



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**FLÁVIA JUSSARA DE SANTANA MENEZES**

**TEORES DE METAIS PESADOS NA REGIÃO DO ENTORNO  
DO LAGO DE SOBRADINHO- BA**

**JUAZEIRO – BA  
2014**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**FLÁVIA JUSSARA DE SANTANA MENEZES**

**TEORES DE METAIS PESADOS NA REGIÃO DO ENTORNO  
DO LAGO DE SOBRADINHO- BA**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco, como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. DSc. Alessandra Monteiro Salviano Mendes

JUAZEIRO – BA  
2014

M543t

Menezes, Flávia J. de S.

Teores de metais pesados na região do entorno do Lago de Sobradinho – BA / Flávia Jussara de Santana Menezes. -- Juazeiro, 2014.

96f. 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro – BA, 2014.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Alessandra Monteiro Salviano Mendes.

1. Metais pesados. 2. Solo. 3. Água. I. Título. II. Mendes, Alessandra Monteiro Salviano. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 622.752

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Flávia Jussara de Santana Menezes

TEORES DE METAIS PESADOS NA REGIÃO DO ENTORNO DO LAGO DE  
SOBRADINHO- BA

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.



Juazeiro, 07 de julho de 2014.

Aos meus pais, Josefa e Francisco,  
meus irmãos, Fábio, Telma e Tânia, minha  
filha Lara Mirela e meu esposo Luciano que  
sempre me deram apoio.

**Dedico.**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela luz e providência em todos os momentos.

À minha família, pelo apoio incondicional sempre.

Ao meu marido e companheiro, Luciano e minha princesa Lara, pelo carinho, compreensão e auxílio sempre.

A Universidade Federal do Vale do São Francisco pela oportunidade de realizar o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

À EMBRAPA, à CHESF e ao CNPQ pela concessão de recursos para realização desse trabalho por meio do projeto "Ações de desenvolvimento para produtores agropecuários e pescadores do território do entorno da Barragem de Sobradinho – BA".

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia - FAPESB pela concessão da bolsa de estudo.

À Professora Alessandra Monteiro Salviano Mendes, por ter aceitado a orientação deste trabalho. Minha gratidão pela imensa contribuição profissional e pessoal dispensada. Obrigada por tudo!

À Professora Nelci Olszewski pelo acolhimento fraternal e auxílio ao longo desta caminhada. Obrigada por tudo!

À Pesquisadora Paula Tereza de Souza e Silva pelo carinho e comprometimento na realização deste trabalho e contribuição para meu crescimento profissional.

A todos dos Laboratórios de Solos e Agroambiental da Embrapa Semiárido pela amizade, colaboração e auxílio para realização do presente trabalho. Em especial Carolina Rodrigues pela ajuda sempre.

Aos queridos amigos do laboratório de física do solo da UNIVASF meu agradecimento em especial Sálvio Napoleão e Janiele Pereira.

A todos os colegas de Pós-Graduação pelos momentos e conhecimentos compartilhados e pelas novas amizades conquistadas. Em especial Alberto Cardoso, Ana Virginia Terranova, Daniela Coelho, Fátima Souza e Bruno Ricardo.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho, MUITO OBRIGADA!

MENEZES, F. J. S. **TEORES DE METAIS PESADOS NA REGIÃO DO ENTORNO DO LAGO DE SOBRADINHO- BA.** 2014. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco- UNIVASF.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar os teores metais pesados no solo, na água e no sedimento da região de entorno do Lago de Sobradinho, pois práticas da região como o uso exacerbado de agroquímicos e fertilizantes e o cultivo de vazante aliado a características físicas e químicas do solo podem elevar os teores destes elementos nestes compartimentos. Para isso, foram selecionadas 24 propriedades agrícolas, 8 no município em Casa Nova, 8 em Sento Sé, 4 no município de Remanso e 4 em Sobradinho. Para avaliação dos teores de metais no solo, em cada propriedade selecionada, coletaram-se amostras de solo em duas áreas, uma sob uso agrícola e outra sob caatinga, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm com três repetições, totalizando 432 amostras. A coleta foi realizada em abril/maio. Para avaliação dos teores de metais nas amostras de água e de sedimento, coletaram-se amostras em mais duas propriedades além das 24 utilizadas para avaliação dos teores de metais no solo, uma no município de Casa Nova e outra em Sento Sé. As coletas de água e sedimento foram realizadas em maio e em novembro de 2012, período que o lago alcança a maior e menor cota, respectivamente. A extração dos metais pesados no solo e no sedimento se deu pelo método 3050B e na água pelo método 3030E e a determinação dos extratos por EAA modo chama. Os teores de metais nos três compartimentos foram submetidos à análise de estatísticas descritiva, de correlação e multivariada. No solo, Ni, Cu, Zn, Pb, Cr e Cd apresentaram teores acima do limite estabelecido na resolução CONAMA 420/2009, em pelo menos uma propriedade e uma profundidade. Diferenças significativas foram verificadas entre os teores de metais na caatinga e na área agrícola em algumas propriedades avaliadas, indicando existência de influência do uso nos teores dos elementos no solo, no entanto não foi possível afirmar que as diferenças devem-se apenas a esse fator. O teor de M.O., a SB e a CTC foram variáveis importantes para explicar o teor e a distribuição dos metais pesados nas camadas e podem indicar relação entre uso de fertilizantes e teores de metais pesados. Na água, os teores de Mn, Cd, Cr e Ni, estão acima do limite permitido pela Resolução CONAMA 357/2005 em, pelo menos, um dos pontos avaliados e em uma das épocas de coleta. Para as amostras de sedimento, os teores de Cd, Cr e Ni ultrapassaram o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 420/2009 em, pelo menos, um dos pontos avaliados e em uma das épocas de coleta. As relações existentes entre P, Cd, Cr e Ni sugerem que estes elementos possuam como fonte comum, os fertilizantes fosfatados. Grupos formados pelas amostras dos municípios de Casa Nova e Sento Sé, para os teores de metais em água e sedimento evidenciam diferença entre as épocas avaliadas. A contaminação ambiental encontrada nos três compartimentos pode estar relacionada com o uso e manejo agrícola, no entanto ainda não é possível afirmar. Recomenda-se cautela na atualização destes recursos pela população, bem monitoramento dos compartimentos ao longo do tempo.

**Palavras-chave:** uso do solo, contaminação, elementos traço, análise fatorial e agrupamento hierárquico.

MENEZES, F. J. S. **LEVELS OF HEAVY METALS IN THE REGION SURROUNDING LAKE SOBRADINHO-BA.** 2014. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco- UNIVASF.

### **ABSTRACT**

This study aimed to evaluate the heavy metal contents in soil, water and sediment of the region surrounding Lake Sobradinho because the region practices such as excessive use of pesticides and fertilizers and the cultivation of ebb combined with physical and chemical characteristics soil may raise the levels of these elements in these compartments. For contents in the soil were selected 24 farms, 8 properties by county in Casa Nova and Sento Sé and 4 properties by municipality in Remanso and Sobradinho. To evaluate the levels of metals in the soil in each selected property, samples were collected from soil in two areas, one under agricultural use and other under caatinga at depths of 0-10 cm, 10-20 cm and 20-40 cm with three replications, totaling 432 samples. Data collection was conducted in April / May. To evaluate the levels of metals in the water samples and sediment samples were collected in two more properties beyond the 24 used for evaluation of the levels of metals in the soil, one in the city of Casa Nova and another in Sento Sé. Collections of water and sediment were held in may and november 2012, a period that the lake reaches the highest and lowest elevation, respectively. The extraction of soil heavy metals and sediment yield by method 3050B and 3030E by the water method and the determination of the extracts by FAAS mode. The levels of metals in the three compartments were subjected to analysis of descriptive statistics, correlation and multivariate. On the soil Ni, Cu, Zn, Pb, Cd and Cr showed levels above the limit established by CONAMA Resolution 420/2009 in at least one property and a depth. Significant differences were found between the levels of metals in the bush and in agriculture in some properties assessed, indicating the existence of influences on use levels of elements in the soil, however it was not possible to say that the differences are due only to this factor. The M.O. content, the SB and the CTC were important variables to explain the content and distribution of heavy metals in layers and may indicate relationship between fertilizer use and heavy metal contents. In water, Mn, Cd, Cr and Ni, are above the limit allowed by CONAMA Resolution 357/2005 in at least one of the sites and in one of the sampling times. For sediment samples, the concentrations of Cd, Cr and Ni exceeded the limit established by CONAMA Resolution 420/2009 in at least one of the sites and in one of the sampling times. The relationship between P, Cd, Cr and Ni suggest that these elements have as a common source, phosphate fertilizers. Groups based on the samples of the municipalities of Casa Nova and Sento Sé, to the levels of metals in water and sediment show the difference between the periods evaluated. Environmental contamination found in the three compartments may be associated with agricultural use and handling, but is still not possible to state. Caution is recommended in updating these resources by the population, and monitoring of compartments over time.

