

# ORIGEM DE METAIS PESADOS EM AQUÍFERO LIVRE DE SÃO GABRIEL DO OESTE, MATO GROSSO DO SUL

Adriano Antunes FERRARO<sup>1</sup>, Sandra Garcia GABAS<sup>2</sup>, Giancarlo LASTORIA<sup>3</sup>

(1) Pós Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Geografia, Cidade Universitária, s/n Campo Grande, MS CEP 79.070-900. Fone: (67) 3042-7492; FAX: (67) 3345-7450. Endereço eletrônico: adrianoferraro.lopy@gmail.com

(2) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Geografia, Cidade Universitária, s/n Campo Grande, MS CEP 79.070-900. Fone: (67) 30427492; FAX: (67) 3345-7450. Endereço eletrônico: sandra.gabas@ufms.br

(3) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Geografia, Cidade Universitária, s/n Campo Grande, MS CEP 79.070-900. Fone: (67) 30427492; FAX: (67) 3345-7450. Endereço eletrônico: g.lastoria@ufms.br

Introdução  
Materiais e Métodos  
Área de Estudos  
Coleta de Amostras  
Solo  
Laterita, Calcário e Lodo de Fundo  
Efluente  
Água Subterrânea  
Análises Químicas  
Solo, Laterita, Calcário e Lodo de Fundo  
Efluente  
Água Subterrânea  
Tratamento dos Dados  
Resultados e Discussão  
Resíduos de Suinocultura  
Solo e Geologia  
Água Subterrânea  
Discussões Gerais  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** – Neste estudo, foram investigadas as possíveis fontes de arsênio, selênio e chumbo na água subterrânea de Aquífero Cenozóico, sobrejacente a uma das prováveis áreas de recarga do Sistema Aquífero Guarani em São Gabriel do Oeste, Mato Grosso do Sul. Partiu-se da hipótese de que a fertirrigação com efluentes tratados de suinocultura pudesse ser a fonte desses metais. Efluentes e lodo do sistema de tratamento, calcário aplicado para correção da acidez do solo, laterita da cobertura local, solos e água subterrânea compuseram o acervo amostral de mais de quatro anos de pesquisas. Apesar da presença de chumbo e, principalmente, selênio no calcário e no efluente (especialmente nas concentrações do lodo), a laterita contém os teores mais elevados dos três elementos, bem acima das respectivas médias na crosta terrestre, o que sugere que a maior parte das concentrações observadas em água subterrânea seja oriunda de seu contato com as rochas do Aquífero Cenozóico, especialmente das crostas lateríticas.

**Palavras-chave:** Recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG), Fertirrigação, efluente de suinocultura, Cobertura detrito-laterítica.

**ABSTRACT** –The possible sources of arsenic, selenium and lead in groundwater of the Cenozoic Aquifer, one of the recharge areas of the Guarani Aquifer System in São Gabriel do Oeste, Mato Grosso do Sul state, Brazil, were investigated in this study from the hypothesis that the fertigation with treated swine effluents would be the source of these metals. Effluent and sludge from the treatment system, limestone applied for the correction of the soil's acidity, laterite from the local cover, soils and groundwater composed the collection of samples of more than four years of research. Despite the presence of lead and, mainly, selenium in the limestone and in the effluent (especially in the sludge's concentrations), the laterite has the highest levels of the three elements, quite above the respective averages on the Earth's crust, what suggests that the main source of the observed concentrations in groundwater is the Cenozoic Aquifer's rocks.

**Keywords:** Recharge area of Guarani Aquifer System (GAS), Fertigation, swine effluent, debris-lateritic Cover.

## INTRODUÇÃO

Com o aumento da população mundial, maiores são as pressões na cadeia produtiva de alimentos, principalmente sobre setores de proteína animal. Em resposta, o número de grandes sistemas intensivos de produção animal tem crescido nas últimas décadas (Walker *et al.*, 2009), sendo os confinamentos suínos os mais importantes (Zheng *et al.*, 2008). Estas

agroindústrias se encarregam de promover ágil regime de ganho de peso animal, atingindo níveis de produtividade inalcançáveis em criações extensivas.

A carne suína é a carne mais consumida no mundo (Girard *et al.*, 2009), sendo que no Brasil, a criação de animais para a obtenção desta carne vem sendo realizada desde os

primórdios da colonização, com crescimento praticamente ininterrupto a partir de 1989 (Embrapa, 2011). Em Mato Grosso do Sul, a suinocultura desenvolve-se graças ao trabalho de imigrantes vindos do sul do país, sendo que São Gabriel do Oeste representa o maior produtor de suínos do estado (CFMV, 2010; PMSGO, 2012).

O efluente gerado na atividade de suinocultura consiste no principal resíduo, expressando-se na mistura de urina, fezes, águas servidas e, algumas vezes, águas pluviais (Girard *et al.*, 2009). Seganfredo (2006) afirma que, uma das alternativas de destinação final desses resíduos é o uso como fertilizante do solo, pois os seus nutrientes podem ser absorvidos pelas plantas da mesma forma que aqueles dos fertilizantes químicos, o que caracteriza a fertirrigação. Em São Gabriel do Oeste, as propriedades rurais suinocultoras realizam a fertirrigação de efluentes suínos em áreas agricultadas após seu tratamento (Bergier *et al.*, 2010).

A fertirrigação é prática desenvolvida há milênios consorciando a criação animal e a produção agrícola. Silbergeld e Nachman (2008) apresentam que a aplicação em terras agricultadas como fertilizante é a estratégia tradicional de manejo de dejetos animais. Saviozzi *et al.* (1997), em prévio estudo, relatam que na agricultura sustentável, a aplicação de resíduos orgânicos para reposição da matéria orgânica dos solos e suprimento de macronutrientes é largamente praticada. Porém, se realizada de forma livre de respaldo técnico, a fertirrigação de efluentes fatalmente contribui com a degradação ambiental das áreas fertirrigadas.

Nos efluentes de suinocultura são comumente encontrados compostos potencialmente tóxicos, como esteróides,

fármacos e metais pesados (Saviozzi *et al.*, 1997; Li e Chen, 2005; Silbergeld e Nachman, 2008; Zheng *et al.*, 2008; Walker *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2012). Elementos esses que são aplicados aos animais com objetivos que variam desde o ganho de peso, até a prevenção e combate a doenças (EMBRAPA, 2011; Li e Chen, 2005). Após passagem pelo trato gastrointestinal e pelo meio externo (incluindo os sistemas de tratamento), os metais pesados, principalmente, aportam no meio ambiente, potencialmente alcançando compartimentos ambientais.

Além dos aspectos econômicos, o município de São Gabriel do Oeste encontra-se instalado sobre zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG), manancial que abrange quatro países da América do Sul e oito estados da Federação no Brasil (Gastmans e Kiang, 2005; OEA, 2009). O município apresenta ainda superfície detrito-laterítica, de idade cenozóica, estendida sobre o chamado Chapadão de São Gabriel (Lacerda Filho, 2004).

Logo, fica evidente que os usos desenvolvidos, como a fertirrigação dos efluentes tratados de suinocultura mostra-se altamente contrastante com as características ambientais locais, evidenciando o potencial para contaminação ambiental existente na área, a qual pode afetar o importante manancial hídrico.

