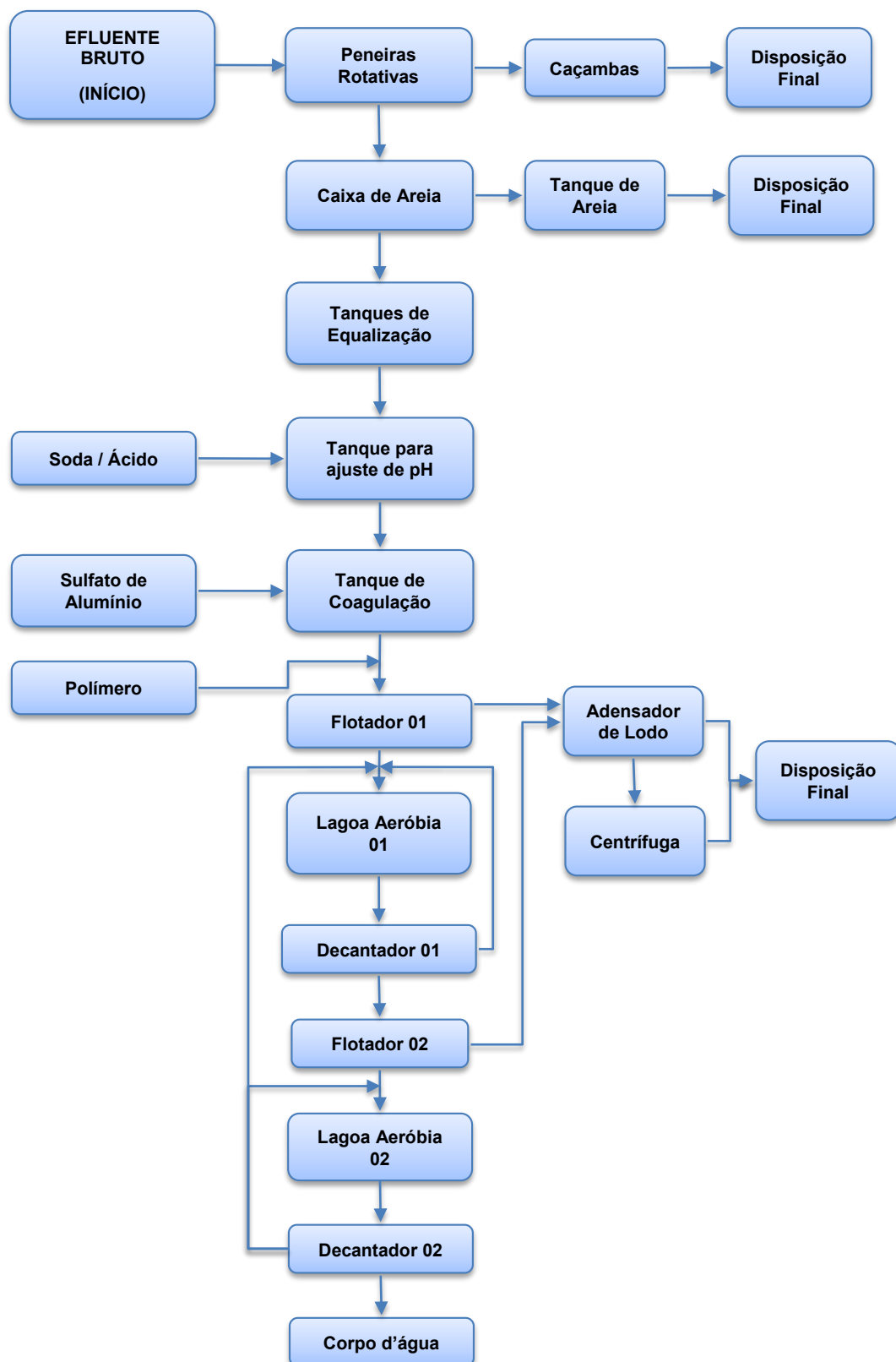
4.2 Estação de tratamento de efluentes

O lodo utilizado no presente estudo de caso originou-se de uma estação de tratamento de efluentes de uma indústria do ramo alimentício localizada no estado de Goiás. O sistema de tratamento de efluentes da empresa tem o princípio de lodos ativados e é constituído de tratamento primário e secundário. Recebe contribuição de efluentes sanitários (entre 3% e 4%) e industriais, proveniente do processo produtivo de alimentos. A vazão média de efluentes é de

3.607 m³/mês e a geração média de lodo é de cerca de 17.500 toneladas ao ano (cerca de 5.250 toneladas em base seca, considerando a média de 70% de umidade).

O fluxograma do processo de tratamento de efluentes pode ser visualizado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O tratamento se inicia em uma etapa preliminar para remoção de sólidos grosseiros, através de peneiramento rotativo, seguido por um desarenador onde ocorre a remoção de sólidos de menor granulometria e areia presentes no efluente. A fim de garantir que o sistema seja operado por vazão constante e o efluente seja homogeneizado, o efluente segue para o tanque de equalização. O efluente, então, vai para o tanque de ajuste de pH e segue para o tanque de coagulação onde é adicionado sulfato de alumínio para formação dos flocos e depois é acrescentado o polímero para auxiliar na floculação.

Os sólidos insolúveis dispersos serão removidos no flotador 01, sendo que o lodo é encaminhado ao adensador com opção de seguir para centrifugação ou ser encaminhado por caminhões tanque para destinação final. O efluente segue para primeira lagoa aeróbia, onde os sólidos solúveis serão degradados por microrganismos aeróbios e depois para o decantador 01 (com opção de recirculação) e flotador 02.

O lodo secundário é separado e segue para o adensador com opção de seguir para centrifugação ou ser encaminhado por caminhões tanque para destinação final. O efluente segue para a lagoa 02 onde ocorre o polimento final, indo para o decantador da lagoa 02 e o lodo decantado recirculado para o início da lagoa dois. O efluente tratado é então lançado em um corpo hídrico.

4.3 Tratamento e destinação do lodo

O lodo gerado no sistema de tratamento da indústria apresentava duas destinações possíveis. Poderia ser enviado à compostagem, em empresa terceirizada, ou poderia ser encaminhado à fazenda de eucaliptos para aplicação no solo como forma de adubo orgânico.

No caso do envio à compostagem, o lodo não passava por qualquer tratamento adicional, sendo transportado por caminhões após desaguamento na centrífuga localizada na Estação de Tratamento de Efluentes. Já quando o destino era a aplicação no solo da fazenda de eucalipto, após passar pela centrífuga o lodo sofria processo de higienização pela adição de cal até o resíduo atingir pH 12, para depois ser transportado por caminhões até a fazenda. O lodo foi aplicado superficialmente no solo nas entrelinhas dos eucaliptos e posteriormente incorporado ao solo.

O envio para a fazenda ocorreu em um período total de cinco semestres, entre os anos de 2011 e 2013. A quantidade de lodo em base seca aplicada no solo, a gleba de destino e taxa de aplicação em base seca por gleba são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Quantidade de lodo aplicado por gleba (t) e taxa de aplicação em base seca (t.ha⁻¹).

Gleba	Área (ha)	Lote de lodo	Quantidade aplicada (t)	Taxa de aplicação (t.ha ⁻¹)
Gleba 1	7,4	Semestre 3 e 4	638,0	86,2
Gleba 2	16,6	Semestre 1 e 2	2449,4	147,5
		Semestre 5	439,2	26,5
Gleba 3	8,5	Semestre 1 e 2	1254,2	147,5
Gleba 4	7,4	Semestre 1 e 2	1091,9	147,5

4.4 Coleta e análise do lodo

Foram coletadas três amostras simples de lodo da centrífuga que atua no desaguamento do resíduo junto à estação de tratamento de efluentes. As amostras foram coletadas nos lotes de lodo correspondentes aos semestres 3, 4 e 5. As análises foram realizadas pelo laboratório Bioagri Ambiental LTDA. Foram analisados os parâmetros microbiológicos, de macro e micronutrientes, constituintes inorgânicos e substâncias orgânicas potencialmente tóxicas.

Os metais foram determinados por espectrometria de emissão óptica, pelo método USEPA 6010C (USEPA, 2007), com prévia digestão ácida pelo método USEPA 3051 (USEPA, 2007b), o mercúrio pelo método USEPA 245.7 (USEPA, 2005a), dioxinas e furanos por USEPA 1613 (USEPA, 1994), coliformes, ovos viáveis de helmintos e salmonela conforme descrito por USEPA (2003a), pH pelo método 9045 (USEPA, 2004), compostos orgânicos voláteis conforme método 8260C (USEPA, 1996), compostos orgânicos semivoláteis conforme método USEPA 8270D (USEPA, 2007c), PCBs e toxafeno pelo método USEPA 505 (USEPA, 1989).

4.5 Coleta e análise do solo

Foram analisadas amostras de solo de cinco glebas distintas, todas na mesma fazenda e com cobertura do solo de plantio de eucalipto, sendo que quatro glebas receberam aplicação de lodo (glebas 1 a 4) e uma gleba não recebeu nenhuma quantidade de resíduo (gleba testemunha).

Foi coletada uma amostra de solo composta por subamostras que variaram entre cinco e dez para cada gleba e cada período analisado. Foram 3 períodos analisados, em um intervalo de tempo de 2,5 anos.

As subamostras foram coletadas na mesma profundidade, nas entrelinhas dos eucaliptos (nas faixas adubadas com lodo) por toda área da gleba em pontos aleatórios, colocadas em recipiente inerte e homogeneizadas. Deste material foram coletadas as amostras compostas para envio ao laboratório.

No primeiro período de análise as subamostras foram coletadas nas profundidades 0-20 cm e 20-40 cm; no segundo período as profundidades de coleta foram 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm; já no terceiro período as subamostras foram coletadas apenas na profundidade 0-20 cm.

As amostras foram analisadas quanto aos componentes inorgânicos por espectrometria de emissão óptica pelo método USEPA 6010C (USEPA, 2007) com prévia digestão ácida pelo método USEPA 3051 (USEPA, 2007b), fertilidade (RAIJ et al., 2001), e substâncias orgânicas potencialmente tóxicas (USEPA, 1989, 1994, 1996, 2005a, 2007) pelo laboratório Bioagri Ambiental LTDA.

4.6 Coleta e análise da água subterrânea

Na área de estudo existem dois poços de monitoramento de águas subterrâneas, que foram instalados com tubo geomecânico de PVC de 2,0 polegadas, sendo um a montante (PMM) e outro a jusante (PMJ) da área de aplicação de lodo. O poço localizado a jusante da área de aplicação permite a coleta de amostras de água subterrânea sob influência da prática de aplicação de lodo, enquanto o poço localizado a montante permite que se obtenha amostras sem esta influência (branco ou testemunha).

Com a utilização de amostradores descartáveis tipo bailer, os poços de monitoramento foram esgotados, ou seja, a água estagnada no poço e no pré-filtro foi removida para ser substituída por água de formação. É importante que este procedimento seja realizado antes da coleta das amostras para que a água coletada seja representativa da água subterrânea do local. Em até 24 horas após o esgotamento foi coletada uma amostra de água de cada um dos poços. As amostras foram analisadas pelo laboratório Bioagri Ambiental LTDA quanto aos parâmetros microbiológicos (APHA; AWWA; WEF, 2012), de constituintes inorgânicos e de substâncias orgânicas potencialmente tóxicas (APHA; AWWA; WEF, 2012; USEPA, 1996, 2007).

4.7 Análise dos dados

Os dados referentes à prática de aplicação do lodo assim como os resultados laboratoriais obtidos foram analisados e comparados entre si, com a legislação vigente, com padrões de qualidade ambiental e com outros trabalhos já realizados. Para a verificação da significância da diferença entre os resultados laboratoriais das amostras de solo das glebas testemunha e receptoras de lodo foram realizados testes de hipótese t de Student, considerando o nível de confiança de 95%, utilizando-se para tal o software BioEstat 5.3.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos e discussão dos dados são apresentados a seguir. Primeiramente foram abordadas as características do lodo aplicado, seguidas dos dados referentes à água subterrânea, e, posteriormente, as características do solo.

5.1 Características do lodo

A seguir são apresentadas as características do lodo aplicado quanto aos constituintes inorgânicos, macro e micro nutrientes, pH, umidade, indicadores bacteriológicos, estabilidade e substâncias orgânicas.

5.1.1 *Constituintes inorgânicos*

Os constituintes inorgânicos, acima de determinados limites, podem ser tóxicos aos organismos do solo, plantas e animais, incluindo o homem.

Na Seção III, Art. 11, da Resolução CONAMA nº 375/06, são apresentados os valores de concentração máxima permitida de constituintes inorgânicos (ou “substâncias inorgânicas”, conforme denominação da citada resolução) no lodo aplicado no solo. Os resultados laboratoriais do lodo que foi aplicado no solo, em comparação com os valores máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 375/06 são apresentados na Tabela 4.

De acordo com os resultados obtidos, as características do lodo aplicado quanto aos parâmetros de constituintes inorgânicos atendem à Resolução CONAMA nº 375/2006.

Os resultados dos parâmetros cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel e zinco se mostraram menores do que os verificados na literatura para lodos originários da ETE municipal de Barueri (LIRA; GUEDES; SCHALCH, 2008; PAIVA et al., 2009; SILVA et al., 2008, BETTIOL; CAMARGO; 2006) e da ETE municipal de Franca (BETTIOL; CAMARGO, 2006). Ainda, vale destacar que os resultados destas substâncias no lodo da ETE de Barueri, que trata esgotos domésticos e industriais, são superiores aos do lodo da ETE de Franca, a qual trata apenas esgotos domésticos.

As características do lodo estão diretamente relacionadas com o tipo de efluente tratado que o originou (SANEPAR, 1999). Uma vez que o efluente do presente estudo provém de indústria alimentícia, a qual não se utiliza de insumos que contenham concentrações altas destes

constituintes inorgânicos, é esperado que o lodo gerado apresente baixos teores de tais substâncias, conforme constatado nos resultados.

Tabela 4 - Constituintes inorgânicos no lodo.