**Keywords:** use of soil, contamination, traces elements, factor analysis and hierarchical clustering.

## LISTA DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO I</b>	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1:</b> Mapa de localização das propriedades agrícolas amostradas na região de entorno do lago de Sobradinho, BA.....	<b>33</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>Figura 1:</b> Localização da área de estudo (a) e distribuição dos pontos de coleta (b).....	<b>66</b>
<b>Figura 2:</b> Dendograma de classificação por município, pelo método de Ward's e distância Euclidiana, das amostras de água em duas épocas de coleta.....	<b>82</b>
<b>Figura 3:</b> Dendograma de classificação por município, pelo método de Ward's e distância Euclidiana, das amostras de sedimento em duas épocas de coleta.	<b>88</b>

## LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I	Pág.
<b>Tabela 1.</b> Localização, classe de solo e uso agrícola das áreas selecionadas.....	34
<b>Tabela 2:</b> Estatística descritiva e teste KS para atributos físicos e químicos do solo nas camadas de 0–10, 10-20 e 20–40 cm de profundidade.....	38
<b>Tabela 3:</b> Estatística descritiva e teste KS para metais pesados em amostras de solos da região de entorno do Lago de Sobradinho.....	41
<b>Tabela 4:</b> Comparação de médias dos teores de metais pesados no solo em área agrícola e sob caatinga, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, no município de Sobradinho.....	44
<b>Tabela 5:</b> Comparação de médias dos teores de metais pesados no solo em área agrícola e sob caatinga, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, no município de Remanso.....	45
<b>Tabela 6:</b> Comparação de médias dos teores de metais pesados no solo em área agrícola e sob caatinga nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, no município de Sento Sé .....	47
<b>Tabela 7:</b> Comparação de médias dos teores de metais pesados no solo em área agrícola e sob caatinga nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, no município de Casa nova .....	48
<b>Tabela 8:</b> Coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre os teores de metais pesados no solo, em diferentes profundidades de coleta.....	50
<b>Tabela 9:</b> Coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre os teores totais de metais pesados e os atributos químicos do solo.....	51
<b>Tabela 10:</b> Coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre teores de metais pesados e atributos físicos do solo.....	52
<b>Tabela 11.</b> Matriz de cargas fatoriais após rotação ortogonal pelo Método Varimax dos teores de metais pesados e atributos do solo.....	53
 <b>CAPÍTULO II</b>	
<b>Tabela 1:</b> Estatística descritiva e teste KS para indicadores físico-químicos da água, coletadas em maio e novembro de 2012.....	70
<b>Tabela 2:</b> Estatística descritiva e teste KS para os teores de metais pesados em amostras de água do Lago de Sobradinho, coletadas nos meses de maio (1) e novembro (2) de 2012.....	73
<b>Tabela 3:</b> Coeficientes de correlação linear simples de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre metais pesados e características físico-químicas da água em maio .....	77
<b>Tabela 4:</b> Coeficientes de correlação linear simples de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre os teores de metais pesados e características físico-químicas da água coletadas em novembro de 2012.....	78
<b>Tabela 5:</b> Matriz de cargas fatoriais após rotação ortogonal pelo Método Varimax para teores de metais pesados e características físico-químicas da água.....	80
<b>Tabela 6.</b> Descrição dos grupos formados e valores médios das variáveis formadoras dos grupos .....	83
<b>Tabela 7:</b> Estatística descritiva e teste KS para os teores de metais pesados em sedimento, em amostras coletadas em maio e novembro de 2012.....	84

<b>Tabela 8:</b> Coeficientes de correlação linear simples de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre os teores de metais pesados no sedimento e características físico-químicas da água .....	<b>86</b>
<b>Tabela 9:</b> Matriz de cargas fatoriais após rotação ortogonal pelo Método Varimax dos teores de metais pesados no sedimento e características físico-químicas da água.....	<b>87</b>
<b>Tabela 10.</b> Descrição dos grupos formados e valores médios das variáveis formadoras dos grupos.....	<b>89</b>

## SUMÁRIO

	Pág.
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>14</b>
2.1- Metais pesados .....	14
2.2- Metais pesados no solo .....	16
2.3- Metais pesados em água e sedimento.....	19
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>23</b>
<b>3. CAPÍTULO I - Teores de metais pesados em solos da região de entorno do lago de Sobradinho, BA</b> .....	<b>30</b>
Introdução .....	31
Material e Métodos.....	32
Resultados e Discussão .....	37
Conclusões .....	56
Referências .....	56
<b>4. CAPÍTULO II - Avaliação da qualidade da água e dos teores de metais pesados na água e no sedimento do lago de Sobradinho, BA.....</b>	<b>62</b>
Introdução .....	63
Material e Métodos.....	64
Resultados e Discussão .....	69
Conclusões .....	89
Referências .....	90
<b>5. CONCLUSÃO GERAL</b> .....	<b>96</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A construção do Lago de Sobradinho na década de 70, mediante o represamento das águas do rio São Francisco, teve como finalidade principal a regularização da vazão do rio. Segundo Barros (1983), a construção do reservatório inundou cerca de 4.214 km<sup>2</sup>, realocando cerca de 12 mil famílias ou 72 mil pessoas dos municípios de Casa Nova, Remanso, Sento Sé, Sobradinho e Pilão Arcado.

Atualmente no entorno do Lago de Sobradinho vivem cerca de 212 mil pessoas (IBGE, 2014), que têm origens diversas, sendo parte delas atraída pela riqueza mineral da região. Todavia, com o declínio dessa atividade estes migraram em busca de lavras mais promissoras ou se tornaram agricultores dependentes dos ciclos das águas. Outra origem de parte das populações mais antigas, segundo Silva (2010), está relacionada ao Ciclo do Couro e do Gado.

A construção do Lago marca o desenvolvimento da região, estando este associado a um conjunto de fatores interligados: uso e conservação de recursos; potencialidade do Lago, incluindo as oscilações de cota de água; incorporação de novas atividades geradas pela presença do reservatório e, também, o papel do modelo econômico de desenvolvimento regional aplicado na área (SOUSA SOBRINHO, 2009; SOUZA; RAMOS, 2010).

A região do Vale do Submédio São Francisco é conhecida pelo forte desenvolvimento de atividades agrícolas diversas, desenvolvimento esse que aumentou após a construção do Lago de Sobradinho. A área de entorno do Lago caracteriza-se como uma região de atividades agropecuárias, tendo como destaque a agricultura irrigada, com o cultivo de oleráceas, principalmente de cebola.