O presente estudo foi desenvolvido em duas propriedades rurais localizadas no Assentamento Campanário, em São Gabriel do Oeste/MS. O objetivo do presente estudo foi investigar as fontes de arsênio, selênio e chumbo nas águas subterrâneas do aquífero livre da área de estudos, especificamente o efluente líquido e o lodo, o solo, a laterita que aflora na área e o calcário usado como corretivo agrícola.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Dados, obtidos a partir de observações e de análises de amostras coletadas na área de estudos, subsidiaram o presente estudo. Visando à verificação de associações entre a fertirrigação de águas residuárias e as concentrações de metais pesados no aquífero livre da área de estudos, foram coletados seis tipos de amostras: efluentes de suinocultura,

tratados por biodigestor, utilizados para fertirrigação de áreas cultivadas; lodo de fundo de lagoa de disposição de efluentes tratados; o solo do local; calcário aplicado para correção da acidez do solo; laterita oriunda da cobertura cenozóica local e a água subterrânea do aquífero livre. O efluente da granja suinocultora, bem como o lodo de fundo, foi

coletado na segunda lagoa de decantação, último estágio do tratamento, posterior ao tratamento principal, desempenhado pelo biodigestor. O solo foi coletado em 10 pontos de sondagem distribuídos ao longo da propriedade rural e sua encosta cultivada, na qual se situam as diferentes parcelas de arranjos culturais. A laterita é proveniente de afloramento presente na área de estudos, enquanto o calcário, provavelmente proveniente de jazidas sul-mato-grossenses, foi coletado a partir de pilha de armazenamento, no aguardo de aplicação próximo à área agricultada. Finalmente, as águas subterrâneas advêm de quatro de poços de monitoramento e dois poços de abastecimento da área de estudos.

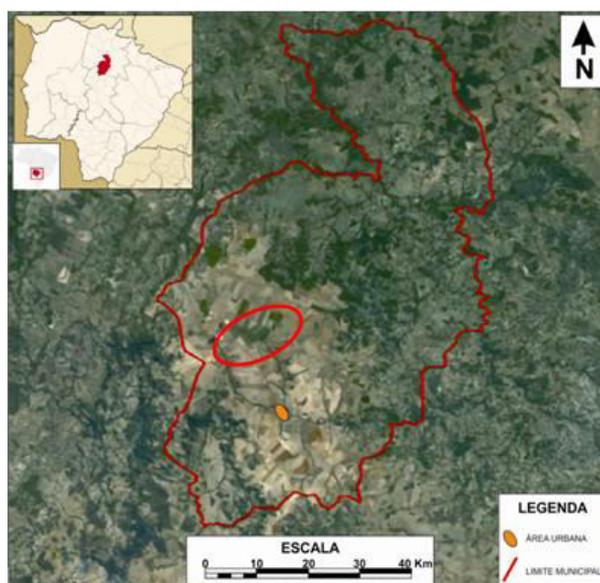
### Área de estudos

A área de estudos localiza-se nos lotes 54 e 55 do Assentamento Campanário. Criado em

1997 e desmembrado da antiga fazenda Campanário, o assentamento é composto por 132 lotes de aproximadamente 20 ha cada um. Segundo Guedes e Salles (2006), o projeto possui área total de 2.851 ha e dista 16 km da área urbana de São Gabriel do Oeste.

Segundo INCRA (2010), o assentamento apresentava, até então, onze projetos de suinocultura, totalizando vinte e um barracões, com capacidade para engordar mil animais cada um, em ciclo de quatro meses. Todos os lotes com suinocultura utilizam os dejetos produzidos para a fertirrigação do solo. O Assentamento Campanário ainda possui planta produtiva de um frigorífico.

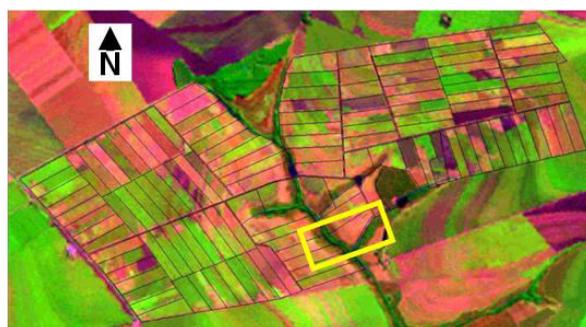
A Figura 1 ilustra a localização do assentamento em relação à delimitação municipal e a área urbana.



**Figura 1.** Área de estudos (Assentamento Campanário, em vermelho) em relação aos limites municipais e à área urbana (Imagem de GOOGLE EARTH, 2012).

A Figura 2, modificada a partir do trabalho de Guedes e Salles (2006), aponta o arranjo dos

lotes de reforma agrária do Assentamento Campanário.



**Figura 2.** Assentamento Campanário e seus lotes originais (Guedes e Salles, 2006). O retângulo indica a localização dos dois lotes da área de estudos.

A Área de Estudos possui dois barracões de suinocultura instalados, um para cada lote, bem como um sistema de tratamento de efluentes por biodisjetor e diferentes parcelas agricultadas.

### Coleta de amostras

O levantamento de dados foi desenvolvido ao longo de diferentes campanhas, realizadas entre os anos de 2010 a 2014, onde foram amostrados o solo, a laterita, o calcário, o efluente tratado de suinocultura, o lodo de fundo das lagoas e a água subterrânea.

### Solo

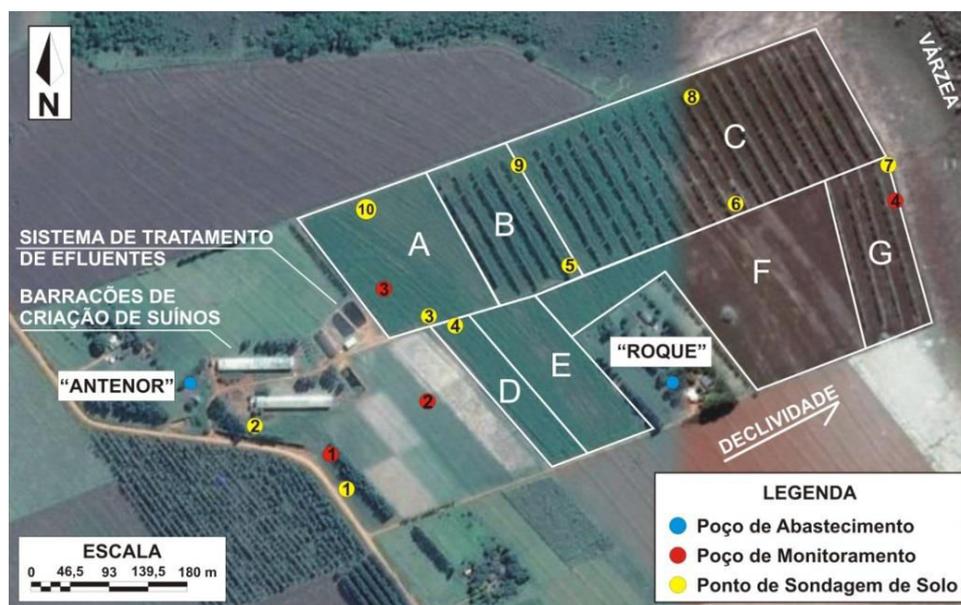
A amostragem de solo foi realizada em 10 pontos de sondagem a trado (denominados de "PS"), escolhidos de acordo com arranjo baseado no parcelamento pré-concebido da área (Figura 3) e na distribuição longitudinal ao longo da encosta cultivada. Foram coletadas, para cada ponto, uma amostra superficial e outra composta até a profundidade de 1 m, gerando o total de 20 amostras.

### Laterita, Calcário e Lodo de Fundo

As amostras de lodo de fundo, o calcário e a laterita foram colhidos no mesmo dia da coleta de solos. O primeiro foi coletado seco, localizado à margem de uma das lagoas de decantação, sendo oriundo de uma das suas limpezas. O calcário, por sua vez, foi obtido de dois lados da pilha localizada próxima ao PM 3, no início da encosta cultivada. Finalmente, a laterita, foi colhida dentro da propriedade, ao lado do sistema de tratamento.