Parâmetro	Unidade	Resultados analíticos			Limite máximo Resolução CONAMA nº 375/06
		Semestre 3	Semestre 4	Semestre 5	
Arsênio	mg.kg ⁻¹	2	< 1	< 1	41
Bário	mg.kg ⁻¹	170	129	93	1300
Cádmio	mg.kg ⁻¹	< 0,098	< 0,1	< 0,1	39
Chumbo	mg.kg ⁻¹	6,9	5,8	< 1	300
Cobre	mg.kg ⁻¹	69	87	113	1500
Cromo	mg.kg ⁻¹	77	63	64	1000
Mercurio	mg.kg ⁻¹	< 0,049	< 0,05	0,21	17
Molibdênio	mg.kg ⁻¹	< 1	< 1	< 1	50
Níquel	mg.kg ⁻¹	18	19	25	420
Selênio	mg.kg ⁻¹	< 1	< 1	< 1	100
Zinco	mg.kg ⁻¹	169	145	107	2800

Nota: Os valores antecidos pelo sinal de “menor que” (<) indicam que a quantidade da substância não alcançou o limite de quantificação da amostra.

Considerando a taxa de aplicação de cada gleba e a concentração dos componentes inorgânicos do resíduo aplicado, tem-se a quantidade total teórica de cada constituinte adicionada ao solo via lodo. A carga total de todos os componentes inorgânicos analisados no lodo resultou em valores abaixo dos limites máximos determinados pela Resolução CONAMA nº 375/2006 (Tabela 5).

Tabela 5 – Carga total teórica de constituintes inorgânicos adicionados ao solo.

Parâmetro	Unidade	Carga acumulada teórica				Limite máximo Resolução CONAMA nº 375/06
		Gleba 1	Gleba 2	Gleba 3	Gleba 4	
Arsênio	kg.ha ⁻¹	0,11	0,23	0,20	0,20	30
Bário	kg.ha ⁻¹	11,3	22,74	19,27	19,27	265
Cádmio	kg.ha ⁻¹	0,01	0,02	0,01	0,01	4
Chumbo	kg.ha ⁻¹	0,39	0,79	0,67	0,67	41
Cobre	kg.ha ⁻¹	7,73	15,60	13,23	13,23	137
Cromo	kg.ha ⁻¹	5,86	11,83	10,03	10,03	154
Mercurio	kg.ha ⁻¹	0,01	0,02	0,02	0,02	1,2
Molibdênio	kg.ha ⁻¹	0,09	0,17	0,15	0,15	13
Níquel	kg.ha ⁻¹	1,78	3,60	3,05	3,05	74
Selênio	kg.ha ⁻¹	0,09	0,17	0,15	0,15	13
Zinco	kg.ha ⁻¹	12,10	24,42	20,70	20,70	445

5.1.2 Macro e micronutrientes, pH e umidade

Os resultados laboratoriais dos macro e micronutrientes do lodo, pH e umidade, ou, conforme consta na Resolução CONAMA nº 375/2006, “potencial agrônômico do lodo” são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Macro e micronutrientes do lodo.

Parâmetro	Unidade	Resultados analíticos		
		Semestre 3	Semestre 4	Semestre 5
Cálcio	mg.kg ⁻¹	10916	6632	3794
Carbono Orgânico Total	% p/p	26	5,7	6,5
Enxofre	mg.kg ⁻¹	< 1116	< 1042	< 5002
Fósforo	mg.kg ⁻¹	3273	4876	15250
Magnésio	mg.kg ⁻¹	5544	2657	2716
Nitrato (como N)	mg.kg ⁻¹	< 3	< 4,9	< 4,1
Nitrito (como N)	mg.kg ⁻¹	< 0,6	< 1	< 0,8
Nitrogênio Amoniacal	mg.kg ⁻¹	156	686	1115
Nitrogênio Total Kjeldahl	mg.kg ⁻¹	1498	42860	28128
pH (Suspensão a 5%)	---	6,7	5,6	7,4
Potássio	mg.kg ⁻¹	7480	4469	8606
Sódio	mg.kg ⁻¹	2035	2136	816
Umidade	%	67,4	80,2	76,2

Nota: Os valores antecedidos pelo sinal de “menor que” (<) indicam que a quantidade da substância não alcançou o limite de quantificação da amostra.

--- Não se aplica.

De acordo com as análises laboratoriais, o lodo estudado apresenta em sua composição os macronutrientes carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, magnésio e enxofre, que são necessários ao desenvolvimento das plantas. A concentração das substâncias analisadas variou entre os monitoramentos, possivelmente devido à alteração no processo produtivo, oscilação da vazão e das características do efluente tratado e também por eventuais alterações na operação da estação de tratamento.

Os resultados deste trabalho são similares aos relatados por Lira, Guedes e Schalch (2008) e por Silva (2008) obtidos de lodo de efluente sanitário e industrial da ETE do município de Barueri (condicionados respectivamente por cal e por polímeros) com relação aos parâmetros fósforo, potássio, magnésio e sódio.

Já quanto ao parâmetro cálcio, Lira, Guedes e Schalch (2008) obtiveram resultados maiores (86 mg.kg⁻¹) que os obtidos neste estudo, o que pode estar relacionado à quantidade maior de cal utilizada na estabilização do resíduo no trabalho dos autores citados. O lodo

coletado no semestre 5 apresentou concentração de cálcio visivelmente menor do que nas demais coletas, possivelmente porque no último semestre o lodo não sofreu processo de higienização por adição de cal.

Os trabalhos de Nascimento (2004), com o lodo da ETE Mangueira localizada em Recife, Paiva (2009) e Silva (2008), ambos em relação ao lodo da ETE de Barueri, corroboram os resultados obtidos para o parâmetro nitrogênio Kjeldahl. Nicolás (2014) indicou o resultado de $7,8.10^4 \text{ mg.kg}^{-1}$ para este parâmetro no lodo de esgoto e $3,0.10^4 \text{ mg.kg}^{-1}$ para o mesmo lodo após processo de compostagem.

5.1.3 Indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos

Os resultados referentes aos indicadores microbiológicos e agentes patogênicos são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Indicadores microbiológicos e agentes patogênicos do lodo.

Parâmetro	Unidade	Resultados Analíticos			Limite máximo da Resolução CONAMA n° 375/06	
		Semestre 3	Semestre 4	Semestre 5	Lodo classe A	Lodo classe B
Coliformes Termotolerantes	NMP/g de ST	$1,4.10^3$	< 130	$1,4.10^7$	< 10^3	< 10^6
Enterovirus	UFP/g de ST	Ausente	...	Ausente	< 0,25	Não há
Ovos Viáveis de Helmintos	Ovos/g de ST	< 0,1	< 0,1	< 0,25	< 0,25	< 10
<i>Salmonella</i> sp.	P/A em 10g de MS	Ausente	Ausente	Ausente	Ausência	Não há

Nota: Os valores antecidos pelo sinal de “menor que” (<) indicam que a quantidade da substância não alcançou o limite de quantificação da amostra.

... Análise não realizada.

Todos os parâmetros analisados indicam que o lodo está de acordo com a legislação vigente, a Resolução CONAMA n° 375/06, estando dentro dos limites referentes à classe A, com exceção do parâmetro coliformes termotolerantes nas análises dos semestres 3 e 5.

O lodo amostrado nos semestres 3 e 4 sofreu processo de redução de patógenos por adição de cal. No semestre 3 o parâmetro coliformes termotolerantes ficou levemente acima do limite máximo para sua classificação em classe A, possivelmente porque o lodo não alcançou o pH mínimo de 12 após a caleação, ou não se manteve com pH acima de 12 por tempo

suficiente. No semestre 5 o lodo não sofreu processo de caleação, por este motivo apresentou altos índices de coliformes termotolerantes.

5.1.4 Estabilidade

Os resultados analíticos de amostras de lodo quanto aos parâmetros referentes à estabilidade do resíduo seguem apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Parâmetros referentes à estabilidade do lodo.

Parâmetros	Unidade	Resultados analíticos			Exigência da Resolução CONAMA nº 375/06
		Semestre 3	Semestre 4	Semestre 5	
Sólidos Totais	% p/p	32,6	19,8	23,8	Não há
Sólidos Voláteis	% p/p	17,2	9,73	11,7	Não há
Sólidos Voláteis/Sólidos Totais	---	0,53	0,49	0,49	< 0,7
Estabilidade	---	Estável	Estável	Estável	Estável

--- Não se aplica.

Como consta na Resolução CONAMA nº 375/06, o lodo aplicado deve encontrar-se estabilizado, apresentando a razão sólidos voláteis por sólidos totais inferior a 0,70. Conforme apresentado, o lodo pôde ser considerado estável em todas as análises, estando, portanto, de acordo com a legislação em relação a este parâmetro.

5.1.5 Substâncias orgânicas

Os resultados referentes aos fenóis não clorados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos são apresentados na Tabela 9. Quase a totalidade dos parâmetros analisados resultou abaixo do limite de quantificação das amostras. O lodo amostrado no semestre 4 apresentou 8,91 mg.kg⁻¹ de cresóis totais e 0,841 mg.kg⁻¹ de naftaleno, e o lodo amostrado no semestre 5 apresentou 0,086 mg.kg⁻¹ de fenantreno e 0,138 mg.kg⁻¹ de naftaleno.

Tabela 9 - Substâncias orgânicas do lodo: cresóis e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos.

Parâmetro	Unidade	Semestre 3	Semestre 4	Semestre 5
Cresóis Totais	mg.kg ⁻¹	< 0,459	8,91	< 0,63
Benzo(a)antraceno	mg.kg ⁻¹	< 1,53	< 0,5	< 0,042
Benzo(a)pireno	mg.kg ⁻¹	< 1,53	< 0,5	< 0,042
Benzo(k)fluoranteno	mg.kg ⁻¹	< 1,53	< 0,5	< 0,042
Fenantreno	mg.kg ⁻¹	< 1,53	< 0,5	0,086
Indeno(1,2,3,cd)pireno	mg.kg ⁻¹	< 1,53	< 0,5	< 0,042
Lindano (g-HCH)	mg.kg ⁻¹	< 0,153	< 0,013	< 0,01
Naftaleno	mg.kg ⁻¹	< 1,53	0,841	0,138

Nota: Os valores antecidos pelo sinal de “menor que” (<) indicam que a quantidade da substância não alcançou o limite de quantificação da amostra.

O grupo de parâmetros referentes às bifenilas policloradas (PCB), apresentou todos os resultados abaixo do limite de quantificação da amostra para todas as amostras estudadas. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 (continua) - Substâncias orgânicas do lodo: bifenilas policloradas (PCB).

Parâmetro	Unidade	Semestre 3	Semestre 4	Semestre 5
PCB 101	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 105	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 114	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 118	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 126 + PCB 166	mg.kg ⁻¹	< 0,0612	< 0,005	< 0,0042
PCB 128	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 138 + PCB 158	mg.kg ⁻¹	< 0,0612	< 0,005	< 0,0042
PCB 153	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 156	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 169	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 170	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 179	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 180	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 183	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 28	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 37	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 44	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 49	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 52	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 60	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 66	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 70	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 74	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 77	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 8	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 82	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021

Tabela 10 (continuação) - Substâncias orgânicas do lodo: bifenilas policloradas (PCB).

Parâmetro	Unidade	Semestre 3	Semestre 4	Semestre 5
PCB 87	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021
PCB 99	mg.kg ⁻¹	< 0,0306	< 0,0025	< 0,0021

Nota: Os valores antecedidos pelo sinal de “menor que” (<) indicam que a quantidade da substância não alcançou o limite de quantificação da amostra.

Os grupos de parâmetros referentes aos poluentes orgânicos persistentes, benzenos clorados, ésteres de ftalatos e fenóis clorados também apresentaram todos os resultados abaixo do limite de quantificação para todas as amostras estudadas. Os resultados destes grupos são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Substâncias orgânicas do lodo: poluentes orgânicos persistentes (POP), benzenos clorados, ésteres de ftalatos e fenóis clorados.

Parâmetro	Unidade	Semestre 3	Semestre 4	Semestre 5
Aldrin	mg.kg ⁻¹	< 0,153	...	< 0,01
Aldrin + Dieldrin	mg.kg ⁻¹	< 0,306	< 0,025	...
Clordano (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,0612	< 0,005	< 0,0042
DDT (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,306	< 0,025	< 0,021
Dieldrin	mg.kg ⁻¹	< 0,153	...	< 0,01
Dodecacloropentaciclodecano	mg.kg ⁻¹	< 0,153	< 0,013	< 0,01
Endrin	mg.kg ⁻¹	< 0,153	< 0,013	< 0,01
Heptacloro	mg.kg ⁻¹	< 0,306	< 0,025	< 0,01
Hexaclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,153	< 0,013	< 0,01
Toxafeno	mg.kg ⁻¹	< 0,06	< 0,02	< 0,08
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,153	< 0,013	< 0,01
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,153	< 0,013	< 0,01
1,2,3-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,06	< 0,05	< 0,04
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 7,65	< 2,51	< 0,21
1,2,4-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,06	< 0,05	< 0,21
1,2-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,06	< 0,05	< 0,21
1,3,5-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,06	< 0,05	< 0,04
1,3-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 7,65	< 2,51	< 0,21
1,4-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 7,65	< 2,51	< 0,21
Clorobenzeno	mg.kg ⁻¹	...	...	< 0,04
Di(2-etilhexil)ftalato	mg.kg ⁻¹	< 7,65	< 2,51	< 0,21
Dibutilftalato	mg.kg ⁻¹	< 7,65	< 2,51	< 0,21
Dimetil Ftalato	mg.kg ⁻¹	< 7,65	< 2,51	< 0,21
2,4,6-Triclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 7,65	< 2,51	< 0,21
2,4-Diclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 3,83	< 1,26	< 0,1
Pentaclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,153	< 0,013	< 0,1

Nota: Os valores antecedidos pelo sinal de “menor que” (<) indicam que a quantidade da substância não alcançou o limite de quantificação da amostra.

... Análise não realizada.

Os resultados referentes às dioxinas e furanos analisados nas amostras de lodo são apresentados na Tabela 12. Os dados estão expressos em nanogramas por quilograma, o que significa que o método de análise do laboratório apresenta maior sensibilidade para este grupo do que para os demais parâmetros orgânicos analisados, cujos resultados são expressos em mg.kg^{-1} .