Nessa região, há uma grande extensão de solos arenosos, entre eles, os Neossolos Quartzarênicos. Estes tem sua granulometria composta por, no mínimo, 85% de areia, enquadrando-se nas classes de textura areia e areia franca, apresentam baixa capacidade de retenção de umidade e de nutrientes, sendo, por isso, considerados ambientes muito frágeis. Segundo Sales et al. (2010), apesar da baixa aptidão para o cultivo de lavouras de ciclo anual, várias áreas de ocorrências desses solos são incorporadas ao processo de produção de maneira intensiva. Além disso, nesses ambientes, o uso indiscriminado de pesticidas e fertilizantes químicos é motivo constante de preocupação, principalmente quando as áreas de utilização estão tão próximas das fontes hídricas que são também utilizadas para consumo humano e animal.

Segundo Jardim et al. (2009), a crescente procura e conseqüente produção e utilização de novos produtos pela sociedade moderna têm como principais conseqüências a geração e o acúmulo de compostos químicos indesejáveis no ambiente. Diante disso, medidas de avaliação e monitoramento ambiental com vistas à orientação das ações antrópicas nas áreas de influência sobre o reservatório, principalmente no que diz respeito ao teor de metais pesados no solo e sua presença na água, são de extrema importância para a qualidade dos recursos hídricos da região.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar os teores metais pesados no solo, na água e no sedimento da região de entorno do Lago de Sobradinho, pois práticas da região como o uso exacerbado de agroquímicos e fertilizantes e o cultivo de vazante aliado a características físicas e químicas do solo podem elevar os teores destes elementos nestes compartimentos.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1- METAIS PESADOS**

Elementos químicos que apresentam densidade superior a  $6 \text{ g/cm}^3$  são considerados como sendo metais pesados (HOODA, 2010). Destes, mais de 20, são conhecidos pela presença no ciclo de vida dos seres vivos e por constituírem micronutrientes essenciais às plantas e aos animais, como Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn (KABATA-PENDIAS, 2011). Outros não apresentam função biológica conhecida e em níveis elevados podem causar disfunção graves ao organismo, tais como Cd e Pb (RECATALÁ et al., 2010). Para os seres humanos a toxicidade destes elementos pode manifestar-se com disfunções de médias a graves. Prasad (2008) relata a função no organismo humano e efeitos da toxicidade dos metais pesados de interesse deste estudo (Ni, Mn, Pb, Fe, Cd, Cr, Cu e Zn).

O Ni é um co-fator para algumas enzimas, participa no metabolismo de metionina, vitamina B12 e a toxicidade leva a anemia e diminuição do crescimento.

O Mn é um componente de muitas enzimas e atua como ativador enzimático. Sua toxicidade ocasiona o manganismo, uma doença neurológica, além disso, compete com o Fe pelo mesmos locais de absorção. Muhammad et al. (2011)

verificaram que a ingestão em altas doses deste elemento pode causar graves problemas de saúde, incluindo parada cardíaca fatal, erupções cutâneas, fadiga, dores de cabeça, problemas cardíacos, tonturas e doenças respiratórias.

O Pb não apresenta função biológica conhecida, seu efeito tóxico ocasiona problemas reprodutivos, encefalopatia, problemas neurofísicos, anemia, problemas renais, hipertensão e inibição da síntese do heme. Já o Fe é componente estrutural em proteínas heme: hemoglobina, mioglobina, e as proteínas dependentes de citocromo. Seu excesso pode acarretar em problemas gastrintestinais, como vômitos e diarreia, a exposição crônica pode causar cirrose e câncer (PRASAD, 2008).

O Cd não apresenta função biológica conhecida, ocorrendo acumulação crônica nos rins que ocasiona disfunções na urina. Além disso, a toxicidade de Cd acarreta problemas reprodutivos, câncer, doenças cardiovasculares, hipertensão, entre outras. Hiroaki et al. (2014) associaram a ingestão de Cd, principalmente devido ao consumo arroz proveniente de áreas contaminadas, com um aumento do risco de surgimento de câncer da mama na pós-menopausa.

O Cr atua no metabolismo dos carboidratos e dos lipídios, no entanto, à exposição crônica a esse nutriente pode causar insuficiência renal e hepática. Sua forma hexavalente ( $\text{Cr}^{+6}$ ) é genotóxica e cancerígena (KABATA-PENDIAS, 2011).

O Cu é essencial para o funcionamento de muitas metaloproteínas e enzimas e também desempenha um papel na regulação da expressão gênica. Sua toxicidade, segundo Kabata-Pendias (2011), ocasiona problemas gastrointestinais e pode ocorrer a doença de Wilson caracterizada pelo o acúmulo de Cu no fígado, cérebro e rins.

O Zn constitui diversas enzimas que atuam nos processos de respiração, fotossíntese, controle hormonal e síntese de proteínas das plantas (MALAVOLTA, 2006). Os sintomas de toxicidade aguda são náuseas, vômitos, diarreia e febre (PRASAD, 2008).

Os metais pesados ocorrem naturalmente nos solos (FADIGAS et al., 2010), todavia, nas últimas décadas, atividades antropogênicas têm elevado, substancialmente, a concentração de alguns destes elementos em diversos ecossistemas (KABATA-PENDIAS, 2011). Insumos agrícolas ou subprodutos usados com finalidade corretiva do solo ou nutricional para as plantas podem ser fonte de contaminação. Pesquisas têm destacado a presença de elementos como cádmio (Cd), cobre (Cu) e chumbo (Pb) (LIMA, 2001; FREITAS et al, 2009) nesses produtos.

Assim, a aplicação de calcário, lodo de esgoto, fertilizantes, principalmente os fosfatados, resíduos industriais, pesticidas, construção de aterros sanitários e utilização de água de irrigação contaminada são exemplos de práticas que podem, eventualmente, elevar a concentração desses elementos nos solos (FERNANDES et al., 2007; MENDES et al., 2010; KABATA-PENDIAS, 2011).

A preocupação com metais pesados acumulados no solo deve-se principalmente sua entrada na cadeia alimentar, pela absorção das plantas (FERNANDES et al., 2007; KHAN et al., 2013; LIU et al., 2013; HIROAKI et al., 2014) e a possibilidade de ocasionar problemas na qualidade das águas superficial (ALVES et al., 2010; BARRETO e BITAR, 2011; CHABUKDHARA e NEMA, 2012) ou subterrâneas (SALVIANO et al., 2005).

Portanto, estudos sobre metais pesados são importantes para obtenção de informações a cerca do teor destes elementos nos diferentes compartimentos ambientais, suas fontes e seus efeitos tóxicos. Além disso, o teor de metais pesados é parâmetro para determinar a conformidade com a legislação e para definir o nível de contaminação e ou poluição existente no ecossistema. Podendo assim subsidiar ações, manejos e políticas públicas com o intuito de prevenir e mitigar seus efeitos negativos na qualidade de vida da população e nos seres vivos.

## **2.2- METAIS PESADOS NO SOLO**

O solo é o principal reservatório de metais pesados (CAO et al., 2010), ocorrendo naturalmente em concentrações variáveis, de acordo com a composição do material de origem, dos processos de formação dos horizontes e das relações entre seus atributos, principalmente a matéria orgânica (M.O.), o pH e o conteúdo e tipo de argila. Estes influenciam no acúmulo destes elementos no solo (HOODA, 2010; CAMPOS, 2010; KABATA-PENDIAS, 2011).

Solos originários de rochas ígneas básicas apresentam os teores naturais de metais pesados mais elevados em comparação a outras rochas, tais como granitos, gnaisse, arenitos e siltitos (FADIGAS et al., 2010). O Ni, o Cr e o Mn, pode ser constituintes de alguns tipos de rochas de origem vulcânica e metamórficas(OLIVEIRA e MARINS, 2011).