### Efluente

O efluente de suinocultura tratado foi coletado em amostragem única a partir da lagoa de decantação. Alíquotas foram transferidas para oito frascos distintos, sendo aplicadas as devidas medidas de conservação física e química. Após a coleta, as amostras de efluente foram encaminhadas, sob conservação térmica, a temperatura de 6°C, ao Laboratório Bioagri, na cidade de Piracicaba/SP.



**Figura 3.** Área de Estudos com seu parcelamento (parcelas A, B, C, D, E, F e G), a disposição dos pontos de sondagem de solo, poços de abastecimento e poços de monitoramento (PM) de água subterrânea Fonte: Adaptado de Google Earth (2014)

### Água Subterrânea

As águas subterrâneas foram amostradas ao decorrer de cinco campanhas: duas amostragens em 2010 (23/03/2010 e 19/10/2010); uma amostragem no em 2012 (19/10/2012); e duas amostragens no período compreendido entre os anos de 2013 e 2014 (dias 19/09/2013 e

22/01/2014). Para as coletas em poços de monitoramento (piezômetros) foram empregados coletores do tipo *bailer* de PVC. As coletas em poços de abastecimento foram feitas a partir da boca dos poços tubulares, nos tubos edutores das bombas, após bombeamento prévio.

As amostras foram filtradas (as três primeiras coletas) em membrana de celulose de 45 micra, com emprego de bomba manual, transferidas para os respectivos frascos e identificadas. As amostras destinadas à análise de metais foram conservadas sob acidificação com HNO<sub>3</sub> PA, em pH de 2,0, sendo armazenadas sob refrigeração.

### Análises químicas

#### *Solo, Laterita, Calcário e Lodo de Fundo*

As amostras de solo, laterita, calcário e lodo passaram por análises químicas no laboratório do Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul – IMASUL, na Unidade Centro de Controle Ambiental – UCCA.

As amostras foram digeridas pelo método da Digestão Ácida de Ácido Nítrico-Clorídrico, conforme descrito por APHA (2005 – método 3030 F). Para a análise, empregou-se Espectrometria de Absorção Atômica, sendo analisadas para Pb segundo a metodologia relatada por (APHA, 2005 – Part 3000), e para As e Se segundo VARIAN (1989).

Todas as análises foram efetuadas por Absorção Atômica, em duplicatas, sendo consideradas para o presente trabalho as médias aritméticas dos resultados obtidos.

### Efluente

Os parâmetros analíticos considerados para o efluente suíno tratado coletado são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Parâmetros analisados para os efluentes tratados de suinocultura.

Parâmetros Analíticos – Efluente Tratado		
DBO	Sólidos Sedimentáveis	Coliformes Totais
DQO	Sólidos Suspensos Fixos	Cobre
Nitrato	Sólidos Suspensos Totais	Zinco
Nitrito	Sólidos Suspensos Voláteis	Arsênio
Amônia	Sólidos Totais	Selênio
Nitrogênio Total Kjeldahl	Sólidos Totais Fixos	Chumbo
Sólidos Dissolvidos Fixos	Sólidos Totais Voláteis	Cromo
Sólidos Dissolvidos Totais	pH (a 25°C)	Cádmio
Sólidos Dissolvidos Voláteis	Coliformes Termotolerantes (E. coli)	-

As análises químicas do efluente tratado foram realizadas segundo metodologias constantes na última versão de APHA (2012), EPA e ABNT (quando aplicável) no Laboratório Bioagri, em Piracicaba, SP.

### Água Subterrânea

Durante a coleta de cada amostra de água subterrânea, parâmetros como potencial de oxido-redução, pH, temperatura e condutividade, foram determinados *in loco*. A temperatura foi medida com emprego de termômetro analógico. Para os parâmetros pH, potencial de oxido-redução (ORP) e condutividade, a determinação *in loco* foi realizada por intermédio de sondas eletrônicas.

As análises físico-químicas foram efetuadas, nos anos de 2010 e 2012, no Laboratório do Centro de Energia Nuclear da Agricultura (CENA), da Universidade de São Paulo, em Piracicaba/SP. As amostras de 2013 e de 2014, por sua vez, foram direcionadas ao Laboratório

de Hidrogeologia e Hidrogeoquímica (H<sub>2</sub>L) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Rio Claro/SP. A Tabela 2 apresenta os parâmetros analíticos determinados.

As águas subterrâneas foram analisadas, para as amostras provenientes das três primeiras campanhas (23/03/2010, 19/10/2010 e 19/10/2012), de acordo com as metodologias previstas em APHA (2005). As amostras provenientes das duas últimas campanhas (19/09/2013 e 22/01/2014) foram analisadas segundo edição mais recente (APHA, 2012).

### Análises granulométricas

As amostras de solo superficiais e subsuperficiais foram submetidas a ensaios de granulometria por peneiramento e pipetagem, segundo Kilmer e Alexander (1949), modificado de acordo com USGS (1969).

**Tabela 2.** Parâmetros analíticos laboratoriais para análises das Águas Subterrâneas.

Parâmetros Analíticos – Águas Subterrâneas		
Carbono Inorgânico Dissolvido (DIC)	Ca	Na
Nitrato	Cd	Pb
Cloreto	Cu	Pb
Fosfato	Fe	Sulfato
As	K	Se
B	Mg	Si
Ba	Mn	Zn

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Resíduos de suinocultura

Apresentam-se na Tabela 3, a composição química do efluente líquido processado pelo

biodigestor e, na Tabela 4, a composição do lodo de fundo do sistema de tratamento de efluentes.

**Tabela 3.** Composição química do efluente processado.

PARÂMETRO	Unidade	LQ	Concentração
<b>DBO</b>	mg L <sup>-1</sup>	103	<b>438</b>
<b>DQO</b>	mg L <sup>-1</sup>	500	<b>2.385</b>
<b>Nitrato (como NO<sub>3</sub>)</b>	mg L <sup>-1</sup>	50	<b>&lt; 50</b>
<b>Nitrito (como NO<sub>2</sub>)</b>	mg L <sup>-1</sup>	5	<b>&lt; 5</b>
<b>Amônia (como NH<sub>3</sub>)</b>	mg L <sup>-1</sup>	0,1	<b>601</b>
<b>Nitrogênio Total Kjeldahl</b>	mg L <sup>-1</sup>	2	<b>1.550</b>
<b>Sólidos dissolvidos fixos</b>	mg L <sup>-1</sup>	10	<b>2.408</b>
<b>Sólidos dissolvidos totais</b>	mg L <sup>-1</sup>	10	<b>3.912</b>
<b>Sólidos dissolvidos voláteis</b>	mg L <sup>-1</sup>	10	<b>1.504</b>
<b>Sólidos suspensos fixos</b>	mg L <sup>-1</sup>	10	<b>170</b>
<b>Sólidos suspensos totais</b>	mg L <sup>-1</sup>	10	<b>318</b>
<b>Sólidos suspensos voláteis</b>	mg L <sup>-1</sup>	10	<b>148</b>
<b>Sólidos totais</b>	mg L <sup>-1</sup>	5	<b>4.300</b>
<b>Sólidos totais fixos</b>	mg L <sup>-1</sup>	5	<b>2.527</b>
<b>Sólidos totais voláteis</b>	mg L <sup>-1</sup>	5	<b>1.773</b>
<b>Cobre</b>	mg L <sup>-1</sup>	0,005	<b>0,419</b>
<b>Zinco</b>	mg L <sup>-1</sup>	0,01	<b>0,366</b>
<b>Arsênio</b>	mg L <sup>-1</sup>	0,01	<b>&lt; 0,01</b>
<b>Selênio</b>	mg L <sup>-1</sup>	0,008	<b>&lt; 0,008</b>
<b>Chumbo</b>	mg L <sup>-1</sup>	0,01	<b>&lt; 0,01</b>
<b>Cromo</b>	mg L <sup>-1</sup>	0,01	<b>&lt; 0,01</b>
<b>Cádmio</b>	mg L <sup>-1</sup>	0,001	<b>&lt; 0,001</b>
<b>Sólidos Sedimentáveis</b>	mL.(L.h) <sup>-1</sup>	0,3	<b>&lt; 0,3</b>
<b>pH (a 25°C)</b>	-	2 a 13	<b>8,1</b>
<b>Coliformes Termotolerantes (E. coli)</b>	NMP.(100mL) <sup>-1</sup>	100	<b>77.010</b>
<b>Coliformes Totais</b>	NMP.(100mL) <sup>-1</sup>	100	<b>129.970</b>