Tabela 12 - Substâncias orgânicas do lodo: dioxinas e furanos.

Parâmetro	Unidade	Semestre 3	Semestre 4	Semestre 5
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	ng.kg^{-1}	8,48	4,59	12
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	ng.kg^{-1}	4,01	3,99	15
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	ng.kg^{-1}	0,83	< 0,485	< 0,097
1,2,3,4,7,8-HexaCDD	ng.kg^{-1}	2,22	1,5	2,50
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	ng.kg^{-1}	4,39	2,57	3,50
1,2,3,6,7,8-HexaCDD	ng.kg^{-1}	2,77	1,79	3,60
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	ng.kg^{-1}	5,54	2,31	4,00
1,2,3,7,8,9-HexaCDD	ng.kg^{-1}	2,09	1,67	< 0,112
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	ng.kg^{-1}	< 0,68	< 0,314	< 0,063
1,2,3,7,8-PentaCDD	ng.kg^{-1}	5,98	1,36	< 0,115
1,2,3,7,8-PentaCDF	ng.kg^{-1}	20	2,46	6,50
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	ng.kg^{-1}	3,22	2	4,40
2,3,4,7,8-PentaCDF	ng.kg^{-1}	21,7	3,3	11
2,3,7,8-TetraCDD	ng.kg^{-1}	5,33	< 0,545	< 0,109
2,3,7,8-TetraCDF	ng.kg^{-1}	60,2	2,64	19
Dioxinas e Furanos TEQ-NATO/CCMS (excl.LQ)	ng.kg^{-1}	28,4	4,01	9,8
Dioxinas e Furanos TEQ-NATO/CCMS (incl.LQ)	ng.kg^{-1}	28,5	4,56	9,9
Dioxinas e Furanos WHO(1998)-PCDD/F-TEQ excl. LQ	ng.kg^{-1}	31,4	4,67	9,7
Dioxinas e Furanos WHO(1998)-PCDD/F-TEQ incl. LQ	ng.kg^{-1}	31,4	5,22	9,9
Dioxinas e Furanos WHO(2005)-PCDD/F-TEQ excl. LQ	ng.kg^{-1}	26,6	3,98	7,6
Dioxinas e Furanos WHO(2005)-PCDD/F-TEQ incl. LQ	ng.kg^{-1}	26,7	4,52	7,8
OctaCDD	ng.kg^{-1}	16,9	11,9	47
OctaCDF	ng.kg^{-1}	6,28	8,72	72

Nota: Os valores antecidos pelo sinal de “menor que” (<) indicam que a quantidade da substância não alcançou o limite de quantificação da amostra.

As dioxinas e furanos apresentam níveis de toxidez diferentes entre si, tendo sido desenvolvido um sistema medição único de modo a padronizar os valores de toxidez. À dioxina mais tóxica (2,3,7,8-TCDD) foi padronizado o valor de toxidez 1, sendo que para as outras foi

desenvolvido o Fator de Toxidez Equivalente (TEQ), o qual compara sua toxidez com a 2,3,7,8-TCDD.

A legislação brasileira não aponta valores máximos permitidos no lodo para aplicação na agricultura, em relação ao grupo dioxinas e furanos.

De acordo com a agência ambiental norte americana, EPA – United States Environmental Protection Agency, até o ano de 2003 eram admitidas concentrações de até 300 ng.kg⁻¹ de equivalente tóxico (TEQ) de dioxinas e furanos no lodo de esgoto aplicado no solo. A partir de 2003, baseada em estudos de toxicidade e exposição, a agência definiu que dioxinas e furanos desta fonte não apresentam risco significativo tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente (USEPA, 2003b).

Na União Europeia como um todo ainda não há definição de valores máximos permitidos, sendo que na Alemanha e na Áustria (exceto Vorarlberg) há o limite de 100 ng.kg⁻¹ TEQ, enquanto especificamente em Vorarlberg, na Áustria, o limite é de 50 ng.kg⁻¹ TEQ (NRC, 2002).

Uma vez que o equivalente tóxico das amostras de lodo analisadas não superou 31,4 ng.kg⁻¹ (TEQ), tem-se que, em relação às dioxinas e furanos, o lodo apresenta qualidade satisfatória para aplicação no solo.

5.2 Características da água subterrânea

A seguir são apresentados os resultados laboratoriais de amostras de água subterrânea da área de aplicação de lodo referentes ao semestre 5. Nos demais semestres não houve possibilidade de coleta de amostras devido ao baixo nível da água nos poços.

5.2.1 Constituintes inorgânicos

Os resultados laboratoriais referentes aos constituintes inorgânicos na água subterrânea seguem apresentados na Tabela 13, juntamente com o limite máximo definido pela Resolução CONAMA nº 420/2009, referente ao padrão de qualidade ambiental, e Portaria MS nº 2914/2011, referente ao padrão de potabilidade.

Tabela 13 - Constituintes inorgânicos na água subterrânea.

Parâmetro	Unidade	Poço montante	Poço jusante	Limite máximo	
				CONAMA nº 420/2009	Portaria MS nº 2914/11
Alumínio	µg.L ⁻¹	196	29,4	3.500	200
Antimônio	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	5	5
Arsênio	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	10	10
Bário	µg.L ⁻¹	2,99	43,7	700	700
Boro	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	500	---
Cádmio	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	---	5
Chumbo	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	10	10
Cobalto	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	70	---
Cobre	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	2.000	2.000
Cromo	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	50	50
Ferro	µg.L ⁻¹	220,7	6,26	2.450	300
Manganês	µg.L ⁻¹	6,18	8,67	400	100
Mercurio	µg.L ⁻¹	< 0,1	< 0,1	1	1
Molibdênio	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	70	---
Níquel	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	20	70
Nitrato (como N)	µg.L ⁻¹	< 300	370	10.000	10.000
Prata	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	50	---
Selênio	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	10	10
Vanádio	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	---	---
Zinco	µg.L ⁻¹	8,16	20,3	1.050	5.000

Nota: Os valores antecidos pelo sinal de “menor que” (<) indicam que a quantidade da substância não alcançou o limite de quantificação da amostra.

--- Não se aplica.

Todos os parâmetros analisados estão de acordo com o padrão de qualidade ambiental determinado na Resolução CONAMA nº 420/2009, assim como com o padrão de potabilidade definido pela Portaria MS nº 2914/2011.

A maioria dos parâmetros referentes aos constituintes inorgânicos analisados não apresentou diferenças entre a amostra de água coletada a montante e a jusante. Os parâmetros bário e zinco se apresentaram com valores mais altos no poço de jusante em comparação com o de montante, porém ambos se mantiveram bem abaixo dos limites máximos estabelecidos na Resolução CONAMA nº 420/2009 e Portaria MS nº 2914/2011.

O bário é um metal alcalino terroso que ocorre na natureza principalmente nas formas de sulfato de bário e carbonato de bário, também sendo encontrado, em menor quantidade, nas rochas ígneas. A mobilidade do bário é maior em solos arenosos, com pH baixo e pouca matéria orgânica, e menor em solos com maior concentração de sulfato e carbonato de cálcio (USEPA, 2005b). Após aplicação de lodo da ETE de Barueri, Nogueira et al. (2010) verificaram aumento na concentração de bário no solo, que se manteve bem abaixo do valor de referência de qualidade da CETESB, e aumento também em cultura de milho (sem exceder o nível crítico para consumo humano). Magalhães et al. (2011) estudando o solo tratado com sulfato de bário verificaram que a condição de redução e saturação do solo pode propiciar aumento das frações mais lábeis deste componente, e sua consequente lixiviação.

Não é esperado que o bário seja muito móvel no perfil do solo, uma vez que forma sais insolúveis e não forma complexos solúveis com materiais húmicos e fúlvicos. Apesar disso, alguns compostos do bário podem se tornar solúveis em condições ácidas e lixiviar para a água subterrânea (USEPA, 1984).

O zinco é um metal de transição, muito utilizado na fabricação de ligas resistentes à corrosão e na galvanização de produtos de ferro e aço. As principais fontes antropogênicas são mineração, produção de zinco, ferro e aço, corrosão de estruturas galvanizadas, combustão de carvão e incineração de resíduos. A concentração de zinco em água superficial é geralmente menor que $10 \mu\text{g.L}^{-1}$, enquanto nas águas subterrâneas está entre 10 e $40 \mu\text{g.L}^{-1}$ (CETESB, 2012).

Em solo arenoso que recebeu lodo de esgoto municipal foi verificado aumento da concentração de zinco no lixiviado com o aumento da dose de lodo, ocorrência de chuva e quantidades de aplicação, sendo maior na profundidade de 25 cm do que 50cm. Diversos fatores afetam a solubilidade dos metais, inclusive os constituintes do solo, que podem favorecer

reações de sorção ou precipitação, influenciando a mobilidade dos metais no perfil do solo (EGIARTE et al., 2008).

Em solo calcário foi observado aumento da mobilidade do cobre, zinco e chumbo na profundidade 0-100 cm com a aplicação de 25 a 100 t.ha⁻¹ de lodo. O movimento descendente dos metais no solo que recebeu lodo parece estar mais relacionado à complexação dos metais com o carbono orgânico em solução e à superirrigação, mas também pode estar relacionado ao aumento da condutividade hidráulica do solo, e à saturação da capacidade de sorção das partículas do solo devido à alta carga de metais adicionada via lodo (YEGANEH et al., 2010).

Apesar da possibilidade de lixiviação dos metais, não está claro se a diferença entre os resultados do poço montante e jusante quanto aos parâmetros bário e zinco foi causada devido à aplicação de lodo ou a algum outro fator, por exemplo, uso anterior da área. Isso porque (1) o nível freático da área de aplicação está entre 11 e 12 metros da superfície, o que reduz o risco de alteração da água superficial pelos metais aplicados em superfície; (2) a concentração média de bário e de zinco no solo (profundidade 0-20 cm) das glebas receptoras é um pouco superior à da gleba testemunha, mas os valores não apresentaram diferença estatística ($p > 0,05$), conforme será apresentado posteriormente neste trabalho; (3) a concentração dos dois componentes no lodo é baixa.

Desta forma, as evidências não definem claramente se a aplicação de lodo no solo gerou a diferença entre os resultados obtidos nas amostras de água de montante e jusante, sendo necessários mais estudos na área para esclarecer esta questão.

5.2.2 Indicadores bacteriológicos

Os resultados laboratoriais referentes aos indicadores bacteriológicos na água subterrânea seguem apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Indicadores bacteriológicos na água subterrânea.

Parâmetro	Unidade	Poço montante	Poço jusante	Portaria MS nº 2914/11
Coliformes Termotolerantes (<i>E. coli</i>)	P/A 100mL	Ausentes	Ausentes	Ausência
Coliformes Totais	P/A 100mL	Presentes	Ausentes	Ausência

Foram detectados coliformes totais na amostra de água subterrânea coletada no poço de monitoramento a montante, o que indica que a água não se apresenta de acordo com o padrão de potabilidade da Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011 (BRASIL, 2011).

Uma vez que o parâmetro em desacordo foi detectado apenas na amostra coletada no poço de monitoramento de montante, infere-se que esta alteração da qualidade da água subterrânea não foi causada pela aplicação de lodo. Esta alteração pode ter ocorrido devido à contaminação a montante da propriedade, ou na própria coleta da amostra.

5.2.3 Substâncias orgânicas

Os resultados laboratoriais referentes aos pesticidas organoclorados e ésteres ftálicos na água subterrânea seguem apresentados na Tabela 15. Todos os parâmetros analisados resultaram abaixo do limite de quantificação da amostra, e estão de acordo com o padrão de qualidade ambiental determinado na Resolução CONAMA nº 420/2009, assim como com o padrão de potabilidade definido pela Portaria MS nº 2914/2011.

Tabela 15 (continua) - Substâncias orgânicas na água subterrânea: pesticidas organoclorados e ésteres ftálicos.

Parâmetro	Unidade	Poço montante	Poço jusante	Limite máximo	
				CONAMA nº 420/2009	Portaria MS nº 2914/2011
Aldrin + Dieldrin	µg.L ⁻¹	< 0,003	< 0,003	0,03	0,03
Endrin	µg.L ⁻¹	< 0,01	< 0,01	0,6	0,6
HCH Beta	µg.L ⁻¹	< 0,005	< 0,005	0,07	---
Lindano (g-HCH)	µg.L ⁻¹	< 0,003	< 0,003	2	2
DDT + DDD + DDE	µg.L ⁻¹	< 0,002	< 0,002	2	1
PCBs (lista holandesa)	µg.L ⁻¹	< 0,001	< 0,001	3,5	---
Di (2-etilhexil) ftalato	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	8	8
Dibutilftalato	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	Não há	---
Dimetil Ftalato	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	14	---
2,3,4,5-Tetraclorofenol	µg.L ⁻¹	< 0,01	< 0,01	10,5	---
2,3,4,6-Tetraclorofenol	µg.L ⁻¹	< 0,01	< 0,01	10,5	---
2,4,5-Triclorofenol	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	10,5	---
2,4,6-Triclorofenol	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	200	200
2,4-Diclorofenol	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	10,5	---
2-Clorofenol	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	10,5	---
3,4-Diclorofenol	µg.L ⁻¹	< 0,01	< 0,01	10,5	---
Pentaclorofenol	µg.L ⁻¹	< 0,05	< 0,05	9	9
Cresóis Totais	µg.L ⁻¹	< 0,3	< 0,3	175	---
Fenol	µg.L ⁻¹	< 0,1	0,13	140	---
Tetracloreto de Carbono	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	2	4

Tabela 15 (conclusão) - Substâncias orgânicas na água subterrânea: pesticidas organoclorados e ésteres ftálicos.