Alloway (2010) observou que rochas ígneas de granito apresentam teores de Cd ( $3 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cr ( $10 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Cu ( $12 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Ni ( $5 \text{ mg kg}^{-1}$ ), Pb ( $20 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e Zn ( $50 \text{ mg kg}^{-1}$ ) diferentes dos presentes em rochas sedimentares originárias de arenito, que apresentam teores  $<0,04 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cd,  $35 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cr,  $2 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cu e Ni,  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb e  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn. Já Paye et al. (2010) verificaram teores de  $41 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cr;  $5,5 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cu;  $6,6 \text{ mg kg}^{-1}$  de Ni;  $8,8 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb e  $22,6 \text{ mg kg}^{-1}$  de Zn para solos do Espírito Santo cujo aproximadamente dois terços da área de estudo é originário de rochas Cristalinas Pré-Cambrianas, e o restante, por um manto de sedimentos Terciários e Quaternários.

Biondi et al. (2011) perceberam que em solos de referência do Estado de Pernambuco o teor natural de metais pesados não pode ser relacionado diretamente ao material de origem, visto que os processos pedogenéticos parecem ser um fator decisivo no teor de Fe, Mn, Zn enquanto que Cu, Ni e Co puderam ser diretamente relacionados ao material de origem.

Entende-se como teor natural de determinado elemento químico aqueles obtidos a partir de solos sem intervenção antrópica ou, com mínima intervenção (BIONDI et al., 2011). Contudo os valores naturais estão em função de características variáveis de solo para solo (OLIVEIRA e MARINS, 2011). Logo, a determinação de valores orientadores da qualidade do solo deve se dar em âmbito local, conforme recomenda o Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA em sua resolução 420/2009.

No entanto, ainda não existem valores orientadores estabelecidos legalmente para todos os estados. Assim, consideram-se os valores de prevenção adotados na resolução 420/2009 do CONAMA que é a legislação vigente cujos valores são  $1,3 \text{ mg/kg}$  para Cd total,  $72 \text{ mg/kg}$  para Pb total,  $60 \text{ mg/kg}$  para Cu total,  $75 \text{ mg/kg}$  para Cr total,  $30 \text{ mg/kg}$  para Ni total,  $300 \text{ mg/kg}$  para Zn total. Todavia, não são descritos nesta resolução valores de prevenção para os elementos Fe e Mn.

Paye et al. (2010) observaram para alguns solos do Espírito Santo, teores naturais de As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb e Zn relativamente baixos quando comparados aos obtidos em solos de outros estados brasileiros e em outros países. Biondi et al. (2011) também observaram que os teores naturais dos metais Fe, Mn, Zn, Ni, Cu e Co nos solos de referência de Pernambuco, para a maioria dos solos, menores que os de outras regiões do País, com litologia mais máfica, indicando a relação destes elementos com minerais ferromagnesianos.

Burak et al. (2010) avaliaram a relação entre os teores naturais de metais pesados (Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn), a composição geoquímica, a geologia e a geomorfologia em Latossolos do grupo Paracatu-Vazante-Unaí, MG. O estudo demonstrou as maiores concentrações dos elementos pesquisados associados à sua origem geológica e sua geomorfologia.

Além disso, a proporção e composição da argila e/ou teor de M.O. (FADIGAS et al., 2010) e o pH também pode influenciar os teores de metais pesados em solos. Zeng et al. (2011), estudaram a influencia do pH e teor de M.O. na disponibilidade de metais pesados no solo e sua absorção pelas plantas de arroz, na província de Zhejiang, China. Os metais estudados (Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn) se correlacionaram negativamente com o pH do solo e positivamente com o teor de M.O.

Fontes antropogênicas podem contaminar o solo, sendo as atividades urbanas e a agricultura as mais impactantes. O uso intensivo do solo associado ao frequente uso de agroquímicos e fertilizantes pode ser fonte de contaminação por metais, tais como Cu, Ni, Zn e Cd, acumulando-os na camada superficial do solo (SOLLITTO, 2010).

Diversos são os estudos que buscam detectar a presença de metais nestes produtos, tendo como objetivo determinar teores até mesmo inferir sobre possíveis contaminações no solo e sua disponibilidade para as culturas. Freitas et al. (2009) detectaram a presença de Cd, Cu e Pb nesses produtos. Núñez et al. (2006) encontraram a presença de Pb, Cd, Ni, Co, Mn, Zn, Cu e Cr em KCl+(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Termofosfato Yoorin, Captan, Mancozeb, cama de ave, torta de mamona, esterco de curral, Tamaron BR, Kasugamycin clorh., Parathion metil e Permethrina. Campos et al. (2005) determinaram o teor de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn em fosfatos de rochas, superfostato triplo (nacionais), termofosfato e fosfatos reativos (importados) comercializados na região sul de Minas Gerais. Freitas et al. (2009) avaliaram o potencial de contaminação do solo por Cd e Pb pela adição de diferentes fertilizantes fosfatados em cultivo de milho, e verificaram que os fertilizantes com teores mais elevados destes elementos proporcionaram maior acúmulo no solo e maiores concentrações na parte área do milho.

Silva et al. (2012) avaliaram os teores de metais pesados (Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) no solo e em plantas de mangueiras, após diferentes períodos de cultivo e sob manejos de fertilização e calagem em Petrolina, PE. Os pesquisadores constataram que os manejos adotados promoveram alterações nas concentrações

de metais pesados nos solos quando comparado com os solos das áreas de referência. No que diz respeito aos elementos, de modo geral, nas áreas cultivadas ocorreu acumulação de Cu e Zn na superfície do solo e redução nos teores de Ni, Pb, Mn e Fe tanto em superfície quanto em subsuperfície. Com relação as mangueiras, as diferentes estratégias de manejo provocou deficiência ou excesso de Cu, Zn e Cr, indicando necessidade de monitoramento, a fim de minimizar o impacto ambiental.

Khan et al. (2013) avaliaram as concentrações de Cd, Cr, Cu, Mn, Ni e Zn no solo, em frutas (maçã, pêra, caqui e noqueira), em grãos (milho, trigo e arroz) e em legumes (abóbora, batata, tomate, fava, melão, quiabo e cebola) no distrito de Swat, norte do Paquistão e seu possível risco à saúde humana. Estes observaram a seguinte ordem de contaminação nos solos  $Mn > Ni > Cr > Cu > Zn > Cd$ , e uma forte correlação entre os seus teores no solos e os presentes nas frutas, grãos e legumes avaliados. O estudo mostrou que apenas o Cd apresentou um alto índice de risco à saúde dos consumidores, sendo sua concentração a mais elevada em 95 % dos frutos e em 100 % das amostras de vegetais estudados.

Alguns trabalhos vêm relacionando aspectos de contaminação dos solos e plantas com possíveis impactos à saúde humana pelas diversas vias de absorção. Liu et al. (2013) relacionaram estes aspectos e concluíram que contaminações por metais (Pb, Cd, Cr, Hg e As) em vegetais e solos correlacionam-se significativamente, podem causar danos potenciais à saúde humana, através da transferência deste elementos na cadeia alimentar.

### **2.3- METAIS PESADOS EM ÁGUA E SEDIMENTO**

Os rios são agentes fixadores do homem desde a antiguidade. No entanto, essa proximidade das atividades humanas e suas margens vêm ocasionando mudanças nos regimes hidráulicos, nos níveis de assoreamento e na composição físico-química, principalmente teores de metais pesados (GUEDES et al., 2005).

A contaminação por metais pesados está diretamente associada à sua biodisponibilidade, podendo ser potencializada por fontes alimentadoras da poluição como atividades mineradoras, indústrias e agricultura. A agricultura, importante fator econômico mundial, colabora cada vez mais para a degradação da qualidade da

água por meio do lançamento, mesmo que indireto, de poluentes, como agrotóxicos, sedimentos e fertilizantes (NÚÑEZ et al., 2006). Estes, por sua vez, contribuem com cargas, muitas vezes elevadas, de metais pesados, tanto em águas superficiais como em subterrâneas durante o processo de escoamento e percolação (MARQUES et al., 2007). Núñez et al. (2006) salientam que perda de solo por erosão, devido a práticas inadequadas, poderá, contribuir para a contaminação dos corpos d'água com metais pesados.