O efluente de suinocultura apresenta composição orgânica, cuja fração é oxidável quimicamente, conforme evidenciado pela relação DQO/DBO > 4 (Tabela 3), a qual, segundo von Sperling (2007), indica que a fração não-biodegradável é alta, favorecendo os rendimentos de formas de tratamento físico-químicas. Seu conteúdo orgânico e de nutrientes apresenta o potencial de contribuir com o enriquecimento dos teores de matéria orgânica dos solos onde é aplicado, favorecendo a retenção de umidade, o aumento da capacidade de troca de elementos benéficos, como Ca, K e Mg, mas também de metais como Cu e Zn.

O conteúdo de nitrogênio é elevado: o parâmetro nitrogênio Kjeldahl apresenta teor de 1550 mgL<sup>-1</sup>, traduzindo a soma das frações

nitrogenadas orgânica e amoniacal, denotando efluente ainda rico em material peptídico e proteico. Os teores de sólidos encontram-se representados majoritariamente pela fração dissolvida.

A análise da composição química dos efluentes indica que os elementos investigados no presente estudo podem estar presentes no efluente, porém em concentrações inferiores aos limites de quantificação do método empregado. Os únicos metais em concentrações acima dos limites de quantificação são cobre e zinco, que, segundo estudos de e Soares e Barros et al. (2003), Li & Chen (2005) e EMBRAPA (2011), são aplicados aos animais com objetivos como melhoria do ganho de peso, melhoria da digestão e prevenção e combate a doenças.

**Tabela 4.** Concentrações dos elementos investigados no Lodo do Sistema de Tratamento de Efluentes.

CONCENTRAÇÃO DO ELEMENTO (mg kg <sup>-1</sup> )		
Pb	As	Se
23,8	< LQ	128,3
<b>Limites de Quantificação (LQ) (mg L<sup>-1</sup>): Pb = 0,01; As = 0,1 e Se = 0,1</b>		

O lodo do sistema de tratamento de efluentes atua como controle dos resultados das análises químicas de efluentes e de solos.

Apresentou concentrações de dois (Pb e Se) dos três elementos químicos em foco no presente estudo, sendo que o arsênio apresentou concentrações abaixo do limite de quantificação (Tabela 4).

Chumbo e selênio encontram-se em níveis de concentrações distintos, sendo que o último ocorre em teor aproximadamente seis vezes maior do que o primeiro. A diferença de grandeza entre os teores no lodo de tratamento de efluentes de suinocultura pode ser interpretada como normal, partindo do pressuposto que o selênio, conforme relatado por APHA (2005), é elemento atuante junto ao metabolismo animal, enquanto o chumbo é tóxico.

Deve-se considerar que as concentrações desses elementos são originárias do material acumulado nos tanques, ao longo de todo o período de operação (compreendido no intervalo entre manutenções). Dessa forma, não representa concentração pontual, obtida no

momento da coleta, e sim, produto cumulativo de todo o período anterior à coleta.

### Solo e geologia

Os resultados das análises granulométricas dos solos da área de estudo são apresentados na Tabela 5.

As análises granulométricas de solo revelaram que a fração predominante tanto nos solos de superfície (0 a 10 cm) quanto de subsuperfície (10 a 75 cm) é a areia, seguida pela fração silte e argila, valores semelhantes aos obtidos por Lacerda Filho (2004), que aponta que os solos formados sobre a Cobertura Detrito Laterítica gabrielense são caracterizados por latossolo vermelho pardacento, estrutura indefinida e textura areno-argilosa.

Fração pertinente ao presente estudo, as argilas são partículas detentoras de cargas elétricas em sua superfície que, segundo McBride (1994), contribuem para a reatividade química dos solos, atuando em conjunto à matéria orgânica decomposta. Para o presente estudo, a fração argila apresenta-se nas amostras superficiais sempre em proporções

superiores a 15%. Para as amostras compostas em profundidade, esse valor mínimo sobe para 25%, provavelmente em decorrência da

iluviação da argila para o perfil do solo a partir da superfície.

**Tabela 5.** Dados granulométricos dos solos da Área de Estudos.

PONTO	SOLOS SUPERFICIAIS (0 - 10 cm)				PONTO	SOLOS SUB-SUPERFICIAIS (10 - 75 cm)			
	FRAÇÃO (%)					FRAÇÃO (%)			
	Pedregulho	Areia	Silte	Argila		Pedregulho	Areia	Silte	Argila
PS1-S	0,00	56,00	23,18	20,83	PS1-C	0,00	44,69	28,56	26,75
PS2-S	0,00	57,89	22,24	19,88	PS2-C	0,00	47,82	27,00	25,18
PS3-S	0,00	56,08	25,44	18,47	PS3-C	0,00	40,66	30,71	28,64
PS4-S	0,00	66,15	18,66	15,19	PS4-C	0,00	39,25	31,54	29,21
PS5-S	0,00	50,22	32,06	17,72	PS5-C	0,00	36,12	33,68	30,20
PS6-S	0,00	47,88	29,52	22,60	PS6-C	0,00	36,98	33,86	29,16
PS7-S	0,00	36,25	36,63	27,12	PS7-C	0,00	29,73	38,67	31,22
PS8-S	0,01	43,71	30,05	25,37	PS8-C	0,00	37,01	34,00	28,50
PS9-S	0,00	54,83	27,63	17,47	PS9-C	0,00	37,96	33,11	28,93
PS10-S	0,00	62,44	22,54	15,02	PS10-C	0,00	43,15	29,78	27,07

A maior presença argilosa nos solos de subsuperfície em baixa encosta (PS 7 e 8), próximos à área de várzea, pode favorecer o acúmulo de elementos e moléculas orgânicas por adsorção nessas partículas. Em superfície, especialmente nas áreas cultivadas, onde o solo sofre revolvimento e conseqüente integração de matéria orgânica às camadas superficiais, elementos químicos complexam-se com os ácidos orgânicos formados a partir da degradação da matéria orgânica do solo, permanecendo próximos à superfície, na zona de raízes, ou percolando para camadas mais inferiores do perfil, conforme descrito por Baird (2002), finalmente podendo aportar nas águas subterrâneas.