Parâmetro	Unidade	Poço montante	Poço jusante	Limite máximo	
				CONAMA n° 420/2009	Portaria MS n° 2914/2011
Clorofórmio	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	200	---
Diclorometano	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	20	20
Cloreto de Vinila	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	5	2
1,1-Dicloroeteno	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	30	30
1,2-Dicloroeteno (cis+trans)	µg.L ⁻¹	< 2	< 2	50	50
Tetracloroeteno	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	40	40
Tricloroeteno	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	70	20
1,1,1-Tricloroetano	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	280	---
1,1-Dicloroetano	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	280	---
1,2-Dicloroetano	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	10	10

Nota: Os valores antecedidos pelo sinal de “menor que” (<) indicam que a quantidade da substância não alcançou o limite de quantificação da amostra.

--- Não se aplica.

Os resultados laboratoriais referentes aos fenóis, metanos clorados, etenos clorados, etanos clorados, benzenos clorados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e hidrocarbonetos aromáticos voláteis na água subterrânea seguem apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 (continua) - Substâncias orgânicas na água subterrânea: fenóis, metanos clorados, etenos clorados, etanos clorados, benzenos clorados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e hidrocarbonetos aromáticos voláteis.

Parâmetro	Unidade	Poço montante	Poço jusante	Limite máximo	
				CONAMA n° 420/2009	Portaria MS n° 2914/2011
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	µg.L ⁻¹	< 0,01	< 0,01	---	---
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	µg.L ⁻¹	< 0,01	< 0,01	---	---
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	---	---
1,2-Diclorobenzeno	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	1000	---
1,3-Diclorobenzeno	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	...	---
1,4-Diclorobenzeno	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	300	---
Triclorobenzenos	µg.L ⁻¹	< 3	< 3	20	20
Hexaclorobenzeno	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	1	---
Monoclorobenzeno	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	700	120
Antraceno	µg.L ⁻¹	< 0,05	< 0,05	---	---
Benzo(a)antraceno	µg.L ⁻¹	< 0,05	< 0,05	1,75	---
Benzo(a)pireno	µg.L ⁻¹	< 0,05	< 0,05	0,7	0,7
Benzo(g,h,i)perileno	µg.L ⁻¹	< 0,05	< 0,05	---	---
Benzo(k)fluoranteno	µg.L ⁻¹	< 0,05	< 0,05	---	---
Criseno	µg.L ⁻¹	< 0,05	< 0,05	---	---
Dibenzo(a,h)antraceno	µg.L ⁻¹	< 0,05	< 0,05	0,18	---

Tabela 16 (conclusão) - Substâncias orgânicas na água subterrânea: fenóis, metanos clorados, etenos clorados, etanos clorados, benzenos clorados, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e hidrocarbonetos aromáticos voláteis.

Parâmetro	Unidade	Poço montante	Poço jusante	Limite máximo	
				CONAMA n° 420/2009	Portaria MS n° 2914/2011
Fenantreno	µg.L ⁻¹	< 0,05	0,08	140	---
Indeno(1,2,3,cd)pireno	µg.L ⁻¹	< 0,05	< 0,05	0,17	---
Naftaleno	µg.L ⁻¹	< 0,05	0,06	140	---
Benzeno	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	5	5
Estireno	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	20	20
Etilbenzeno	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	300	200
Tolueno	µg.L ⁻¹	< 1	< 1	700	170
Xilenos	µg.L ⁻¹	< 3	< 3	500	300

Nota: Os valores antecedidos pelo sinal de “menor que” (<) indicam que a quantidade da substância não alcançou o limite de quantificação da amostra.

--- Não se aplica.

A maioria dos parâmetros orgânicos analisados apresentou-se abaixo do limite de quantificação da amostra e não apresentou variação dos resultados entre as amostras de montante e de jusante. Os parâmetros fenantreno, fenol e naftaleno apresentaram resultado levemente acima dos limites de quantificação, respectivamente 0,08; 0,13 e 0,06 µg.L⁻¹.

Todos os parâmetros analisados estão de acordo com o padrão de qualidade ambiental determinado na Resolução CONAMA n° 420/2009, assim como com o padrão de potabilidade definido pela Portaria MS n° 2914/2011.

5.3 Características do solo

A seguir são apresentadas as características do solo da área de aplicação e gleba testemunha quanto aos parâmetros de fertilidade, constituintes inorgânicos e substâncias orgânicas.

5.3.1 Fertilidade

Os resultados dos parâmetros referentes à fertilidade do solo na gleba testemunha e glebas 1, 2, 3 e 4 são apresentados nas tabelas a seguir.

Tabela 17 - Fertilidade no solo: gleba testemunha.

Parâmetro	Unidade	Semestre 3		Semestre 4			Semestre 5
		0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm
Al	mmol _c .dm ⁻³	4	1	3	2	1	3
Cálcio	mmol _c .dm ⁻³	...	...	7	4	7	3
Condutividade Elétrica	dS/m	0,04	0,03	0,15	0,09	0,79	...
CTC Efetiva	mmol _c .dm ⁻³	20	16	15	8	10	10
CTC pH 7	mmol _c .dm ⁻³	58	46	54	44	40	54
Fósforo Resina	mg.dm ⁻³	4	3	4	3	2	2
H+Al	mmol _c .dm ⁻³	42	31	42	38	31	47
Magnésio	mmol _c .dm ⁻³	...	...	4	2	2	3
Matéria Orgânica	g.dm ⁻³	29	19	32	18	7	34
pH	---	4,6	4,9	4,2	4,2	4,6	4,4
Potássio	mmol _c .dm ⁻³	...	...	0,5	0,1	0,3	0,5
Saturação Al	m %	21	6	21	25	10	32
Saturação de Bases	V %	27	32	22	14	23	12
Sódio Trocável	mmol _c .dm ⁻³	0,25	0,26	0,19	0,17	0,2	0,12
Soma de Bases	mmol _c .dm ⁻³	16	15	12	6	9	7

... Dado não disponível.

--- Não se aplica.

Os dados da gleba 1 são apresentados na Tabela 18. Quando o solo foi amostrado no semestre 3, a gleba 1 ainda não havia recebido nenhum lote de lodo, portanto os resultados desta gleba no semestre 3 foram contabilizados como testemunha tanto para o cálculo das médias e medianas quando para a execução do teste estatístico.

Tabela 18 - Fertilidade no solo: gleba 1.

Parâmetro	Unidade	Semestre 3 ⁽¹⁾		Semestre 4			Semestre 5
		0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm
Al	mmol _c .dm ⁻³	6	4	4	2	1	2
Cálcio	mmol _c .dm ⁻³	...	...	9	7	16	12
Condutividade Elétrica	dS/m	0,07	0,06	0,27	0,27	0,18	...
CTC _{Efetiva}	mmol _c .dm ⁻³	21	15	19	15	24	22
CTC _{pH 7}	mmol _c .dm ⁻³	62	45	73	51	57	62
Fósforo Resina	mg.dm ⁻³	10	4	13	5	8	4
H+Al	mmol _c .dm ⁻³	47	34	58	38	34	42
Magnésio	mmol _c .dm ⁻³	...	...	4	4	5	6
Matéria Orgânica	g.dm ⁻³	24	16	32	21	14	37
pH	---	4,4	4,5	4,1	4,1	4,8	4,7
Potássio	mmol _c .dm ⁻³	...	...	2	1,5	1,8	1,6
Saturação Al	m %	29	27	21	14	4	9
Saturação de Bases	V %	24	24	21	25	40	32
Sódio Trocável	mmol _c .dm ⁻³	0,28	0,25	0,24	0,3	0,33	0,17
Soma de Bases	mmol _c .dm ⁻³	15	11	15	13	23	20

... Dado não disponível.

--- Não se aplica.

⁽¹⁾ No semestre 3 a gleba 1 ainda não havia recebido nenhum lote de lodo.

Os dados referentes à fertilidade do solo na gleba 2 nos três períodos de amostragem são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Fertilidade no solo: gleba 2.

Parâmetro	Unidade	Semestre 3		Semestre 4			Semestre 5
		0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm
Al	mmol _c .dm ⁻³	2	0	1	1	1	3
Cálcio	mmol _c .dm ⁻³	...	...	18	10	13	13
Condutividade Elétrica	dS/m	0,03	0,03	0,2	0,22	0,16	...
CTC _{Efetiva}	mmol _c .dm ⁻³	24	25	32	18	23	23
CTC _{pH 7}	mmol _c .dm ⁻³	60	56	73	51	50	84
Fósforo Resina	mg.dm ⁻³	4	3	76	7	3	30
H+Al	mmol _c .dm ⁻³	38	31	42	34	28	64
Magnésio	mmol _c .dm ⁻³	...	...	7	4	5	4
Matéria Orgânica	g.dm ⁻³	31	22	39	21	9	46
pH	---	4,9	5,1	4,6	4,4	4,9	4,4
Potássio	mmol _c .dm ⁻³	...	...	6,4	3	3,5	2,5
Saturação Al	m %	8	0	3	6	4	13
Saturação de Bases	V %	37	45	43	33	43	23
Sódio Trocável	mmol _c .dm ⁻³	0,32	0,3	0,35	0,31	0,42	0,18
Soma de Bases	mmol _c .dm ⁻³	22	25	31	17	22	20

... Dado não disponível.

--- Não se aplica.

A interpretação dos resultados das análises de solo quanto aos parâmetros de fertilidade depende de vários fatores, entre os quais pode-se destacar o ambiente, o manejo do solo, o sistema agrícola e a cultura (COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DE GOIÁS, 1988).

Lopes (1984) apresenta dados referentes a 518 amostras de solo coletadas na profundidade de 0-20 cm em área de cerrado brasileiro, em sua maior parte no estado de Goiás. Apesar do enfoque do autor ser o manejo para a produtividade agrícola, estes dados podem ser úteis como caracterização geral dos solos da região e como parâmetro de comparação.

Os resultados obtidos quanto aos parâmetros de fertilidade no solo para a gleba 3 são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Fertilidade no solo: gleba 3.

Parâmetro	Unidade	Semestre 3		Semestre 4		Semestre 5	
		0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm
Al	mmol _c .dm ⁻³	3	1	0	0	1	3
Cálcio	mmol _c .dm ⁻³	...	...	28	17	13	10
Condutividade Elétrica	dS/m	0,07	0,06	0,18	0,15	0,17	...
CTC Efetiva	mmol _c .dm ⁻³	30	28	39	25	22	19
CTC pH 7	mmol _c .dm ⁻³	74	61	81	59	52	63
Fósforo Resina	mg.dm ⁻³	4	3	17	5	2	27
H+Al	mmol _c .dm ⁻³	47	34	42	34	31	47
Magnésio	mmol _c .dm ⁻³	...	...	8	7	6	4
Matéria Orgânica	g.dm ⁻³	34	30	37	23	11	39
pH	---	4,8	5	4,8	4,8	5	4,6
Potássio	mmol _c .dm ⁻³	...	...	2,5	1	1,6	1,6
Saturação Al	m %	10	4	0	0	5	16
Saturação de Bases	V %	36	44	48	42	40	25
Sódio Trocável	mmol _c .dm ⁻³	0,3	0,38	0,24	0,22	0,35	0,18
Soma de Bases	mmol _c .dm ⁻³	27	27	39	25	21	16

... Dado não disponível.

--- Não se aplica.

O solo da gleba 4 foi coletado apenas no terceiro período de amostragem (semestre 5), e se limitou à camada superficial de 0-20cm.

Os resultados das análises de solo da gleba 4 são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Fertilidade no solo: gleba 4.

Parâmetro	Unidade	Semestre 5
		0-20cm
Al	mmol _c .dm ⁻³	3
Cálcio	mmol _c .dm ⁻³	8
CTC Efetiva	mmol _c .dm ⁻³	16
CTC pH 7	mmol _c .dm ⁻³	60
Fósforo Resina	mg.dm ⁻³	6
H+Al	mmol _c .dm ⁻³	47
Magnésio	mmol _c .dm ⁻³	4
Matéria Orgânica	g.dm ⁻³	43
pH	---	4,5
Potássio	mmol _c .dm ⁻³	0,8
Saturação Al	m %	19
Saturação de Bases	V %	21
Sódio Trocável	mmol _c .dm ⁻³	0,14
Soma de Bases	mmol _c .dm ⁻³	13

--- Não se aplica.

Os valores de médias e medianas do solo na profundidade 0-20 cm da gleba testemunha e glebas receptoras, assim como o p-valor do teste t são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Média e mediana dos resultados de fertilidade no solo, na profundidade 0-20cm e p-valor do teste t entre solo receptor e solo testemunha.

Parâmetro	Unidade	Testemunha		Glebas receptoras		p-valor
		Média	Mediana	Média	Mediana	
Al	mmol _c .dm ⁻³	4	3	2	3	0,03
Cálcio	mmol _c .dm ⁻³	5	5	14	12	0,07
Condutividade Elétrica	dS/m	0,09	0,07	0,15	0,18	0,18
CTC pH 7	mmol _c .dm ⁻³	57	56	70	73	0,01
CTC efetiva	mmol _c .dm ⁻³	16	17	25	23	0,03
Fósforo Resina	mg.dm ⁻³	5	4	20	13	0,12
H+Al	mmol _c .dm ⁻³	44	44	47	47	0,25
Magnésio	mmol _c .dm ⁻³	3	3	5	4	0,10
Matéria Orgânica	g.dm ⁻³	30	30	38	37	0,01
pH	---	4,4	4,4	4,6	4,6	0,08
Potássio	mmol _c .dm ⁻³	0,5	0,5	2,5	2,0	0,09
Saturação Al	m %	26	25	11	10	0,002
Saturação de Bases	V %	21	23	32	32	0,04
Sódio Trocável	mmol _c .dm ⁻³	0,21	0,22	0,24	0,24	0,29
Soma de Bases	mmol _c .dm ⁻³	12	13	23	20	0,02

--- Não se aplica.