Independente da origem, a absorção de doses inadequadas de metais pesados pode ocasionar sérios transtornos à saúde humana (SOUZA et al., 2013) e a população que vive às margens dos corpos d'água, de acordo com Rocha et al. (2010), tem sido a mais atingida. Além disso, alterações nos padrões dos metais pesados em corpos hídricos têm impactos significativos na biota aquática (RIBEIRO et al. 2012), podendo contaminar a cadeia alimentar, pois diferentes animais aquáticos atuam como concentradores de elementos poluentes, como moluscos (HOODA, 2010) e peixes que se alimentam de algas e sedimento.

Em corpos d'água, a distribuição de elementos e compostos químicos contaminantes, é controlada por processos químicos, físicos e biológicos, que, interagem determinando a concentração destes na coluna de água, nos sólidos suspensos e nos sedimentos. No caso dos metais, fatores como floculação, condições de pH, condições redox, teor de carbonatos, interação com materiais particulados e dissolvidos, orgânicos e inorgânicos condicionam sua remoção na coluna d'água e sua deposição nos sedimentos (GAO e LI, 2012)

O conhecimento dos valores de ocorrência de metais pesados tanto na água quanto no sedimento é uma variável potencial para ser utilizada no programa de monitoramento, dada a sua relação com o material de origem, manejo e uso do solo. No Brasil, existem valores estabelecidos na legislação para estes dois compartimentos, que servem de base para a investigação e monitoramento dos teores de metais pesados na água e no sedimento.

A Resolução CONAMA 357/2005, estabelece padrões para qualidade de água, nas diferentes classes de água, para substâncias orgânicas e inorgânicas, dentre elas os metais pesados. As classes estabelecidas na resolução são para água doce, água salobra e água salgada, variando de acordo com o uso a qual são destinadas, sendo elas classe especial, classe 1, 2 e 3. De maneira geral, os teores máximos estabelecidos de substâncias orgânicas e inorgânicas se elevam ou são

mantidos da classe 1 para a classe 3. Logo, é necessário conhecer as diferentes potencialidades do corpo de água em estudo para a adoção destes valores. Quando um corpo de água apresenta uso nas diferentes classes, opta-se por adotar o teor máximo permitido na classe 1, por ser o mais restritivo de acordo com a Resolução COMANA 357/2005.

Com relação aos metais pesados em estudo, para águas doces da classe 1 (águas destinadas ao abastecimento após tratamento simples, a irrigação de hortaliças consumidas cruas e frutas rentes ao chão), são estabelecidos como valor máximo os teores totais de 0,001 mg/L de Cd, 0,01 mg/L de Pb, 0,05 mg/L de Cr, , 0,1 mg/L de Mn e 0,025 mg/L de Ni e os teores dissolvidos de 0,009 mg/L de Cu e 0,3 mg/L de Fe.

Para o sedimento, não existe legislação específica no Brasil, no entanto, diversos pesquisadores, entre eles Alves et. al. (2010), Baggio e Horn (2011), Lima e Santos (2012), utilizam teores orientadores estabelecidos pela resolução do CONAMA para solo. A região do lago de Sobradinho apresenta como particularidade, a redução de cota que permite o que antes era sedimento ser utilizado como terra agricultável pelos ribeirinhos, existindo sempre esta dualidade, sedimento - solo, ao longo da variação de cota no ano. A legislação mais atual sobre o tema é a resolução CONAMA 420/2009. Esta estabelece como valor de prevenção os teores totais de 1,3 mg/kg para Cd, 72 mg/kg para Pb, 60 mg/kg para Cu, 75 mg/kg para Cr, 30 mg/kg para Ni, 300 mg/kg para Zn. Não são descritos nesta resolução valores de prevenção para Fe e Mn.

O córrego Monte Alegre e seus afluentes em Ribeirão Preto, SP, foi objeto de estudo de Alves et. al. (2010), em relação aos teores de metais pesados (Cd, Cr, Cu, Mn, Pb e Zn) em água e em sedimentos. Os pesquisadores encontraram teores de Zn e Pb em água superiores aos valores da resolução CONAMA 357/2005 e de sedimento para Zn, Pb, Cu e Cr superiores a legislação 344/2004, sendo apontado como umas das possíveis fonte de contaminação, destes compartimentos, produtos agrícolas lixiviados para o córrego. Já Barreto e Bitar (2011) ao avaliarem a qualidade da água e o sedimento do córrego Aragão em Patos de Minas, MG, em relação à presença de metais pesados (Cd, Pb e Zn), obtiveram teores dentro do limite estabelecido para água pela resolução 357/2005 do CONAMA e para sedimento na resolução 420/2009 do CONAMA, no entanto salientam que os teores, principalmente no sedimento, não devem ser desconsiderados pois o aumento da

concentração depende da potencialização de fontes das atividades antrópicas no local.

Nos que diz respeito aos sedimentos, estes são considerados o compartimento mais significativo quanto à concentração de metais, sendo reconhecido como um importante indicador ambiental da poluição da água, uma vez que possuem a capacidade de acumular, transportar e liberar espécies contaminantes que se encontravam adsorvidas às partículas (CHABUKDHARA e NEMA 2012). A liberação destes ocorre devido a alterações nas condições ambientais e físico-químicas, podendo contaminar a água e outros sistemas ambientais, afetando sua qualidade, levando à bioacumulação e transferência para a cadeia trófica (COTTA et al., 2006). Além disso, uma vez contaminados, os sedimentos podem representar uma fonte potencial de metais pesados para o ambiente, mesmo após a redução ou a eliminação das emissões antrópicas (RIBEIRO et al., 2013).

É crescente o volume de trabalhos que avaliam os teores de metais presentes no sedimento como um compartimento aquático ativo que desempenha um papel fundamental na redistribuição dessas espécies à água e a biota aquática (ALVES et al., 2010; OLIVEIRA e MARINS, 2011).

Lima e Santos (2012) avaliaram a poluição por Ba, Al, Fe, Cu, Pb, Zn, Mn, Cr, Ni, Cd, As, Se, Hg e Co nas águas do Rio Claro, GO, e observaram que os teores de Al, Fe, Cu e Mn encontram-se acima do permitido pela resolução CONAMA 357/2005 e constataram ainda, a presença de Cd, Cr, Co, As, Pb, e Zn. Segundo os pesquisadores, pode existir uma relação entre a atividade agrícola com a devastação da mata ciliar do trecho em estudo e da lixiviação natural do solo, predominantemente ácido da região com a presença destes elementos.

Santos et al. (2008) ao avaliarem a ocorrência de Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni e Zn no trecho inferior do rio Ivaí, PR, observaram que os metais Pb, Zn, Cu, e Fe apresentaram concentrações mais elevadas que as permitidas pela Resolução CONAMA 20/86, em, pelo menos, um dos pontos amostrados. Os pesquisadores justificam que a elevada concentração de Fe, deve-se principalmente, a sua ocorrência natural nos solos e rochas drenados pelo rio, aliado a isso, o intenso manejo do solo, facilita e até promove o seu carreamento deste elemento juntamente com os sedimentos, enquanto o Pb, o Zn e o Cu estão relacionados à atividade agrícola.

São diversos os estudos sobre a presença de metais pesados em água e sedimento ao longo do rio São Francisco e principais afluentes, como os realizados por Baggio e Horn (2011) que estudaram teores totais e distribuição de Cu, Cd, Cr, Ni, Pb e Zn nos sedimentos de corrente e fundo do rio do Formoso – MG, importante tributário do rio São Francisco, e verificaram que os teores de Cd e Cr ultrapassaram os valores de referência estabelecidos pela Resolução CONAMA 344/2004, estando os demais elementos dentro dos limites de referência. Segundo os pesquisadores, a presença de Cd e Cr está associada aos resíduos metalorgânicos gerados pela agricultura comercial praticada na região e a presença de Cr também pode estar associada ao material de origem do solo.