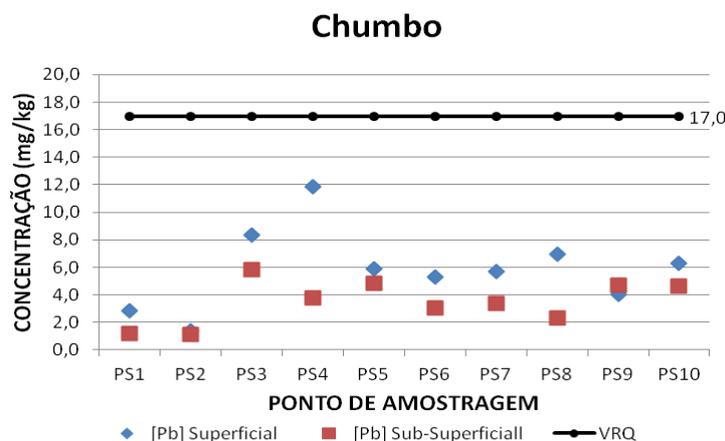
A fração areia que predomina nos solos da área, principalmente em alta e média encosta, proporciona a criação de estrutura com maior propensão à aeração (e conseqüente oxidação), também favorecendo valor elevado de taxa de infiltração nos horizontes superficiais. Por sua vez, as camadas com profundidade acima de 15 cm, apresentam conteúdo de argila maior, o que retarda a percolação hídrica, refletindo-se no decréscimo da taxa de infiltração, favorecendo fluxos hídricos predominantemente longitudinais à encosta.

As concentrações de arsênio, chumbo e selênio no solo são apresentadas na Tabela 6.

**Tabela 6.** Concentração de As, Pb e Se em amostras de solo.

PONTO	SOLOS SUPERFICIAIS (0 - 10 cm)			PONTO	SOLOS SUB-SUPERFICIAIS (10 - 75 cm)		
	CONCENTRAÇÃO DO ELEMENTO (mg kg <sup>-1</sup> )				CONCENTRAÇÃO DO ELEMENTO (mg kg <sup>-1</sup> )		
	Pb	As	Se		Pb	As	Se
PS1-S	2,8	50,0	49,2	PS1-C	1,2	40,2	13,3
PS2-S	1,4	20,0	16,3	PS2-C	1,1	27,7	24,5
PS3-S	8,3	15,8	57,5	PS3-C	5,8	16,5	30,2
PS4-S	11,8	31,0	148,6	PS4-C	3,7	34,8	9,4
PS5-S	5,9	51,8	24,7	PS5-C	4,8	40,3	17,5
PS6-S	5,3	50,0	6,6	PS6-C	3,0	70,2	23,6
PS7-S	5,7	88,9	7,8	PS7-C	3,4	97,2	< LQ
PS8-S	7,0	75,7	29,0	PS8-C	2,3	89,0	28,6
PS9-S	4,1	98,9	33,1	PS9-C	4,7	97,5	25,2
PS10-S	6,3	107,9	35,0	PS10-C	4,6	109,0	50,4
Média	5,9	59,0	40,8	Média	3,5	62,2	24,7

As concentrações de chumbo no solo da Área de Estudos, bem como o Valor de Referência de Qualidade (VRQ) de 17,0 mg kg<sup>-1</sup> (CETESB, 2014), encontram-se apresentadas na Figura 4.



**Figura 4.** Concentrações de Chumbo no solo da Área de Estudos. VRQ – Valor de Referência de Qualidade

Inicialmente para o chumbo, os resultados evidenciam presença do elemento em todas as amostras, mesmo que em concentrações baixas, como as verificadas nos Pontos PS1-S, PS1-C, PS2-S, PS2-C e PS8-C, detendo valor médio de concentração de 5,9 mg kg<sup>-1</sup> para pontos em superfície e 3,5 mg.kg<sup>-1</sup> para pontos em subsuperfície.

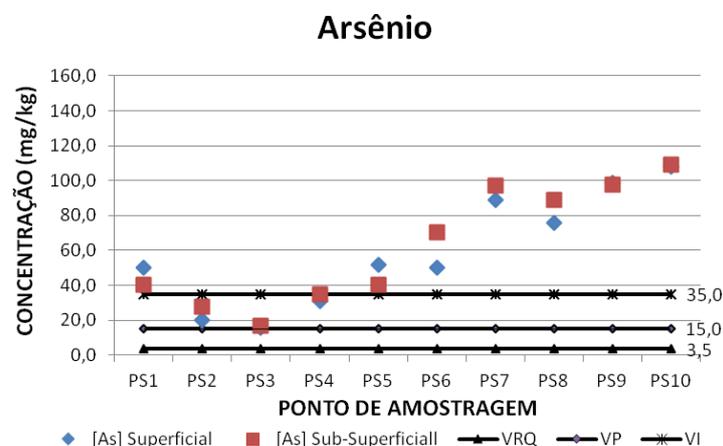
Conforme evidenciado na Figura 4, o ponto PS 1, *background* de solos da área de estudos, apresentou concentrações plúmbicas de 2,8 mg.kg<sup>-1</sup> e 1,2 mg.kg<sup>-1</sup>, para as posições de superfície (0 a 10 cm) e composta em profundidade (10 a 75 cm), respectivamente.

Observa-se que as maiores concentrações com valores mais consistentes do metal foram

verificadas ao longo da encosta agricultada da Área de Estudos, destacando-se os PSs vizinhos n°. 3 e 4, os quais historicamente recebiam efluentes de suinocultura de forma indiscriminada, antes da implantação do Projeto de Pesquisa.

Apenas o ponto PS4-S apresentou concentração acima do valor médio de 10 mg.kg<sup>-1</sup> para a crosta terrestre descrito por Lollar (2005), porém dentro da faixa de ocorrência das médias mundiais descritas por McBride (1994).

A Figura 5 apresenta as variações das concentrações de Arsênio no solo da Área de Estudos e os Valores de Referência de CETESB (2014) para efeitos de comparação.



**Figura 5.** Concentrações de Arsênio no solo da área de estudos. VRQ – Valor de Referência de Qualidade; VP – Valor de Potabilidade ; VI – Valor de Investigação.

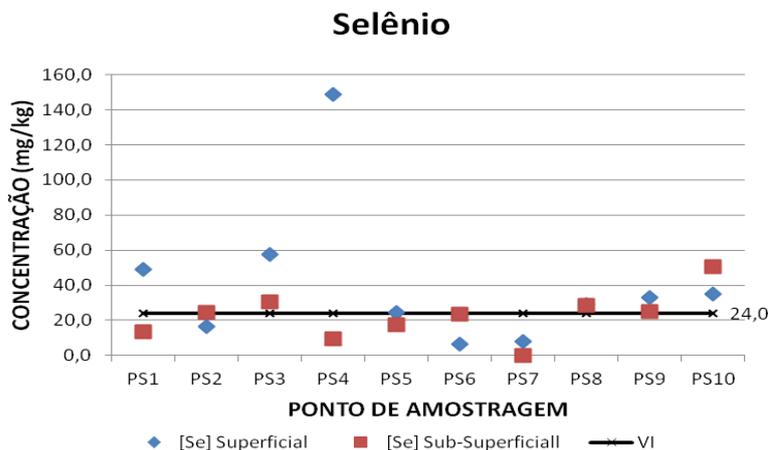
As concentrações de arsênio apresentaram valores médios na Área de Estudos de 59,0 mg kg<sup>-1</sup> para solos superficiais e 62,2 mg kg<sup>-1</sup> para pontos subsuperficiais. Novamente, nota-se a ocorrência de concentrações do metal investigado para o ponto de *background*, PS 1, o qual detém para superfície (0 a 10 m) e subsuperfície (10 a 75 cm), respectivamente, teores de 50,0 mg kg<sup>-1</sup> e 40,2 mg kg<sup>-1</sup> – valores da ordem dos verificados para pontos agricultados, como PS4 e PS5.