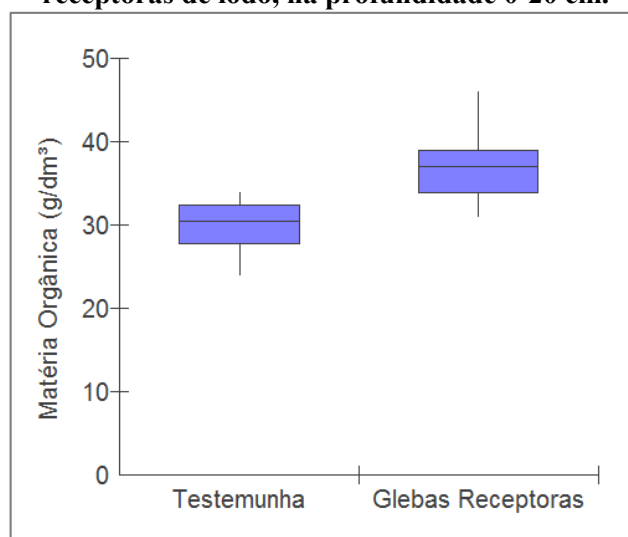
No semestre 3 a gleba 1 ainda não havia recebido nenhum lote de lodo quando o solo foi amostrado, portanto os resultados foram contabilizados na coluna "testemunha".

Valores menores que 0,05 para o p-valor foram considerados indicação de diferença significativa entre as médias.

Apesar da média e mediana dos resultados de H+Al, condutividade elétrica, pH e sódio trocável das glebas receptoras serem um pouco maiores que da gleba testemunha, esta tendência não foi confirmada estatisticamente. Após aplicação de lodo, Nascimento et al. (2004) verificaram aumento do sódio trocável e redução do pH no solo, Harrison et al. (1994) também verificou redução do pH. Já Mingorance et al. (2014) e Baghina et al. (2014) verificaram aumento do pH, e os primeiros ainda verificaram aumento da condutividade elétrica.

Os resultados obtidos quanto ao parâmetro matéria orgânica para as amostras da profundidade de 0-20 cm são todos maiores que a mediana dos resultados encontrados por Lopes (1984), de 22 g.dm⁻³. A mediana dos resultados da gleba testemunha é 30 g.dm⁻³ enquanto das demais glebas é de 37 g.dm⁻³, sendo estatisticamente diferentes ($p \leq 0,05$) (Figura 2).

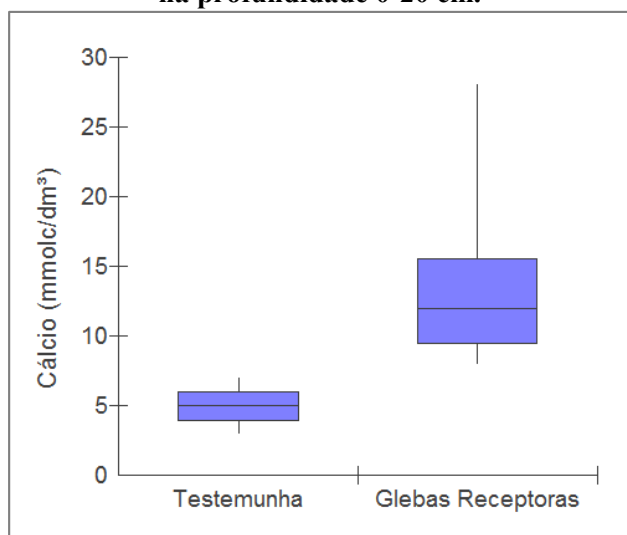
Figura 2 - Box-plot apresentando a mediana, os quartis e o maior e menor valor referente às análises de solo quanto ao parâmetro matéria orgânica para a gleba testemunha e glebas receptoras de lodo, na profundidade 0-20 cm.



Quanto ao parâmetro cálcio, na profundidade de 0-20 cm, as glebas que receberam lodo apresentaram valores superiores aos da gleba testemunha (não confirmado pela estatística), o que está condizente com o verificado por Nascimento et al. (2004) e Harrison et al. (1994). As glebas receptoras apresentaram mediana de 12 mmol_c.dm⁻³, contra 5 mmol_c.dm⁻³ da gleba testemunha (Figura 3); de acordo com Lopes (1984) a mediana regional é de 2,5 mmol_c.dm⁻³, já Barbosa Filho et al. (2005) encontraram valores médios de 14 mmol_c.dm⁻³. De acordo com Sousa e Lobato (2004) e com os parâmetros oficiais de recomendação de adubação de Goiás

(COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DE GOIÁS, 1988), os resultados indicam que o teor de cálcio trocável tanto nas glebas receptoras quanto na testemunha é classificado como baixo.

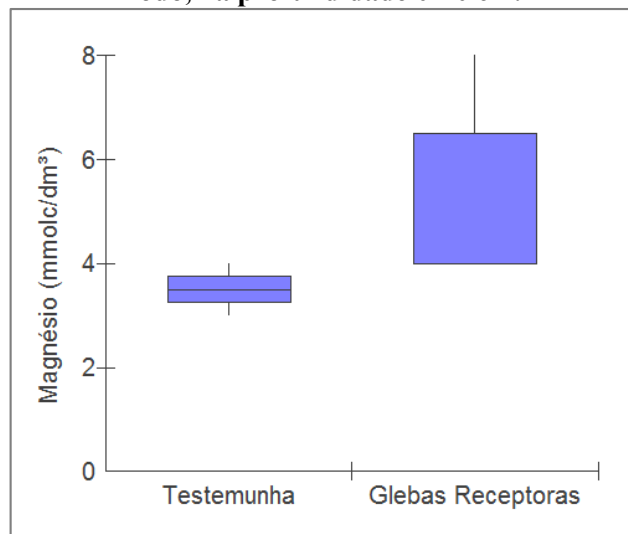
Figura 3 - Box-plot apresentando a mediana, os quartis e o maior e menor valor referente às análises de solo quanto ao parâmetro cálcio para a gleba testemunha e glebas receptoras de lodo, na profundidade 0-20 cm.



A concentração de magnésio no solo (Figura 4) de todas as glebas pode ser classificada como baixa no solo sem aplicação de lodo e como média no solo com aplicação (COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DE GOIÁS, 1988; SOUSA; LOBATO, 2004). Os resultados estão acima da mediana verificada por Lopes (1984), mas abaixo do que o apresentado por Barbosa Filho et al. (2005). Quanto ao potássio, o solo que recebeu lodo apresentou concentrações acima da média regional, enquanto o solo testemunha resultou abaixo (LOPES, 1984; BARBOSA FILHO et al., 2005).

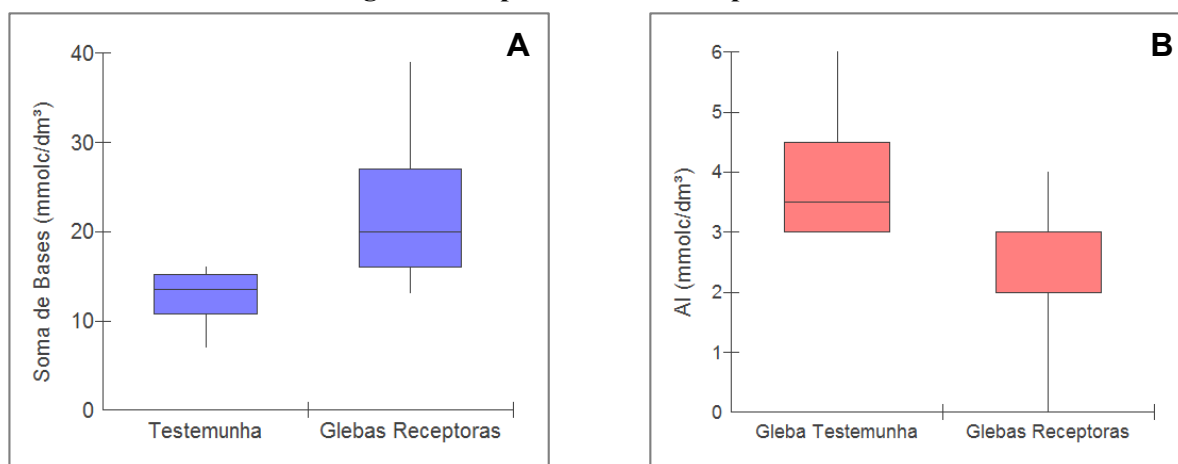
Foi verificada diferença estatisticamente significativa entre o solo que recebeu lodo e o que não recebeu quanto ao parâmetro soma de bases (Figura 5 A), apesar do mesmo não ter ocorrido individualmente para o cálcio, magnésio e potássio. Isso indica que há uma tendência de aumento das bases no solo receptor que pode não ter aparecido nos parâmetros individuais devido ao número reduzido de amostras.

Figura 4 - Box-plot apresentando a mediana, os quartis e o maior e menor valor referente às análises de solo quanto ao parâmetro magnésio para a gleba testemunha e glebas receptoras de lodo, na profundidade 0-20 cm.



O parâmetro alumínio trocável (Figura 5 B) resultou significativamente menor no solo receptor de lodo, em relação ao solo testemunha, sendo que ambos estão abaixo da mediana regional, de 5,6 mmolc.dm⁻³ (LOPES, 1984).

Figura 5 - Box-plot apresentando a mediana, os quartis e o maior e menor valor referente às análises de solo quanto ao parâmetro soma de bases (A) e alumínio trocável (B) para a gleba testemunha e glebas receptoras de lodo, na profundidade 0-20 cm.

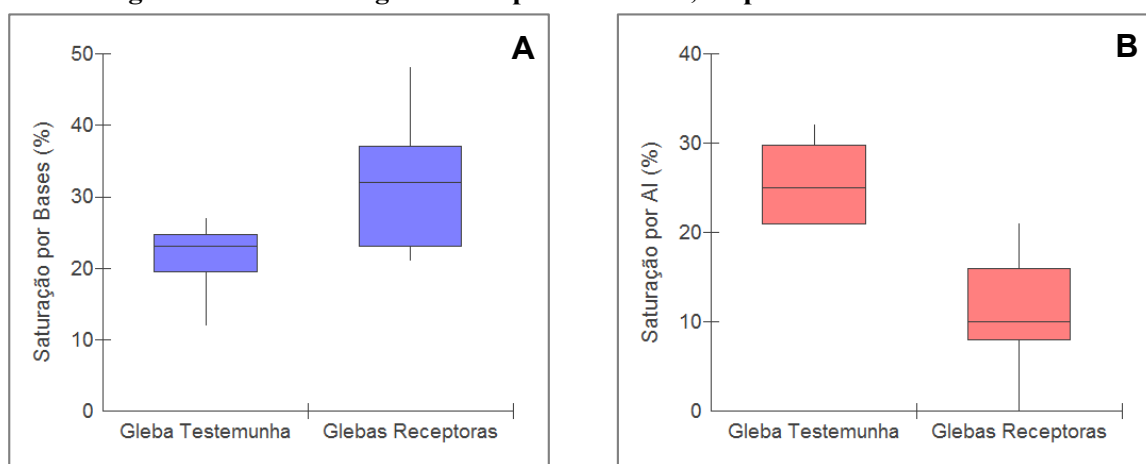


A saturação por bases e a saturação por alumínio, na profundidade de 0-20 cm, podem ser classificadas como médias tanto nas glebas receptoras quanto na gleba testemunha (COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DE GOIÁS, 1988); já Sousa e Lobato (2004)

classificam a saturação por alumínio do solo receptor de lodo como baixa e do solo testemunha como alta.

A média da saturação por bases na gleba testemunha, de 21% é significativamente menor que a média nas glebas receptoras, de 32%, e a saturação por alumínio na gleba testemunha (26%) é significativamente maior que nas glebas receptoras (11%) (Figura 6 A e B), sendo que em todas as glebas este parâmetro resultou abaixo da média regional, que é de 59% (LOPES, 1984).

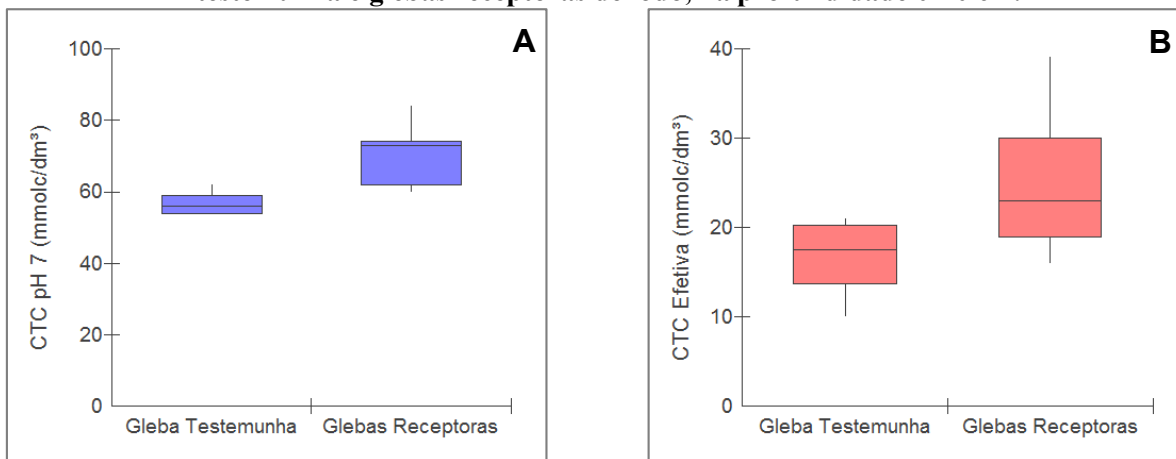
Figura 6 - Box-plot apresentando a mediana, os quartis e o maior e menor valor referente às análises de solo quanto aos parâmetros saturação por bases (A) e saturação por Al (B) para a gleba testemunha e glebas receptoras de lodo, na profundidade 0-20 cm.



A CTC efetiva regional apresenta valores muito baixos, sendo a mediana igual a 11 $\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ (LOPES, 1984). Segundo esse autor, isso indica alto grau de intemperização dos solos com predominância de argilas de baixa atividade, assim como o alto potencial de lixiviação de cátions. A CTC efetiva verificada em todas as glebas é superior à média regional. Os valores das glebas receptoras (mediana igual a 23 $\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$) são significativamente maiores ($p \leq 0,05$) que os verificados na gleba testemunha (mediana igual a 17 $\text{mmol}_c.\text{dm}^{-3}$). O mesmo ocorre com a CTC potencial (Figura 7 A e B).