Ribeiro et al. (2012) avaliaram a qualidade da água e a concentração de Zn, Cd, Pb, Cr, Co, Cu, Ba, Ni, Al, Mn, Ca, Mg e Fe na seção do Rio São Francisco a jusante da represa de Três Marias e a montante do Rio das Velhas. Constatou-se que a variação sazonal influencia na qualidade da água e que as maiores concentrações de metais em suspensão ocorrem na estação chuvosa (março). Os pesquisadores ressaltam que no segmento entre os dois centros urbanos e a jusante de Pirapora, onde a atividade agrícola é intensa, os teores de Cd, Cu, Cr, Co e Ni foram elevados, indicando a necessidade de um estudo de contaminação dos solos agrícolas, principalmente irrigados, nessa região.

No entanto, a maioria dos estudos se concentra na região do Estado de Minas Gerais, não existindo referências que tratam da região do Lago de Sobradinho. Portanto é crescente a necessidade de estudos sobre o teor de metais pesados na água e no sedimento do Lago de Sobradinho, numa tentativa de medir os impactos causados pelas atividades antrópicas, bem como estabelecer medidas preventivas e mitigatórias.

## REFERÊNCIAS

ALVES, R. I. S.; TONANI, K. A. A.; NIKAIDO, M.; CARDOSO, O. O.; TREVILATO, T. M. B.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. **Avaliação das concentrações de metais pesados em águas superficiais e sedimentos do Corrégo Monte Alegre e efluentes, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil.** Rev. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. v.5. n.6. 2010. p.122-132.

ALLOWAY, B.J. **Heavy Metals in Soils – Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability**. New York: Springer. 2010 p. 11-493

BAGGIO,H.; HORN, A. H. **Fonte, distribuição e características geoquímicas dos sedimentos de corrente do rio do Formoso – MG**. Geoambiente on line. n.16. 2011.p. 53-65.

BARRETO, A. C. L.; BITAR, N. A. B. **Análise de metais pesados na água e nos sedimentos de corrente do córrego Aragão situado no município de Patos de Minas/MG**. Perquirere. v.8, n. 2. 2011. p.214-223.

BARROS, H. **Avaliação dos impactos sócio-econômicos da implantação do projeto Sobradinho**. Recife: FUNDAJ/ IPS/Departamento de Economia, 1983.

BIONDI. C. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; FABRICIO NETA; A. B.; RIBEIRO, M. R. **Teores de Fe, Mn, Zn, Cu, Ni e Co em solos de referência de Pernambuco**. R. Bras. Ci. Solo, v. 35. 2011. p.1057-1066.

BURAK, D. L.; FONTES, M. P. F.; SANTOS, N. T.; MONTEIRO, L. V. S.; MARTINS, E. S.; BECQUER, T. **Geochemistry and spatial distribution of heavy metals in Oxisols in a mineralized region of the Brazilian Central Plateau**. Geoderma. v.160. 2010. p.131–142.

CAO, H.; CHEN, J.; ZHANG, J.; ZHANG, H.; QIAO, L.; MEN, Y. **Heavy metals in rice and garden vegetables and their potential health risks to inhabitants in the vicinity of an industrial zone in Jiangsu, China**. J. Environ. Sci. v.22. n.11. 2010. p.1792–1799.

CAMPOS, M.; SILVA, F. N.; FURTINI NETO, A. E.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; ANTUNES, A. S. **Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha**. Pesq. agropec. bras. v.40. n.4. 2005. p.361-367.

CAMPOS, M. C. C. **Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais**. Ambiência. v.6 n.3. 2010.p.547 - 565.

CHABUKDHARA, M.; NEMA, A. K. **Assessment of heavy metal contamination in Hindon River sediments: A chemometric and geochemical approach**. Chemosphere. v. 87. 2012. p. 945–953.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução do nº 357 de 17/03/05.** Brasília: Brasil. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 20/07/13.

---

\_\_\_\_\_. **Resolução do nº 420 de 28/12/09.** Brasília: Brasil. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>> Acesso em: 20/07/13.

COTTA, J. A. O; REZENDE, M. O. O; PIOVANI, M. R. **Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira - PETAR, São Paulo, Brasil.** *Quim. Nova*, vol. 2. no. 1. , 2006. p. 40-45.

FADIGAS, F. S; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; ANJOS, L. H. C.; MAZUR, N. **Background levels of some trace elements in weathered soils from the Brazilian Northern region.** *Sci. Agric.* v.67. n.1. 2010. p.53-59.

FERNANDES, R. B. A.; LUZ, W. V.; FONTES, M. P. F.; FONTES, L. E. F. **Avaliação da concentração de metais pesados em áreas olerícolas no Estado de Minas Gerais.** *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.11, n.1, p.81–93, 2007.

FREITAS, E. V. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; GOULART. D. F.; SILVA, J. P. S. **Disponibilidade de cádmio e chumbo para milho em solo adubado com fertilizantes fosfatados.** *Revista Brasileira de Ciência Solo*, v.33. 2009. p.1899-1907.

GAO, X.; LI, P. **Concentration and fractionation of trace metals in surface sediments of intertidal Bohai Bay, China.** *Marine Pollution Bulletin* v.64. 2012. p.1529–1536.

GUEDES, J. A.; LIMA, R. F. S.; SOUZA; L. C. **Metais pesados em água do rio Jundiá - Macaíba/RN.** *Revista de Geologia*. v. 18. n.2. 2005. p.131-142.

HIROAKI, I.; MOTOKI IWASAKI, M.; SAWADA, N.; TAKACHI, R.; KASUGA, Y.; YOKOYAMA, S.; ONUMA, H.; NISHIMURA, H.; KUSAMA, R.; YOKOYAMA, K.; TSUGANE, S. **Dietary cadmium intake and breast cancer risk in Japanese women: a case-control study.** *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v.217. n.1. 2014 p. 70-77.

HOODA, P. S. [Org.] **Trace elements in soils.** 1. ed.Wiley. 2010. 618p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **População estimada (2013)**. Disponível: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=29&search=bahia>>. Acesso em: 26 de maio. 2014.

JARDIM, I.C.S.F., ANDRADE, J. A., QUEIROZ, S.C.N. **Resíduos de agrotóxicos em alimentos: uma preocupação ambiental global - Um enfoque às maçãs**. Química Nova. v.32. 2009. p.996-1012.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4.ed. Boca Raton: CRC, 2011. 534 p.

KHAN, K.; LU, Y; KHAN, H; ISHTIAQ, M; KHAN, S; WAQAS, M; WEI, L; WANG, T. **Heavy metals in agricultural soils and crops and their health risks in Swat District, northern Pakistan**. Food and Chemical Toxicology. v.58. 2013. p. 449–458.

LIU, X; SONG, Q; TANG, Y; LI, W; XU, J; WU, J; WANG, F; BROOKES, P.C.. **Human health risk assessment of heavy metals in soil-vegetable system: A multi-medium analysis**. Science of the Total Environment v.463. . 2008. p.530–540. 2013.

LIMA, A. M.; SANTOS, F. F. **Análise das Propriedades Físico-Químicas e de Metais potencialmente Tóxicos na Água do Rio Claro, Próximo a Cidade de Jataí – GO**. Revista Ciências Exatas e Naturais. v.14. n. 2. 2012. p. 239-255.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MARQUES, M. N.; COTRIM, M. B.; PIRES, M. A. F.; BELTRAME FILHO, O. **Avaliação do impacto da agricultura em áreas de proteção ambiental, pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape, São Paulo**. Quim. Nova, v.30. n.5. 2007. p.1171-1178.