As menores concentrações são pertencentes ao PS 3. Observa-se, ainda, aumento das concentrações de arsênio para os PSs localizados nas partes mais baixas da encosta: o PS 7, mais baixo na área de estudos, detém a segunda maior concentração do metal para a camada superficial e a terceira maior concentração para as amostras compostas.

Verificou-se que os PSs 8, 9 e 10, de mesma posição topográfica dos PSs 6, 5 e 3, respectivamente, apresentam concentrações altamente contrastantes entre si.

Ao se comparar as concentrações de arsênio com as médias mundiais, nota-se que estas são constantemente ultrapassadas: segundo McBride (1994), as faixas das médias mundiais de As é 2,2 a 25 mg Kg<sup>-1</sup> de solo, enquanto que Lollar (2005) apresenta que o teor médio do elemento na crosta terrestre é de cerca de 2 mg Kg<sup>-1</sup> de solo. É notado que apenas o PS 3 apresenta concentrações descritas por McBride (1994), tanto em superfície como em subsuperfície.

A Figura 6 apresenta as concentrações de selênio encontradas nos solos da área de estudos.



**Figura 6.** Concentrações de selênio no solo da área de estudos.  
VI – Valor de Investigação

As concentrações de selênio em solo superficial variaram de 6,6 a 156,8 mg kg<sup>-1</sup>. O mesmo não ocorre para pontos sub-superficiais, nos quais foi verificada variação de 9,4 a 50,4 mg kg<sup>-1</sup>. A concentração média de selênio para PSs em superfície é de 40,8 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto que em subsuperfície é de 22,3 mg kg<sup>-1</sup>.

Para os PSs 1 e 2, *backgrounds* para solos, são observadas concentrações elevadas de selênio: no PS 1, a concentração superficial é de 49,2 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto que a subsuperficial é de 13,3 mg kg<sup>-1</sup>. No PS 2, próximo, o inverso ocorre; a concentração de selênio em superfície é de 16,3 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto que, para amostra composta de solo subsuperficial, a concentração é maior, sendo de 24,5 mg kg<sup>-1</sup>.

O PS 4, localizado no início da encosta agricultada da área de estudos, apresentou a maior variação de concentração de selênio, sendo 148,6 mg kg<sup>-1</sup> em superfície, caindo acentuadamente para 9,4 mg kg<sup>-1</sup> na amostra composta em profundidade. Para o PS 7, situado próximo à área de vereda da área, a concentração superficial foi de 7,8 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto a concentração do elemento em subsuperfície foi abaixo do limite de quantificação. Seguindo-se os PSs 8, 9 e 10, de nível topográfico semelhante aos PSs 6, 5 e 3, respectivamente, próximos ao lote vizinho, percebe-se que as concentrações são mais elevadas para maiores cotas topográficas, padrão não percebido, conforme o descrito, para o elemento arsênio nos mesmos pontos.

As concentrações de selênio verificadas na área de estudo ultrapassam excessivamente o teor médio do elemento na crosta de  $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$  descrito por Lollar (2005) e a faixa das médias mundiais para solo de 0,05 a 1,27 descrito por McBride (1994).

### Laterita

As concentrações dos elementos químicos estudados para a amostra de laterita são apresentadas na Tabela 7.

As concentrações dos elementos investigados na composição química das lateritas da área de estudos são: Arsênio,  $130,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; chumbo,  $44,5 \text{ mg.kg}^{-1}$  e selênio,  $33,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ . A concentração de arsênio é cerca de três vezes superior à concentração do elemento chumbo e quatro vezes o valor da concentração do selênio.

Nota-se que a dissolução da matriz laterítica representa possível fonte dos elementos investigados para o meio ambiente.

**Tabela 7.** Concentrações de As, Pb e Se em amostras de laterita e calcário.

Amostra	CONCENTRAÇÃO DO ELEMENTO ( $\text{mgkg}^{-1}$ )		
	Pb	As	Se
Laterita	44,5	130,2	33,5
Calcário	38,1	< LQ	75,8

Limites de Quantificação ( $\text{mgkg}^{-1}$ ): Pb = 0,01; As = 0,1 e Se = 0,1

### Calcário

Os resultados analíticos das amostras de calcário encontram-se na Tabela 7.

O calcário adicionado demonstra presença de concentrações de chumbo e selênio, mas concentração arsênio abaixo do Limite de Quantificação. Tais concentrações são possivelmente oriundas da jazida da qual o minério de calcário é proveniente.

O calcário é utilizado como suplemento e aplicado “a lanço”, disposto na superfície do solo, sendo bastante provável que suas concentrações de impurezas aportem no meio, integrando-se à composição química geral do substrato. A correção de pH do solo com emprego de calcário se faz necessária, principalmente, em solos tropicais ricos em íons alumínio, os quais se encarregam de atribuir acidez ao solo, altamente deletéria às culturas agrícolas (Ronquim, 2010).

### Água subterrânea

A Tabela 8 apresenta o resumo dos principais parâmetros de qualidade das águas subterrâneas pertinentes ao objetivo do presente estudo.

As concentrações de arsênio na água subterrânea variaram de  $0,72$  a  $20,58 \mu\text{g L}^{-1}$ . Os maiores valores foram verificados na segunda campanha de amostragem (19/10/2010), cerca

de dez vezes superiores ao da primeira campanha, em março do mesmo ano. O arsênio apresentou concentrações abaixo do limite de detecção ( $2,5 \mu\text{g L}^{-1}$ ) para as amostras da terceira campanha.

O selênio, analogamente ao arsênio, evidenciou maiores concentrações para as amostras coletadas na segunda campanha e também apresentou concentrações relativamente altas para o PM 1 (*background*), destacando-se o PM 2, com concentração de  $27,8 \text{ mg L}^{-1}$  no período. As concentrações do metal para a terceira campanha de amostragem não se situaram sob os limites de detecção, conforme ocorrido para o arsênio, mas apresentaram-se baixas, sendo inferiores aos dos dois períodos anteriores.

Chumbo foi o metal que apresentou as maiores diferenças nas concentrações entre poços e também entre períodos de amostragens, sendo, em geral, superiores dos demais metais. No geral, a segunda e terceira campanhas foram as que apresentaram as maiores concentrações, destacando-se o PM 3 e, sobretudo, a elevada concentração do metal na terceira campanha para o PM 1 (*background*). Com a exceção das concentrações PM 4, os poços “Antenor” e “Roque”, durante a quinta campanha, todos os PMs nas demais campanhas apresentaram teores de chumbo.