A CTC pode ser definida como a capacidade de um solo reter cátions, e está diretamente relacionada à quantidade de cargas negativas que os coloides do solo apresentam. Latossolos sob cerrado tem baixa CTC apesar dos altos teores de argila, uma vez que essas argilas são predominantemente de baixa atividade (LOPES; GUILHERME, 2004). A adição de matéria orgânica por meio da aplicação do lodo no solo pode ter contribuído para o aumento da CTC nas glebas receptoras.

Figura 7 - Box-plot apresentando a mediana, os quartis e o maior e menor valor referente às análises de solo quanto ao parâmetro CTC potencial (A) e CTC efetiva (B) para a gleba testemunha e glebas receptoras de lodo, na profundidade 0-20 cm.



A fertilidade do solo é inferida principalmente pelos parâmetros soma de bases, saturação por bases, CTC e saturação por alumínio. A fertilidade depende de vários fatores, sendo os principais o tipo da rocha de origem, idade e condições de intemperismo. Solos “jovens” tendem a ser mais férteis, enquanto em solos mais “velhos” e intemperizados, como o latossolo, os elementos que contribuem para a fertilidade, como cálcio e magnésio são lixiviados do sistema, resultando em solos menos férteis (CORREIA; REATTO; SPERA, 2004). Este fato condiz com os resultados obtidos por Lopes (1984), o qual identificou solos pouco férteis na região de Goiás, onde foi realizado este trabalho.

Os resultados deste trabalho indicam que o solo da área de estudo são mais férteis do que a média regional (LOPES, 1984), apesar dos parâmetros indicativos de fertilidade para atividades agrícolas serem classificados entre baixo e médio (COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DE GOIÁS, 1988).

A saturação por bases, soma de bases e CTC são significativamente maiores nas glebas receptoras de lodo, enquanto o alumínio trocável e a saturação por alumínio são menores ($p \leq 0,05$), o que indica maior fertilidade nas glebas receptoras de lodo do que na gleba testemunha. Os resultados são corroborados por Nascimento et al. (2004) que também observaram aumento dos teores de cálcio, magnésio, potássio e CTC em Argissolo vermelho-amarelo distrófico textura média e Espodossolo Cárbico hidromórfico textura arenosa tratados com diferentes doses de lodo de esgoto. Harrison et al. (1994) também verificaram, mesmo após 15 anos da

aplicação de 500 t.ha⁻¹ de lodo de esgoto em um solo de textura grossa, que o solo tratado com lodo apresentava maiores teores de cálcio e maior CTC do que o solo das parcelas testemunha.

5.3.2 *Constituintes inorgânicos*

Para todas as glebas do estudo, a concentração de todos os constituintes inorgânicos analisados apresenta-se abaixo dos limites máximos referentes aos Valores de Investigação (VI) da Resolução CONAMA nº 420/2009, os quais apresentam as concentrações de substâncias acima das quais existem riscos diretos ou indiretos para a saúde humana.

Os valores de médias e medianas do solo na profundidade 0-20 cm da gleba testemunha e glebas receptoras, assim como o p-valor do teste t são apresentados na Tabela 23. Valores menores que 0,05 para o p-valor foram considerados indicação de diferença significativa entre as médias.

Os resultados dos parâmetros antimônio, cádmio, mercúrio, prata, arsênio, molibdênio, chumbo e selênio não alcançaram o limite de detecção da amostra, portanto não foi possível o cálculo da média, mediana e p-valor.

Tabela 23 – Média e mediana dos resultados de constituintes inorgânicos no solo, na profundidade 0-20cm e p-valor do teste t entre solo receptor e solo testemunha.

Parâmetro	Unidade	Testemunha		Glebas receptoras		p-valor
		Média	Mediana	Média	Mediana	
Cobalto	mg.kg ⁻¹	8,0	8,1	9,7	7,3	0,36
Níquel	mg.kg ⁻¹	19	17	29	23	0,10
Cobre	mg.kg ⁻¹	27	27	33	33	0,25
Bário	mg.kg ⁻¹	9,8	10,9	16	14	0,06
Zinco	mg.kg ⁻¹	18	19	22	21	0,20
Alumínio	mg.kg ⁻¹	81177	81373	86861	92754	0,38
Boro	mg.kg ⁻¹	461	395	505	446	0,29
Manganês	mg.kg ⁻¹	202	198	227	215	0,29
Ferro	mg.kg ⁻¹	59816	59688	79691	81915	0,06

No semestre 3 a gleba 1 ainda não havia recebido nenhum lote de lodo quando o solo foi amostrado, portanto os resultados foram contabilizados na coluna “testemunha”.

De maneira geral, os valores médios das glebas receptoras resultaram um pouco superiores aos da gleba testemunha, porém não foram verificadas diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,05$) na concentração de nenhum constituinte inorgânico no solo entre os tratamentos.

Desta forma, apesar da tendência de aumento da concentração, os dados indicam que a quantidade aplicada de lodo não causou alteração significativa da concentração dos componentes analisados no solo. Isso é condizente com o fato do lodo apresentar concentrações baixas desses constituintes (Tabela 4), além da quantidade teórica total de cada constituinte inorgânico adicionado ao solo via aplicação de lodo (Tabela 5) também ser baixa.

Conforme já foi discutido neste trabalho, a qualidade do lodo está diretamente relacionada às características do efluente tratado que o originou (SANEPAR, 1999). No caso do presente estudo, o lodo se originou na ETE de uma indústria alimentícia que não utiliza esses componentes inorgânicos em seu processo produtivo. Assim, é esperado que o lodo gerado contenha concentração baixa dos constituintes inorgânicos estudados, e que a aplicação do resíduo apresente baixo impacto em relação à concentração destes componentes no solo.

Os resultados laboratoriais das amostras de solo coletadas nas glebas 1, 2, 3, 4 e testemunha quanto aos constituintes inorgânicos são apresentados nas tabelas 24 a 28, juntamente com Valores de Investigação (VI) para áreas agrícolas da Resolução CONAMA nº 420/2009.

Tabela 24 - Constituintes inorgânicos no solo: gleba testemunha (mg.kg⁻¹).

Parâmetro	Semestre 3		Semestre 4			Semestre 5	VI Resolução nº 420/09
	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm	
Antimônio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	5
Cádmio	< 0,099	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	3
Mercurio	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	12
Prata	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	25
Arsênio	2,4	3,8	< 1	< 1	< 1	< 1	35
Cobalto	10	14	8,7	11	5,5	7,5	35
Molibdênio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	50
Níquel	10	11	22	31	13	32	70
Chumbo	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	180
Cobre	15	17	38	47	18	35	200
Bário	12	14	9,7	11	5,8	12	300
Zinco	12	11	24	26	16	23	450
Selênio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	Não há
Alumínio	61611	76608	100351	110142	59049	96699	Não há
Boro	359	387	717	748	471	430	Não há
Manganês	267	238	224	225	149	172	Não há
Ferro	32920	33684	86455	86660	86472	87979	Não há

Nota: Os valores antecidos pelo sinal de “menor que” (<) indicam que a quantidade da substância não alcançou o limite de quantificação da amostra.

Tabela 25 - Constituintes inorgânicos no solo: gleba 1 (mg.kg⁻¹).

Parâmetro	Semestre 3		Semestre 4			Semestre 5	VI Resolução n° 420/09
	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm	
Antimônio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	5
Cádmio	< 0,099	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	3
Mercurio	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,1	< 0,05	12
Prata	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	25
Arsênio	2,9	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	35
Cobalto	5,6	7,8	7,6	7,5	5,2	9,2	35
Molibdênio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	50
Níquel	11	6,5	21	19	7,7	43	70
Chumbo	< 1	2,4	< 1	< 1	< 1	< 1	180
Cobre	19	8,7	33	31	14	36	200
Bário	5,5	2,9	9,2	8,3	7,3	12	300
Zinco	14	7,8	24	24	19	23	450
Selênio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	Não há
Alumínio	66047	31540	90945	105028	52381	100093	Não há
Boro	337	284	635	685	441	446	Não há
Manganês	145	126	195	203	160	215	Não há
Ferro	31909	30155	80837	85889	78495	87388	Não há

Nota: Os valores antecidos pelo sinal de “menor que” (<) indicam que a quantidade da substância não alcançou o limite de quantificação da amostra.

Tabela 26 - Constituintes inorgânicos no solo: gleba 2 (mg.kg⁻¹).

Parâmetro	Semestre 3		Semestre 4			Semestre 5	VI Resolução n° 420/09
	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm	
Antimônio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	5
Cádmio	< 0,1	< 0,099	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	3
Mercurio	0,24	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	12
Prata	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	25
Arsênio	< 1	6	< 1	< 1	< 1	< 1	35
Cobalto	4	4,1	34	19	6,4	4,8	35
Molibdênio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	50
Níquel	13	14	33	28	5,5	18	70
Chumbo	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	180
Cobre	11	12	60	37	6,2	24	200
Bário	12	7,7	34	12	8,2	13	300
Zinco	13	9,4	43	19	6,6	20	450
Selênio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	Não há
Alumínio	70248	84487	120649	129962	47308	91939	Não há
Boro	419	390	649	687	441	446	Não há
Manganês	174	119	414	282	206	155	Não há
Ferro	83963	33767	78128	83206	77687	52073	Não há

Nota: Os valores antecidos pelo sinal de “menor que” (<) indicam que a quantidade da substância não alcançou o limite de quantificação da amostra.

Tabela 27 - Constituintes inorgânicos no solo: gleba 3 (mg.kg⁻¹).

Parâmetro	Semestre 3		Semestre 4			Semestre 5	VI Resolução n° 420/09
	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm	
Antimônio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	5
Cádmio	< 0,1	< 0,098	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	3
Mercurio	< 0,05	< 0,049	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	12
Prata	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	25
Arsênio	< 1	4,9	< 1	< 1	< 1	< 1	35
Cobalto	5,2	4,3	6,3	8,3	3,4	7,3	35
Molibdênio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	50
Níquel	19	16	23	39	6	49	70
Chumbo	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	180
Cobre	18	14	26	35	7,1	52	200
Bário	14	9,5	16	14	6,9	21	300
Zinco	14	10	21	20	6,3	23	450
Selênio	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	Não há
Alumínio	92754	81991	103635	123304	49435	101988	Não há
Boro	409	391	648	682	437	451	Não há
Manganês	217	149	262	255	139	173	Não há
Ferro	81915	33999	73355	78759	76464	91226	Não há

Nota: Os valores antecidos pelo sinal de “menor que” (<) indicam que a quantidade da substância não alcançou o limite de quantificação da amostra.

Tabela 28 - Constituintes inorgânicos no solo: gleba 4 (mg.kg⁻¹).

Parâmetro	Semestre 5	VI Resolução n° 420/09
	0-20cm	
Antimônio	< 1	5
Cádmio	< 0,1	3
Mercurio	< 0,05	12
Prata	< 1	25
Arsênio	< 1	35
Cobalto	8,5	35
Molibdênio	< 1	50
Níquel	41	70
Chumbo	< 1	180
Cobre	37	200
Bário	15	300
Zinco	21	450
Selênio	< 1	Não há
Alumínio	9495	Não há
Boro	445	Não há
Manganês	238	Não há
Ferro	88335	Não há

Nota: Os valores antecidos pelo sinal de “menor que” (<) indicam que a quantidade da substância não alcançou o limite de quantificação da amostra.

5.3.3 Substâncias orgânicas

Os resultados referentes às análises de substâncias orgânicas potencialmente tóxicas dos grupos benzenos clorados, ésteres ftálicos, etanos clorados, etenos clorados, fenóis clorados, fenóis não clorados, hidrocarbonetos aromáticos voláteis, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, metanos clorados, PCBs e pesticidas organoclorados da gleba testemunha e glebas 1, 2, 3 e 4 são apresentados no Apêndice A, nas tabelas 29 a 33.

Todos os resultados obtidos referentes às substâncias orgânicas potencialmente tóxicas analisadas nas amostras de solo coletadas em todas as glebas do presente estudo encontram-se abaixo dos Valores de Prevenção (VP) da Resolução CONAMA nº 420/2009, os quais representam as concentrações de substâncias para as quais o solo seja capaz de sustentar suas funções principais. Os valores orientadores podem ser consultados na Tabela 34, Anexo A.

Desta forma, quanto às substâncias orgânicas potencialmente tóxicas analisadas, o solo das glebas 1, 2, 3, 4 e testemunha atende aos padrões de qualidade determinados na legislação.

Não foi possível a comparação estatística entre os dados de substâncias inorgânicas da gleba testemunha e das glebas receptoras, uma vez que quase todas as análises resultaram abaixo dos limites de quantificação do laboratório.