MENDES, A.M.S.; DUDA, G.P.; NASCIMENTO, C.W.A.; LIMA, J.A.G.; MEDEIROS, A.D.L. **Acúmulo de metais pesados e alterações químicas em Cambissolo cultivado com meloeiro**. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 14:791-796, 2010.

MUHAMMAD, S.; SHAH, M. T.; SARDAR KHAN, S. **Health risk assessment of heavy metals and their source apportionment in drinking water of Kohistan region, northern Pakistan.** *MicroChem. J.* n.98. 2011. p.334–343.

NÚÑEZ, J. E. V.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; PALMIERI, F.; MESQUITA, A. A. **Conseqüências de diferentes sistemas de preparo do Solo sobre a contaminação do solo, sedimentos e água por metais pesados.** *Edafologia*,v.13. n.2. 2006. p.73-85.

OLIVEIRA, R. C. B.; MARINS, R. V. **Dinâmica de Metais-Traço em Solo e Ambiente Sedimentar Estuarino como um Fator Determinante no Aporte desses Contaminantes para o Ambiente Aquático: Revisão.** *Revista Virtual Química.* vol 3. 2011. p.88-102.

PAYE, H. S.; MELLO, J. W. V.; ABRAHÃO, W. A. P.; FERNANDES FILHO, E. I.; DIAS, L. C. P.; CASTRO, M. L. O.; MELO, S. B.; FRANÇA, M. M. **Valores de referência de qualidade para metais pesados em solos no estado do Espírito Santo.** *R. Bras. Ci. Solo*, v.34. 2010. p.2041-2051.

PRASAD, M. N. V. **Trace Elements as Contaminants and Nutrients: Consequences in Ecosystems and Human Health.** ed. Wiley. 2008. 790 p.

RECATALÁ, L.; SÁNCHEZ, J.; ARBELO, C. D.; SACRISTÁN, D. **Can be reference values of heavy metals useful as soil quality standards? Contributions from assays in representative Mediterranean agricultural soil.** 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 2010. p. 23-26.

RIBEIRO, E. V.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; HORN, A. H.; TRINDADE, W. M. **Metais pesados e qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora - MG: índice de contaminação.** *Geonomos.* v.20. n.1. 2012. p.49-63.

RIBEIRO, A. P.; FIGUEIREDO, A. M.; SANTOS, J. O.; DANTAS, E.; COTRIM, M. E.; FIGUEIRA, R. C.; SILVA FILHO, E. V.; WASSERMAN, J. C. **Combined SEM/AVS and attenuation of concentration models for the assessment of bioavailability and mobility of metals in sediments of Sepetiba Bay (SE Brazil).** *Marine Pollution Bulletin* v.68. 2013. p.55–63.

ROCHA, D. S.; CUNHA, B. C. A.; GERALDES, M. C.; PEREIRA, S. D.; ALMEIDA, A. C. M. **Metais pesados em sedimentos da baía de Sepetiba, RJ: implicações sobre fontes e dinâmica da distribuição pelas correntes de maré.** *Geochimica Brasiliensis.* v.24. n.2. 2010. p.63-70.

SALES, L. E. O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M. **Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. n.34. 2010. p. 667-674.

SALVIANO, A. M., DUDA, G. P. LIMA, J. A. G., HOLANDA, J. S. de, AMORIM, L. B., PAZ, K. K. R. da. **Teores de metais pesados na água subterrânea utilizada para irrigação no município de Baraúna-RN.** In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 2005, Teresina. XV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem. Brasília: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2005. v. 1. p. 1-6.

SANTOS, M. L.; COELHO, E. L.; COELHO, A. R. **Ocorrência de metais pesados no curso inferior do rio Ivaí, em decorrência do uso do solo em sua bacia hidrográfica.** Acta Science Technologic. v. 30. n. 1. 2008. p. 99-107.

SILVA, E. M. **Desterritorialização sob as águas de Sobradinho: ganhos e desenganos.** (Dissertação de mestrado) – Universidade Estadual da Bahia. Salvador, 2010. 320f.

SILVA, J. P. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; CUNHA, K. P. V. **Heavy metals in soils and plants in mango orchards in Petrolina, Pernambuco, Brazil.** R. Bras. Ci. Solo. v. 36. 2012. p.1343-1353.

SOUSA SOBRINHO, J. **Desenvolvimento no vale do São Francisco: uma análise crítica.** XIX Encontro nacional de geografia agrária, São Paulo, 2009, p. 1-36.

SOUZA, A.; FONTENELE, S. B.; OLIVEIRA, A. P. G.; LASTORIA, G.; DIAS, C. **Similaridade da qualidade das águas superficiais da bacia do Rio Negro, MS.** Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas. v. 35 n. 2 . 2013. p. 176-189.

SOUZA, R. C. A.; RAMOS, A. R. N. **Rio São Francisco: cultura, identidade e desenvolvimento.** RDE - Revista De Desenvolvimento Econômico. v. XII Ed. Esp. 2010. p. 5-13.

SOLLITTO, D.; ROMIC, M.; CASTRIGNANÒ, A.; DAVOR ROMIC, D.; BAKIC, H. **Assessing heavy metal contamination in soils of the Zagreb region (Northwest Croatia) using multivariate geostatistics.** Catena. v.80. 2010. p.182–194.

ZENG, F.; ALI, S.; ZHANG, H.; OUYANG, Y.; QIU, B.; WU, F.; ZHANG, G. **The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants.** Environmental Pollution v.159. 2011. p.84-91.

## 1. CAPÍTULO I

### TEORES DE METAIS PESADOS EM SOLOS DA REGIÃO DE ENTORNO DO LAGO DE SOBRADINHO, BA.

#### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do uso agrícola nos teores totais de metais pesados (Ni, Cu, Mn, Zn, Fe, Pb, Cr, e Cd) em solos da região de entorno do Lago de Sobradinho, BA. Foram selecionadas 24 propriedades agrícolas, 8 propriedades no município de Casa Nova, 8 em Sento Sé, 4 em Remanso e 4 em Sobradinho. Em cada propriedade coletaram-se amostras de solo em duas áreas, uma sob uso agrícola e outra sob caatinga, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm com três repetições, totalizando 432 amostras. A extração dos metais pesados se deu pelo método 3050B e a determinação por EAA, modo chama. Os teores totais de metais e os atributos químicos e físicos do solo foram submetidos às análises de estatísticas descritiva, de correlação e multivariada. Os teores totais de Ni, Cu, Zn, Pb, Cr e Cd apresentaram-se acima do limite estabelecido na resolução CONAMA 420/2009, em pelo menos uma propriedade e uma profundidade de coleta. Diferenças significativas foram verificadas entre os teores de metais na caatinga e na área agrícola em algumas propriedades, indicando existência de influência do uso nos teores dos elementos no solo, no entanto não foi possível afirmar que as diferenças devem-se apenas ao uso. Os teores de M.O., a SB e a CTC foram variáveis importantes para explicar o teor e a distribuição dos metais pesados nas camadas do solo e podem indicar relação entre uso de fertilizantes e os teores de metais pesados.

**Palavras-chave:** uso do solo, estatística multivariada, contaminação.

#### ABSTRACT

This study aimed to evaluate the influence of agricultural use in the total levels of heavy metals (Ni, Cu, Mn, Zn, Fe, Pb, Cr, and Cd) in soils of the region around the Lake Sobradinho, BA. 24 farms were selected: 8 properties for municipalities in Casa Nova and Sento Sé and 4 properties for municipalities and Remanso Sobradinho. In each farm-collected if the soil in two areas, one under agricultural use and other under caatinga at depths of 0-10 cm, 10-20 cm and 20-40 cm with three replications, totaling 432 samples. The extraction of heavy metals in the sample was due to the 3050B method and determination by FAAS. The levels of metals and chemical and physical properties of soil analyzes of descriptive statistics, correlation and multivariate analysis were submitted. Ni, Cu, Pb, Cr and Cd showed levels above the limit established by Resolution CONAMA 420/2009, in at least one property and a layer. Significant differences were found between the levels of metals in the bush and in agriculture in some property, indicating the existence of influences on use levels of elements in the soil, however it was not possible to say that the differences are due only to the use. MO, SB and CTC were important variables to explain the content and

distribution of heavy metals in layers and may indicate relationship between fertilizer use and heavy metal contents.