**Tabela 8.** Principais parâmetros de qualidade das águas subterrâneas analisados.

	POÇO	T <sub>água</sub> (°C)	T <sub>ar</sub> (°C)	pH	CE (µS/cm)	NE (m)	Elementos Químicos				
							[As] (µgL <sup>-1</sup> )	[Se] (µgL <sup>-1</sup> )	[Pb] (µgL <sup>-1</sup> )	[Cu] (µgL <sup>-1</sup> )	[Zn] (µgL <sup>-1</sup> )
1ª CAMPANHA - 23/03/2010	P1	25,4	28	6,43	13,84	8,33	1,23	4,67	15,53	0,62	15,36
	P2	26,5	29,5	5,57	1,91	6,93	3,40	4,76	25,92	1,21	12,28
	P3	26,2	30,5	5,24	1,83	5,77	1,73	4,70	21,18	0,83	9,34
	P4	27,1	29	5,70	1,44	0,79	0,72	6,30	13,40	0,98	2,04
2ª CAMPANHA - 19/10/2010	P1	26,4	37	7,09	0,008	9,67	12,00	15,07	8,13	1,27	32,49
	P2	25,7	31,5	5,41	0,008	8,63	15,49	27,81	20,64	0,98	17,95
	P3	25,8	32	5,56	0,008	7,33	19,77	24,69	53,03	3,04	32,23
	P4	26,1	34	5,47	0,006	1,41	20,58	21,59	13,56	0,92	13,96
3ª CAMPANHA - 19/10/2012	P1	26	29	4,9	25,1	9,49	< 2,5	1,79	61,47	22,32	7,00
	P2	26	32	4,4	0,51	8,42	< 2,5	2,32	29,81	15,59	7,01
	P3	25	32	5,5	0,56	7,17	< 2,5	2,20	46,58	15,66	7,92
	P4	25	34	5,45	0,47	1,04	< 2,5	1,10	30,51	15,87	5,63
4ª CAMPANHA - 19/09/2013	P1	23	26	5,7	8,13	8,99	NÃO ANALISADOS				
	P2	23	29	5,03	8,29	7,91					
	P3	25	29	5,29	7,96	6,8					
	P4	25,8	28	5,17	6,35	1,28					
	Antenor	23	29	4,92	5,86	-					
	Roque	23,5	28	5,77	5,5	-					
5ª CAMPANHA - 22/01/2014	P1	25	-	5,97	11,4	-	NÃO ANALISADOS				
	P2	25	-	6,21	4,94	-					
	P3	25	-	6,59	7,54	-					
	P4	25	-	6,52	8,57	-					
	Antenor	25	-	6,3	5,93	-					
	Roque	25	-	6,27	4,96	-					

Finalmente, cobre e zinco, elementos de menor toxicidade em comparação aos metais anteriormente descritos, foram observados, porém em concentrações inferiores aos valores limites determinados nos instrumentos legais nacionais. Os maiores teores de zinco foram verificados para a primeira e segunda campanha, enquanto que as maiores

concentrações de cobre foram observadas na terceira campanha.

Logo, fica evidente a presença de arsênio, selênio e chumbo nas águas do aquífero livre da área de estudos, com concentrações frequentemente excedendo padrões como os de qualidade ambiental (Brasil, 2009) e de potabilidade (Brasil, 2011).

## Discussões gerais

A não observação dos elementos químicos: arsênio, selênio e chumbo, no efluente coletado, e do arsênio, no caso do lodo, indicam associação negativa entre a ocorrência de arsênio nos compartimentos ambientais (solo e água subterrânea) e a fertirrigação dos efluentes tratados de suinocultura, apontando também para o reduzido potencial deste resíduo de ocasionar aporte do elemento chumbo, quando comparado à demais fontes investigadas.

Em se tratando de solo, observou-se a presença dos metais investigados em todas as vinte amostras provenientes dos dez pontos de coleta, com a exceção de selênio para PS7-C. Os teores de elementos químicos apresentam-se, em média, em maiores concentrações nas amostras superficiais do solo, do que em subsuperfície. De acordo com McBride (1994), devido aos teores de matéria orgânica sensivelmente superiores nos solos superficiais do que em camadas mais profundas, provavelmente reforçados pelo aporte proveniente da fertirrigação, complexos metal-matéria orgânica podem ter sido formados, imobilizando e retendo-os próximos à superfície do solo.

Ficou evidente que até os PSs escolhidos como *background* do solo apresentaram concentrações dos metais analisados, atingindo altos valores destas, como no caso de arsênio e selênio. Além do solo, foram detectadas concentrações dos metais analisados na água subterrânea, inclusive no PM 1 (*background* de água subterrâneas). Dessa forma, considera-se que a área de estudos já pudesse apresentar os elementos químicos nos compartimentos ambientais estudados anteriores à instalação do projeto de fertirrigação.

O chumbo tende a formar complexos insolúveis com a matéria orgânica do solo, permanecendo próximo à superfície (McBride, 1994; Baird, 2002). Precipitações pluviométricas e suas águas ácidas pelo teor de CO<sub>2</sub> dissolvido, podem ter sido os deflagradores da dissolução dos complexos plúmbicos formados pela redução do pH do solo, ocasionando a liberação dos elementos para as águas subterrâneas, evidenciando, conforme as concentrações do metal pela Tabela 8, a constante presença do elemento nas águas do aquífero livre.

Os resultados das análises de metais no solo indicam que este é um compartimento reservatório dos metais pesados investigados no presente estudo, conforme indicado pelas concentrações de arsênio e selênio na condição de *background* e em área cultivada.

Conforme evidenciado nas Tabelas 4, e 7, respectivamente, o lodo e a laterita e o calcário são compostos onde verificaram-se concentrações de arsênio, selênio e chumbo.

A presença de selênio e chumbo no lodo indica a inexistência desses metais em alguma etapa do processo da suinocultura, tendo sido concentrado, após o sistema de tratamento, em sua parte sólida, o lodo, uma vez que não foram detectadas concentrações na água residuária.

O calcário consiste em outra possível fonte de selênio e chumbo. A correção de acidez do solo é prática comum em agricultura intensiva, presente na área de estudo há mais de trinta anos.

A laterita, proveniente da Cobertura Detrito Laterítica (substrato rochoso local), apresenta-se como possível fonte dos metais pesados investigados, principalmente arsênio, podendo ser acrescentada às concentrações originais da rocha, aquelas provenientes pela aplicação de calcário, ocasionando aporte adicional de chumbo e selênio. Além disso, se aplicado na área de forma conjunta aos dois descritos compostos, o lodo do sistema de tratamento proporcionaria aporte ainda maior de chumbo e, principalmente, selênio, incrementando as concentrações verificadas em solo.

As concentrações medidas de metais na laterita vão de encontro ao descrito por Eliopoulos e Economou-Eliopoulos (2010) que relatam que a ocorrência de óxidos de Fe e Al em laterita são de particular significância no controle da mobilidade do arsênio e, dessa forma, a contaminação das águas subterrâneas, uma vez que as lateritas podem ser fonte de risco ambiental, sendo a sorção em óxidos de ferro altamente dependentes do pH.

No que tange ao calcário, Lollar (2005) afirma que concentrações de selênio são passíveis de ocorrer nessas rochas, embora em menor concentração quando comparado a folhelhos. Além disso, a autora ainda afirma que o elemento pode ser adicionado a solos como constituinte traço de fertilizantes fosfatados e em agroquímicos contendo selênio,

bem como a aplicação de lodos de esgotos e esterco, uma vez que, conforme anteriormente apresentado, selênio é elemento traço necessário ao metabolismo animal, sendo

possivelmente ministrado em doses suplementares e, conseqüentemente, presentes nos efluentes de suinocultura.

## CONCLUSÕES

Não foram detectados níveis de arsênio, selênio e chumbo no efluente tratado de suinocultura. No entanto, os resultados analíticos do lodo do sistema de tratamento de efluentes de suinocultura testemunham que concentrações de chumbo e, principalmente, selênio, foram anteriormente presentes no resíduo líquido, provavelmente aportando nas parcelas fertirrigadas da área de estudos, contribuindo para sua contaminação ambiental. Não foram detectadas concentrações de arsênio no efluente e no lodo.

O solo da área apresenta concentrações variáveis dos três elementos químicos investigados. A presença dos metais pesados, inclusive à montante da área fertirrigada, indica que as concentrações verificadas em solo são anteriores ao projeto de fertirrigação instalado na área.

Segundo as normas ambientais vigentes (Brasil, 2009; CETESB, 2014), as concentrações de arsênio nos diversos pontos de coleta de solo e de água subterrânea na área de estudos, incluindo os *backgrounds*,

ultrapassa os Valores de Investigação fixados pela referência.