6 CONCLUSÕES

- a) O lodo utilizado no presente estudo de caso apresenta características compatíveis à aplicação no solo, desde que passe por processo de redução de patógenos.
- b) A quantidade total teórica de constituintes inorgânicos aplicada no solo via lodo atende à Resolução CONAMA nº 375/2006.
- c) Todos os parâmetros analisados na água subterrânea atendem ao padrão de qualidade determinado na Resolução CONAMA nº 420/2009 e ao padrão de potabilidade definido na Portaria MS nº 2914/2011.
- d) A água subterrânea amostrada a jusante da aplicação de lodo apresentou níveis mais altos de bário e zinco que a coletada a montante, porém ambos os parâmetros se mantiveram bem abaixo dos limites máximos estabelecidos na Resolução CONAMA nº 420/2009 e Portaria MS nº 2914/2011. Não está claro se a diferença observada está relacionada à disposição do resíduo no solo.
- e) A aplicação de lodo contribuiu para o aumento da fertilidade do solo das glebas receptoras, indicado pelo aumento da saturação por bases, soma de bases, CTC, matéria orgânica, além da redução do alumínio trocável e da saturação por alumínio.
- f) Todos os parâmetros analisados no solo atendem ao padrão de qualidade determinado na Resolução CONAMA nº 420/2009.
- g) Foi verificada uma tendência de pequeno aumento da concentração dos constituintes inorgânicos (Al, Ba, B, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn) no solo receptor de lodo em relação ao solo testemunha, o que não foi confirmado estatisticamente.
- h) Não foi verificado aumento das substâncias orgânicas potencialmente tóxicas no solo e na água subterrânea da área de aplicação de lodo em relação à testemunha.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: Water Environment Federation, 2012.
- ANDRADE, C. A.; MATTIAZZO, M. E. Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após aplicação de bio sólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 58, p.59-72, dez. 2000.
- ANDRADE, L. R. M. Corretivos e fertilizantes para culturas perenes e semiperenes. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa, 2004. Cap. 13. p. 346-348.
- ASIK, B. B. et al. Effect of the application of various wastewater sludges on the properties of sandy soil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 2, Feb 2015. ISSN 0167-6369. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10661-015-4300-5#> >. Acesso em: 23 jun. 2015.
- BAGHINA, N. et al. Sewage sludge fertilisation influence on main soil chemical features. **Journal of Environmental Protection and Ecology**, Sofia, v. 15, n. 1, p. 217-222, 2014.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P.. Atributos de fertilidade do solo e produtividade do feijoeiro e da soja influenciados pela calagem em superfície e incorporada. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 507-514, jun. 2005. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542005000300001&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 18 jun. 2015.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Disposição de lodo de esgoto em solo agrícola. In: _____. **Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais na Agricultura**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.
- BOEIRA, R. C. Lixiviação de nitrogênio em latossolo incubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p.947-958, ago. 2009.
- BOEIRA, R. C.; MAXIMILIANO, V. C. B. Dinâmica da mineralização do nitrogênio em lodos de esgoto. In: BETTIOL, W. e CAMARGO, O. (Ed.). **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa, 2006. cap. 7, p. 125-136.
- BRASIL. Decreto 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o Regulamento da 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, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 jan. 2004.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 ago. 2006a.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 380, de 31 de outubro de 2006. Altera o Anexo I da Resolução CONAMA nº 375/2006. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 07 nov. 2006b.

BRASIL. Instrução Normativa MAPA/SDA nº 27, de 05 de junho de 2006. Dispõe sobre os limites que os fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes deverão atender para serem produzidos, importados ou comercializados. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jun. 2006c.

BRASIL. Instrução Normativa MAPA/SDA nº 25, de 23 de julho de 2009. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 28 jul. 2009a.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 dez. 2009b.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. Portaria MS nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 dez. 2011.

BRASIL. Instrução Normativa MAPA nº 53, de 23 de outubro de 2013. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 24 out. 2013.

CETESB. Ficha de informação toxicológica: Zinco. 2012. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/Zinco.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2015.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DE SOLOS DE GOIÁS. Governo do Estado de Goiás. **Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás: 5ª Aproximação**. Goiânia: UFG/EMGOPA, 1988. 101 p. Informativo Técnico n. 1.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

CORREIA, J. R.; REATTO, A.; SPERA, S. T. Solos e suas relações com o uso e manejo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa, 2004. Cap. 13. p. 346-348.

DYNIA, J. F.; BOEIRA, R. C.; SOUZA, M. D. Nitrato no perfil de um latossolo vermelho distroférico cultivado com milho sob aplicações sequenciais de lodo de esgoto. In: BETTIOL, W. e CAMARGO, O. (Ed.). **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa, 2006. cap. 5, p. 79-89.

EGIARTE, G. et al. Monitoring heavy metal concentrations in leachates from a forest soil subjected to repeated applications of sewage sludge. **Environmental Pollution**, v. 156, n. 3, p. 840-848, 2008. ISSN 0269-7491. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026974910800290X#>>. Acesso em: 29 jun. 2015.

FERNANDES, F. et al. Avaliação de alternativas e gerenciamento do lodo na ETE. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. Von; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. Cap. 7. p. 299-317. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).

FILIZOLA, H. F. et al. Aspectos físicos de um solo tratado com lodo de esgoto: estabilidade de agregados e argila dispersa em água. In: BETTIOL, W. e CAMARGO, O. (Ed.). **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa, 2006. cap. 8, p. 137-147.

HARRISON, R. et al. Long-term effects of heavy applications of biosolids on organic matter and nutrient content of a coarse-textured forest soil. **Forest Ecology and Management**, Seattle, v. 66, p. 165-177, 1994.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas do Brasil 1961-1990**, 2009b. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 10 jul. 2014.

KOTTEK, M. J. et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**. Stuttgart: Gebrüder Borntraeger. v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LARA, A. I.; ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. Avaliação dos impactos ambientais e monitoramento da disposição final do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. Von; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. Cap. 11. p. 465-483. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).

LIRA, A. C. S.; GUEDES, M. C.; SCHALCH, V. Reciclagem de lodo de esgoto em plantação de eucalipto: carbono e nitrogênio. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 207-216, abr. 2008.

LOPES, A. S. **Solos sob cerrado**: Características, propriedades e manejo. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato (POTAFOS), 1984. 162 p.

MAGALHÃES, M. O. L. et al. Mobilidade de bário em solo tratado com sulfato de bário sob condição de oxidação e redução. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 34, n. 9, p.1544-1549, jun. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422011000900012>. Acesso em: 04 maio 2015.

MÉNDEZ-CONTRERAS, J. M. et al. . Inactivation of high concentration of pathogens in land-applied food industry sludge. **Water SA**, Pretoria , v. 35, n. 4, July 2009 . Disponível em: <http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1816-79502009000400002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 23 jun. 2015.

MIKI, M. K.; ALEM SOBRINHO, P.; VAN HAANDEL, A. C. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos: Condicionamento, desaguamento mecanizado e secagem térmica do lodo. In: ANDREOLI, C. V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Curitiba: Abes, 2006. Cap. 4. p. 49-108.

MINGORANCE, M. D. et al. Stabilized municipal sewage sludge addition to improve properties of an acid mine soil for plant growth. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, n. 4, p. 703-712, 2014.

MORETTI, S. M. L.; BERTONCINI, E. I.; ABREU-JUNIOR, C. H. Aplicação do método de mineralização de nitrogênio com lixiviação para solo tratado com lodo de esgoto e composto orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p.622-631, jun. 2013.

MUNHOZ, R. O.; BERTON, R. S. Disponibilidade do fósforo para o milho em solo que recebeu lodo de esgoto. In: BETTIOL, W. e CAMARGO, O. (Ed.). **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa, 2006. cap. 6, p. 91-124.

NASCIMENTO, C. W. A. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

NICOLÁS, C. et al. Soil aggregation in a semiarid soil amended with composted and non-composted sewage sludge - A field experiment. **Geoderma**, Amsterdam, v. 219, p. 24-31, 2014.

NOGUEIRA, T. A. R. et al. Barium uptake by maize plants as affected by sewage sludge in a long-term field study. *J. Hazard. Mater.* Amsterdam, p. 1148-1157. set. 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389410007363#>>. Acesso em: 04 maio 2015.

NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL). **Biosolids Applied to Land**: Advancing Standards. Washington, DC: National Academy Press, 2002.

PAIVA, A. V. et al. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p.499-511, dez. 2009.

PEDROZA, E. C. L. et al. Aplicação de leitos de secagem de lodo gerado em estações de tratamento de esgotos. In: ANDREOLI, C. V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Curitiba: Abes, 2006. Cap. 5. p. 109-158.

PLANO de gestão ambiental. Goiânia, 2010. 44p.

RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundação Iac, 1996. 285 p. Boletim Técnico 100.

RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

SAITO, M. L. **O uso do lodo de esgoto na agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos**. Jaguariúna: Embrapa, 2007.

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. **Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura**. Curitiba, 1999.

SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F.; SOCCOL, V. T.; MORITA, D. M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. Von; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. Cap. 3. p. 69-122. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).

SILVA, et al. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. Von; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. Cap. 7. p. 299-317. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).

SILVA, C. A. et al. Dinâmica de metais pesados em latossolo adubado com lodo de esgoto e em plantas de milho. In: BETTIOL, W. e CAMARGO, O. (Ed.). **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa, 2006. cap. 4, p. 45-77.

SILVA, P. H. M. et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratado com diferentes doses de lodos de esgoto úmido e seco, condicionados com polímeros. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 79-88, mar. 2008.

SMITH, S. Organic contaminants in sewage sludge (biosolids) and their significance for agricultural recycling. **Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences**, v. 367, n. 1904, p. 4005-4041, 2009.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2. ed. Planaltina: Embrapa, 2004. p. 346-348.

SPERLING, M. Von; GONÇALVES, R. F. Lodo de esgoto: Características e produção. In: ANDREOLI, C. V.; SPERLING, M. Von; FERNANDES, F. **Lodo de esgotos: Tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. Cap. 1. p. 17-67. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).

SPERLING, M. Von. Níveis, processos e sistemas de tratamento de esgotos. In: _____. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. Cap. 4. p. 249-355. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias).

UNAL, M.; KATKAT, A. V. The effects of food industry sludge on soil properties and growing of maize (*Zea mays* L.). **Journal of Food Agriculture & Environment**, v. 7, n. 2, p. 435-440, Apr 2009. ISSN 1459-0255.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Health effects assessment for barium**. 1984. Disponível em:
<<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000FDFS.PDF?Dockey=2000FDFS.PDF>>. Acesso em: 04 maio 2015.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 505. Analysis of organohalide pesticides and commercial polychlorinated biphenyl (PCB) products in water by microextraction and gas chromatography**. Washington: USEPA, 1989. Disponível em:
<http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/bioindicators/upload/2007_11_06_methods_method_505.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2014.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 1613: Tetra- through octa-chlorinated dioxins and furans by isotope dilution HRGC/HRMS**. Washington: USEPA, 1994. Disponível em:
<http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/organics/dioxins/upload/2007_07_10_methods_method_dioxins_1613.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2014.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 8260C. Volatile organic compounds by gas chromatography/ mass spectrometry: Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods (SW846)**. Washington: USEPA, 1996. Disponível em:
<<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/8260b.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2014.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **625/R-92/013: Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge**. Washington: USEPA, 2003a.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Standards for the use or disposal of sewage sludge: decision not to regulate dioxins in applied land sewage sludge**. Federal Register. v. 68 n. 206. 2003b. Disponível em:

<<http://www.gpo.gov/fdsys/granule/FR-2003-10-24/03-26923/content-detail.html>>. Acesso em out. 2014.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 9045D. Soil and waste pH.** Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods (SW846). Washington: USEPA, 2004. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/9045d.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2014.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 245.7: Mercury in water by cold vapor atomic fluorescence spectrometry.** Washington: USEPA, 2005a. Disponível em: <http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/bioindicators/upload/2007_07_10_methods_method_245_7.pdf>. Acesso em: 04 dez. 2014.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Ecological soil screening levels for barium.** Washington. EPA: 2005b. Disponível em: <http://rais.ornl.gov/documents/eco-ssl_barium.pdf>. Acesso em: 04 maio 2015.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 6010. Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry:** Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods (SW846). Washington: USEPA, 2007. Disponível em: < <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/6010c.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2015.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 3051. Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oil:** Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods (SW846). Washington: USEPA, 2007b. Disponível em: < <http://www.epa.gov/solidwaste/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2015.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 8270D. Semivolatile organic compounds by gas chromatography/mass spectrometry:** Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods (SW846). Washington: USEPA, 2007c. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/8270d.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2014.

VAN HAANDEL, A.; ALEM SOBRINHO, P. Produção, composição e constituição de lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento:** Biossólidos. Curitiba: Abes, 2006. Cap. 2. p. 7-28.

YEGANEH, M. et al. Transport of zinc, copper, and lead in a sewage sludge amended calcareous soil. **Soil Use and Management**, v. 26, n. 2, p. 176-182, 2010. ISSN 0266-0032. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.2010.00270.x/epdf>>. Acesso em 29 jun. 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Resultados de substâncias orgânicas potencialmente tóxicas no solo.

Tabela 29 (continua) - Substâncias orgânicas potencialmente tóxicas no solo: gleba testemunha.

Parâmetro	Unidade	Semestre 3		Semestre 4			Semestre 5
		0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2,3-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,064	< 0,064	< 0,062	< 0,062	< 0,064	< 0,058
1,2,4-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,3,5-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,3-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,4-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Clorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Hexaclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Di(2-etilhexil)ftalato	mg.kg ⁻¹	< 0,064	< 0,064	< 0,062	< 0,062	< 0,064	< 0,058
Dibutilftalato	mg.kg ⁻¹	< 0,064	< 0,064	< 0,062	< 0,062	< 0,064	< 0,058
Dimetil Ftalato	mg.kg ⁻¹	< 0,064	< 0,064	< 0,062	< 0,062	< 0,064	< 0,058
1,1,1-Tricloroetano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1-Dicloroetano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2-Dicloroetano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1-Dicloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Cis-1,2-Dicloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto de Vinila	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,002	< 0,003	< 0,003	< 0,002
Tetracloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Trans-1,2-Dicloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Tricloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
2,3,4,5-Tetraclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,3,4,6-Tetraclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,4,5-Triclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,4,6-Triclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,4-Diclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2-Clorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
3,4-Diclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Pentaclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Cresóis Totais	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,009	< 0,009	< 0,01	< 0,009
Fenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Benzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Estireno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Etilbenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Tolueno	mg.kg ⁻¹	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Xilenos	mg.kg ⁻¹	< 0,019	< 0,019	< 0,018	< 0,019	< 0,019	< 0,018
Antraceno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Benzo(a)antraceno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003

Tabela 29 (conclusão) - Substâncias orgânicas potencialmente tóxicas no solo: gleba testemunha.

Parâmetro	Unidade	Semestre 3		Semestre 4			Semestre 5
		0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm
Benzo(a)pireno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Benzo(g,h,i)perileno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Benzo(k)fluoranteno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Criseno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Dibenzo(a,h)antraceno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Fenantreno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Indeno(1,2,3,cd)pireno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Naftaleno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Clorofórmio	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Diclorometano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Tetracloroeto de Carbono	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
PCBs (lista holandesa)	mg.kg ⁻¹	< 0,005	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004
Aldrin	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
DDD (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
DDE (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
DDT (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Dieldrin	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Endrin	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
HCH Beta	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Lindano (g-HCH)	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003

Tabela 30 - (continua) - Substâncias orgânicas potencialmente tóxicas no solo: gleba 1.