A laterita apresenta concentrações de todos os metais investigados, destacando-se chumbo e, pronunciadamente, arsênio, o que indica que a própria Cobertura Detrito-Laterítica é fonte potencial do elemento para o meio ambiente.

Às concentrações de metais de fontes naturais, acrescentam-se as concentrações provenientes do calcário, do lodo e do efluente, utilizados na agricultura local.

A presença dos metais investigados na água subterrânea reflete o aporte dos elementos a partir das diferentes fontes possíveis na área.

Conclui-se que a água do aquífero livre na área de estudo reflete, em primeiro lugar, a composição natural da rocha e do solo aflorantes na região, e secundariamente, tal cenário pode ser acelerado e potencializado pelas práticas de uso de solo, como aplicação superficial de resíduos líquidos e de suplementos e defensivos agrícolas detentores de metais pesados.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela Bolsa de Estudos de mestrado concedida.

À Cooperativa Agropecuária de São Gabriel do Oeste – COOASGO e à equipe da EMBRAPA Pantanal pelo apoio técnico e logístico, necessários à realização dos trabalhos de campo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais bem como o seu corpo docente, por toda o conhecimento e auxílio fornecidos.

Ao Prof. Dr. Luís Augusto do Val e Msc. Dirce Martins de Oliveira pelo auxílio nas análises granulométricas e químicas, respectivamente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21.ed. Washington, 2005.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21.ed. Washington, 2005.
3. BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.
4. BERGIER, I. *et al.* Fertirrigação e agricultura de baixa emissão de carbono: resultados do projeto CNPq/REPENSA em São Gabriel do Oeste. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. n. 116. Corumbá: EMBRAPA, 2012.
5. BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução N° 420, de 28/12/2009. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 dez. 2009. n. 249, p. 81-84.

6. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria N° 2.914, de 12/12/2011. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 14 dez. 2011.
7. COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Decisão de Diretoria 045/2014/E/C/I, de 20 de fevereiro de 2014. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**. São Paulo, SP, p. 124, seção I, 21 fev. 2014. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/institucional/do/2014/DD-045-2014-P53.pdf>>. Acesso em: 30 dez. 2014.
8. CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA VETERINÁRIA (CFMV). Agrosuínocultura: Solução sustentável brasileira. **Conselho Nacional de Medicina Veterinária**. Brasília: CFMV, 2010.
9. ELIOPOULOS, D. G.; ECONOMOU-ELIOPOULOS, M. Arsenic distribution in laterite deposits of the Balkan Peninsula. **Scientific Annals, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki**, p. 325-332, 2010. Volume especial. Thessaloniki, Greece, 2010.
10. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Suínos e Aves. **Manual Brasileiro de Boas Práticas de Produção de Suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011
11. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Suínos e Aves. **Manual Brasileiro de Boas Práticas de Produção de Suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011
12. GASTMANS, D.; KIANG, C. H. Avaliação da hidrogeologia e hidroquímica do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado de Mato Grosso do Sul. **Águas Subterrâneas**, v.19, n.1. p.35-48, 2005.
13. GIRARD, M. *et al.* A review of environmental pollution originating from the piggery industry and of the available mitigation technologies: towards the simultaneous biofiltration of swine slurry and methane. **Canadian Journal of Civil Engineering**, n.36, p.1946-1957, 2009.
14. GOOGLE EARTH. **Imagem da região de São Gabriel do Oeste**. Landsat. 2014. 1 imagem de satélite color. Adquirida em: 17 de novembro de 2014.
15. GUEDES, J.C.S; SALLES, A. T. Estruturação de um sistema de informações geográficas no projeto de assentamento Campanário: município de São Gabriel do Oeste, MS. In: 1º Simpósio de Geotecnologias Pantanal, 2006, Campo Grande, **Anais....** Campinas: EMBRAPA Informática Agropecuária/INPE, 2006, p.628-634.
16. KILMER, V.J.; ALEXANDER, L.T. Methods of making mechanical analyses of soils. In: Soil Science Society of America: Proceedings, vol. 68, 1949. p.15-24.
17. LACERDA FILHO, J. V. de. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso do Sul**. Goiânia: convênio CPRM/SICME, 2004.
18. LI, Y. CHEN, T. Concentrations of additive arsenic in Beijing pig feeds and the residues in pig manure. **Resources Conservation and Recycling**, n.45, 168-185, 2005.
19. LIU, S.; YING, G. G.; ZHOU, L. J.; ZHANG, R. Q.; CHEN, Z. F.; LAI, H. J. Steroids in a typical swine farm and their release into the environment. **Water Research**, n.46, p.3754-3768, 2012.
20. LOLLAR, B. S. **Environmental Geochemistry**. Itália: ELSEVIER, 2005.
21. MCBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soil**. New York: Oxford University Press, 1994.
22. ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS (OEA). **Aquífero Guarani: programa estratégico de ação**. Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Ed. Bilingue. jan. 2009. 424 p. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/projetos/GEFAquíferoGuarani.aspx>>. Acesso em 03 jan. 2013.
23. PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO GABRIEL DO OESTE. **A Cidade**: São Gabriel do Oeste em Números. São Gabriel do Oeste, [entre 2010 e 2013]. Disponível em: <<http://www.saogabriel.ms.gov.br/saogabriel/cidade/?id=16&item=10>>. Acesso em: 05 fevereiro 2012.
24. RONQUIM, C. C. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**: Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Campinas**: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2010. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/882598/1/BPD8.pdf>>. Acesso em: 02 de novembro 2014.
25. SAVIOZZI, A.; LEVI-MINZI, R.; VANNI, G. Laboratory studies on the application of wheat straw and pig slurry to soil and the resulting environmental application. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, n.61, p.35-43, 1997.
26. SEGANFREDO, M. A. **Os dejetos suínos e os riscos ambientais no seu uso como fertilizante**. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves. 2006.
27. SILBERGELD, E. S.; NACHMAN, K. The environmental and public risks associated with arsenical use in animal feeds. **New York Academy of Sciences**, n.1140, p.346-357, 2008.
28. SOARES E BARROS, L. S.; AMARAL, L. A.; LUCAS JÚNIOR, J. Poder poluente de águas residuárias de suínocultura após utilização de um tratamento integrado. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, n.40, p.126-135, 2003.
29. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Techniques of water-resources investigations of the United States Geological Survey**: Chapter C1: laboratory theory and methods for sediment analysis. Washington: USGPO, 1969. cap. C1, p.23-30.
30. VARIAN. **Analytical Methods**: arsenic e selenium. Melbourne: Varian, 1989.
31. von SPERLING, M. **Wastewater characteristics, treatment and disposal**. London: IWA Publishing, 2007. cap. 2, p.40. Disponível em: <<http://www.iwaterwiki.org/xwiki/bin/view/Articles/DevelopingCountriesTitlesfromIWPublishingFreeToDownload#HWastewaterCharacteristics2CTreatmentandDisposal>>. Acesso em: 23 novembro 2014.
32. WALKER, P.; KELLY, W.; SMICKLAS, K.; KELLEY, T. Field application of processed manure upon water quality and crop productivity. **Journal of Agronomy**, v.8, n.2, p.49-59, 2009.
33. ZHENG, W. YATES, S. R. BRADFORD, S. A. Analysis of Steroid Hormones in a Typical Dairy Waste Disposal System. **Environmental Science & Technology**, n.42, p.530-535, 2008.

*Manuscrito recebido em: 14 de Fevereiro de 2015  
Revisado e Aceito em: 25 de Junho de 2015*