Parâmetro	Unidade	Semestre 3		Semestre 4			Semestre 5
		0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2,3-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,067	< 0,065	< 0,063	< 0,062	< 0,063	< 0,059
1,2,4-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,3,5-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,3-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,4-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Clorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Hexaclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Di(2-etilhexil)ftalato	mg.kg ⁻¹	< 0,067	< 0,065	< 0,063	< 0,062	< 0,063	< 0,059
Dibutilftalato	mg.kg ⁻¹	< 0,067	< 0,065	< 0,063	< 0,062	< 0,063	< 0,059
Dimetil Ftalato	mg.kg ⁻¹	< 0,067	< 0,065	< 0,063	< 0,062	< 0,063	< 0,059
1,1,1-Tricloroetano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1-Dicloroetano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2-Dicloroetano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1-Dicloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Cis-1,2-Dicloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Tabela 30 (conclusão) - Substâncias orgânicas potencialmente tóxicas no solo: gleba 1.

Parâmetro	Unidade	Semestre 3		Semestre 4			Semestre 5
		0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm
Cloreto de Vinila	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,002
Tetracloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Trans-1,2-Dicloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Tricloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
2,3,4,5-Tetraclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,3,4,6-Tetraclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,4,5-Triclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,4,6-Triclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,4-Diclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2-Clorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
3,4-Diclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Pentaclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Cresóis Totais	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,009	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Fenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Benzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Estireno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Etilbenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Tolueno	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Xilenos	mg.kg ⁻¹	< 0,02	< 0,02	< 0,019	< 0,019	< 0,019	< 0,018
Antraceno	mg.kg ⁻¹	0,005	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Benzo(a)antraceno	mg.kg ⁻¹	0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Benzo(a)pireno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Benzo(g,h,i)perileno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Benzo(k)fluoranteno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Criseno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Dibenzo(a,h)antraceno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Fenantreno	mg.kg ⁻¹	0,023	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Indeno(1,2,3,cd)pireno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Naftaleno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Clorofórmio	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Diclorometano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Tetracloroeto de Carbono	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
PCBs (lista holandesa)	mg.kg ⁻¹	< 0,005	< 0,005	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004
Aldrin	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
DDD (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
DDE (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
DDT (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Dieldrin	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Endrin	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
HCH Beta	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Lindano (g-HCH)	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003

Tabela 31 (continua) - Substâncias orgânicas potencialmente tóxicas no solo: gleba 2.

Parâmetro	Unidade	Semestre 3		Semestre 4			Semestre 5
		0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2,3-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,067	< 0,074	< 0,065	< 0,063	< 0,064	< 0,059
1,2,4-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,3,5-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,3-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,4-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Clorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Hexaclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Di(2-etilhexil)ftalato	mg.kg ⁻¹	< 0,067	< 0,074	< 0,065	< 0,063	< 0,064	< 0,059
Dibutilftalato	mg.kg ⁻¹	< 0,067	< 0,074	< 0,065	< 0,063	< 0,064	< 0,059
Dimetil Ftalato	mg.kg ⁻¹	< 0,067	< 0,074	< 0,065	< 0,063	< 0,064	< 0,059
1,1,1-Tricloroetano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1-Dicloroetano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2-Dicloroetano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1-Dicloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Cis-1,2-Dicloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto de Vinila	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,002
Tetracloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Trans-1,2-Dicloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Tricloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
2,3,4,5-Tetraclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,3,4,6-Tetraclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,4,5-Triclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,4,6-Triclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,4-Diclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2-Clorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
3,4-Diclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Pentaclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Cresóis Totais	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,011	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,009
Fenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Benzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Estireno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Etilbenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Tolueno	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Xilenos	mg.kg ⁻¹	< 0,02	< 0,022	< 0,02	< 0,019	< 0,019	< 0,018
Antraceno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	0,02	< 0,003	< 0,003	0,004
Benzo(a)antraceno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	0,011	< 0,003	< 0,003	0,004
Benzo(a)pireno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	0,012	< 0,003	< 0,003	0,006
Benzo(g,h,i)perileno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	0,011	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Benzo(k)fluoranteno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	0,009	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Criseno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	0,013	< 0,003	< 0,003	0,006

Tabela 31 (conclusão) - Substâncias orgânicas potencialmente tóxicas no solo: gleba 2.

Parâmetro	Unidade	Semestre 3		Semestre 4			Semestre 5
		0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm
Dibenzo(a,h)antraceno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Fenantreno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	0,063	0,004	< 0,003	0,029
Indeno(1,2,3,cd)pireno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	0,012	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Naftaleno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Clorofórmio	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Diclorometano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Tetracloreto de Carbono	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
PCBs (lista holandesa)	mg.kg ⁻¹	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,004	< 0,005	< 0,004
Aldrin	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
DDD (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006
DDE (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006
DDT (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Dieldrin	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Endrin	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
HCH Beta	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Lindano (g-HCH)	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,004	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003

Tabela 32 (continua) - Substâncias orgânicas potencialmente tóxicas no solo: gleba 3.

Parâmetro	Unidade	Semestre 3		Semestre 4			Semestre 5
		0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
1,2,3-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,065	< 0,065	< 0,064	< 0,063	< 0,063	< 0,059
1,2,4-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,3,5-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,3-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,4-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Clorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Hexaclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Di(2-etilhexil)ftalato	mg.kg ⁻¹	< 0,065	< 0,065	< 0,064	< 0,063	< 0,063	< 0,059
Dibutilftalato	mg.kg ⁻¹	< 0,065	< 0,065	< 0,064	< 0,063	< 0,063	< 0,059
Dimetil Ftalato	mg.kg ⁻¹	< 0,065	< 0,065	< 0,064	< 0,063	< 0,063	< 0,059
1,1,1-Tricloroetano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1-Dicloroetano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2-Dicloroetano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1-Dicloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Cis-1,2-Dicloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cloreto de Vinila	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,002
Tetracloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Trans-1,2-Dicloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Tricloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Tabela 32 (conclusão) - Substâncias orgânicas potencialmente tóxicas no solo: gleba 3.

Parâmetro	Unidade	Semestre 3		Semestre 4			Semestre 5
		0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	40-60cm	0-20cm
2,3,4,5-Tetraclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,3,4,6-Tetraclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,4,5-Triclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,4,6-Triclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2,4-Diclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
2-Clorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
3,4-Diclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Pentaclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Cresóis Totais	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,009	< 0,009	< 0,009
Fenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Benzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Estireno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Etilbenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Tolueno	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Xilenos	mg.kg ⁻¹	< 0,02	< 0,02	< 0,019	< 0,019	< 0,019	< 0,018
Antraceno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,008
Benzo(a)antraceno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	0,004	< 0,003	< 0,003	0,009
Benzo(a)pireno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,011
Benzo(g,h,i)perileno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,007
Benzo(k)fluoranteno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,004
Criseno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	0,004	< 0,003	< 0,003	0,01
Dibenzo(a,h)antraceno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Fenantreno	mg.kg ⁻¹	0,012	0,004	0,007	0,005	< 0,003	0,055
Indeno(1,2,3,cd)pireno	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	0,008
Naftaleno	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Clorofórmio	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Diclorometano	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Tetracloroeto de Carbono	mg.kg ⁻¹	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
PCBs (lista holandesa)	mg.kg ⁻¹	< 0,005	< 0,005	< 0,004	< 0,004	< 0,004	< 0,004
Aldrin	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
DDD (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
DDE (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
DDT (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,007	< 0,007	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006
Dieldrin	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Endrin	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
HCH Beta	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Lindano (g-HCH)	mg.kg ⁻¹	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003

Tabela 33 (continua) - Substâncias orgânicas potencialmente tóxicas no solo: gleba 4.

Parâmetro	Unidade	Semestre 5
		0-20cm
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,003
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,003
1,2,3-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,059
1,2,4-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01
1,2-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01
1,3,5-Triclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01
1,3-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01
1,4-Diclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01
Clorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,01
Hexaclorobenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,003
Di(2-etilhexil)ftalato	mg.kg ⁻¹	< 0,059
Dibutilftalato	mg.kg ⁻¹	< 0,059
Dimetil Ftalato	mg.kg ⁻¹	< 0,059
1,1,1-Tricloroetano	mg.kg ⁻¹	< 0,01
1,1-Dicloroetano	mg.kg ⁻¹	< 0,01
1,2-Dicloroetano	mg.kg ⁻¹	< 0,01
1,1-Dicloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,006
Cis-1,2-Dicloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01
Cloreto de Vinila	mg.kg ⁻¹	< 0,002
Tetracloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01
Trans-1,2-Dicloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01
Tricloroeteno	mg.kg ⁻¹	< 0,01
2,3,4,5-Tetraclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003
2,3,4,6-Tetraclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003
2,4,5-Triclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003
2,4,6-Triclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003
2,4-Diclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003
2-Clorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003
3,4-Diclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003
Pentaclorofenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003
Cresóis Totais	mg.kg ⁻¹	< 0,009
Fenol	mg.kg ⁻¹	< 0,003
Benzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,006
Estireno	mg.kg ⁻¹	< 0,01
Etilbenzeno	mg.kg ⁻¹	< 0,006
Tolueno	mg.kg ⁻¹	< 0,006
Xilenos	mg.kg ⁻¹	< 0,018
Antraceno	mg.kg ⁻¹	< 0,003
Benzo(a)antraceno	mg.kg ⁻¹	< 0,003
Benzo(a)pireno	mg.kg ⁻¹	< 0,003
Benzo(g,h,i)perileno	mg.kg ⁻¹	< 0,003
Benzo(k)fluoranteno	mg.kg ⁻¹	< 0,003
Criseno	mg.kg ⁻¹	< 0,003

Tabela 33 (conclusão) - Substâncias orgânicas potencialmente tóxicas no solo: gleba 4.

Parâmetro	Unidade	Semestre 5
		0-20cm
Dibenzo(a,h)antraceno	mg.kg ⁻¹	< 0,003
Fenantreno	mg.kg ⁻¹	< 0,003
Indeno(1,2,3,cd)pireno	mg.kg ⁻¹	< 0,003
Naftaleno	mg.kg ⁻¹	< 0,01
Clorofórmio	mg.kg ⁻¹	< 0,01
Diclorometano	mg.kg ⁻¹	< 0,01
Tetracloroeto de Carbono	mg.kg ⁻¹	< 0,01
PCB's (soma 7/lista holandesa)	mg.kg ⁻¹	< 0,004
Aldrin	mg.kg ⁻¹	< 0,003
DDD (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,006
DDE (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,006
DDT (isômeros)	mg.kg ⁻¹	< 0,006
Dieldrin	mg.kg ⁻¹	< 0,003
Endrin	mg.kg ⁻¹	< 0,003
HCH Beta	mg.kg ⁻¹	< 0,003
Lindano (g-HCH)	mg.kg ⁻¹	< 0,003

ANEXOS

**ANEXO A – VALORES ORIENTADORES DA QUALIDADE DO SOLO, DE
ACORDO COM A RESOLUÇÃO CONAMA Nº 420/2009**

Tabela 34 (continua) – Valores orientadores da qualidade do solo (substâncias orgânicas potencialmente tóxicas), de acordo com a Resolução CONAMA nº 420/2009 (mg.kg⁻¹).

Parâmetro	Valores de Prevenção	Valores de Intervenção para Áreas Agrícolas
Benzeno	0,03	0,06
Estireno	0,2	15
Etilbenzeno	6,2	35
Tolueno	0,14	30
Xilenos	0,13	25
Antraceno	0,039	-
Benzo(a)antraceno	0,025	9
Benzo(a)pireno	0,052	0,4
Benzo(g,h,i)perileno	0,57	-
Benzo(k)fluoranteno	0,38	-
Criseno	8,1	-
Dibenzo(a,h)antraceno	0,08	0,15
Fenantreno	3,3	15
Indeno(1,2,3,cd)pireno	0,031	2
Naftaleno	0,12	30
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	0,16	-
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	0,01	-
1,2,3-Triclorobenzeno	0,01	5
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	0,01	-
1,2,4-Triclorobenzeno	0,011	7
1,2-Diclorobenzeno	0,73	150
1,3,5-Triclorobenzeno	0,5	-
1,3-Diclorobenzeno	0,39	-
1,4-Diclorobenzeno	0,39	50
Clorobenzeno	0,41	40
Hexaclorobenzeno	0,003	0,005
1,1,1-Tricloroetano	-	11
1,1-Dicloroetano	-	8,5
1,2-Dicloroetano	0,075	0,15
1,1-Dicloroeteno	-	5
Cis-1,2-Dicloroeteno	-	1,5
Cloreto de Vinila	0,003	0,005
Tetracloroeteno	0,054	4
Trans-1,2-Dicloroeteno	-	4
Tricloroeteno	0,0078	7
Clorofórmio	1,75	3,5
Diclorometano	0,018	4,5
Tetracloroeto de Carbono	0,17	0,5

Tabela 34 (conclusão) – Valores orientadores da qualidade do solo (substâncias orgânicas potencialmente tóxicas), de acordo com a Resolução CONAMA nº 420/2009 (mg.kg⁻¹).

Parâmetro	Valores de Prevenção	Valores de Intervenção para Áreas Agrícolas
2,3,4,5-Tetraclorofenol	0,092	7
2,3,4,6-Tetraclorofenol	0,011	1
2,4,5-Triclorofenol	0,11	-
2,4,6-Triclorofenol	1,5	3
2,4-Diclorofenol	0,031	1,5
2-Clorofenol	0,055	0,5
3,4-Diclorofenol	0,051	1
Pentaclorofenol	0,16	0,35
Cresóis Totais	0,16	6
Fenol	0,2	5
Di(2-etilhexil)ftalato	0,6	1,2
Dibutilftalato	0,7	-
Dimetil Ftalato	0,25	0,5
Aldrin	0,015	0,003
DDD (isômeros)	0,013	0,8
DDE (isômeros)	0,021	0,3
DDT (isômeros)	0,01	0,55
Dieldrin	0,043	0,2
Endrin	0,001	0,4
HCH beta	0,011	0,03
Lindano (g-HCH)	0,001	0,02
PCBs (soma - lista holandesa)	0,0003	0,01

Fonte: Brasil, 2009b.