**Keywords:** use of soil, multivariate statistical contamination.

## INTRODUÇÃO

Os metais pesados, elementos químicos com densidade superior a  $6 \text{ g/cm}^3$ , (HOODA, 2010), ocorrem naturalmente em solos com concentrações variáveis, em função da composição do material de origem do solo, dos processos de formação, da composição e proporção dos componentes da fase sólida. Na maioria das vezes, estes elementos estão presentes em concentrações que não oferecem risco ao ambiente (FADIGAS et al., 2010).

Todavia, nas últimas décadas, atividades antropogênicas têm elevado, substancialmente, a concentração de alguns destes elementos em diversos ecossistemas (KABATA-PENDIAS, 2011). O intensivo uso do solo aliado a intensa aplicações de fertilizantes e agrotóxicos podem ser fonte de contaminação por metais, tais como o Cu, Ni, Zn e Cd, acumulando-os na camada superficial do solo (SOLLITTO, 2010). Pesquisas têm destacado a presença de elementos como Cd, Cu e Pb (FREITAS et al., 2009) nesses produtos e o potencial de acúmulo no solo varia em de acordo com as relações entre seus atributos, principalmente a matéria orgânica, pH e conteúdo e tipo de argila (CAMPOS, 2010; FADIGAS et al., 2010). A influência do pH e teor de matéria orgânica na disponibilidade de metais pesados no solo e sua absorção pelas plantas de arroz, foi estudada por Zeng et al. (2011). Neste estudo os metais (Cr, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn) se correlacionarem negativamente com o pH do solo e positivamente com o teor de matéria orgânica.

A presença no solo de elevados teores de metal pesado configura-se ameaça potencial ao meio ambiente e pode prejudicar a saúde humana através de várias vias de absorção, tais como a ingestão direta, o contato dérmico e a cadeia alimentar (Lu et al., 2010; Khan et al., 2013). Logo é necessário conhecer os teores de metais presentes no solo bem com os fatores influenciam a presença destes. As técnicas de análise multivariada são uma ferramenta útil para isto, pois segundo Paye et al. (2012) possibilitam avaliar um conjunto de características, de acordo com as correlações existentes entre elas, de forma simultânea. Além disso, pode

promover a redução do número de variáveis com o mínimo de perda de informação ou de simplificar a sua estrutura, a classificação e agrupamento de dados, e a investigação de dependência entre variáveis.

A região de entorno do Lago de Sobradinho tem sua economia centrada na agricultura irrigada, com o cultivo de oleráceas, principalmente a cebola. A maioria das áreas agrícolas localiza-se nas vazantes que caracteriza-se pelo plantio em área anteriormente inundada, acompanhando a cota do lago e muitas vezes utilizando irrigação por inundação.

O uso indiscriminado de agrotóxicos e fertilizantes químicos nesta região é motivo constante de preocupação com o meio ambiente, principalmente no que diz respeito aos teores de metais pesados aportados nos solos, podendo contaminá-los. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência do uso agrícola sobre os teores totais de metais pesados (Cu, Cr, Cd, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) em solos da região de entorno do Lago de Sobradinho, BA.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

A área de estudo localiza-se na região de entorno do Lago de Sobradinho, BA, com clima do tipo Bsw<sup>h</sup>, precipitações médias variam entre 400 e 630 mm anuais, concentradas em apenas três ou quatro meses e mal distribuídas (SILVA et al., 2010). Predomina nesta região a Caatinga hiperxerófila como vegetação (JACOMINE et al., 1976; BRASIL, 2011).

A região está inserida na Depressão Sertaneja, numa superfície de pediplanação denominada Depressão Periférica do Médio São Francisco, a qual se refere à faixa de terrenos do Pré-Cambriano que separa as bacias do Piauí-Maranhão e do Tombador (JACOMINE et al., 1973). Verifica-se a presença de materiais arenosos, areno-argilosos, argilo-arenosos e macroclásticos, principalmente concreções ferruginosas e seixos de quartzo (CUNHA et. al., 2008).

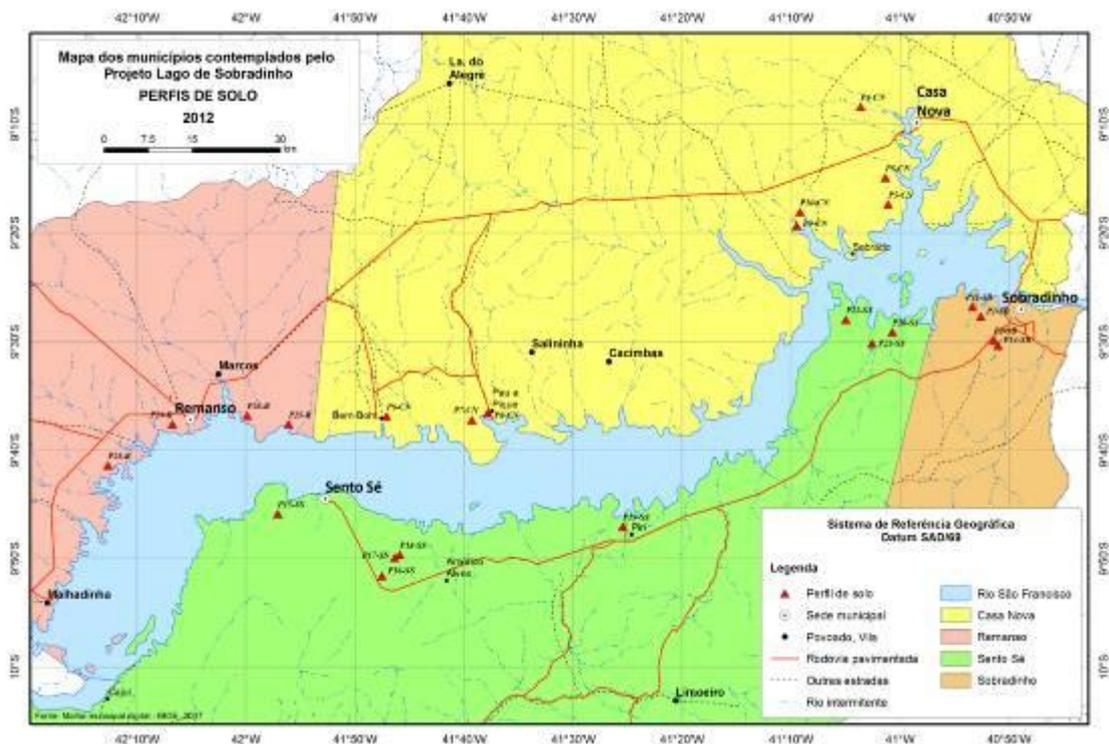
Na margem esquerda do lago de Sobradinho (Casa Nova e Remanso) predominam os Argissolos, Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, existindo também a presença de uma faixa de Neossolos Litólicos na porção oeste desta área (VAZ et al., 2010). Na margem direita do lago de Sobradinho (Sobradinho e Sento Sé) predomina uma feição pedológica com presença dos Neossolos Litólicos,

Planossolos e Latossolos, além dos Argissolos e Cambissolos, em menor quantidade.

Os municípios de Casa Nova, Remanso, Sento Sé e Sobradinho, em 2012, produziram 77.400 t de cebola, 28.940 t de melancia e 4.400 t de melão representado 35,7%, 11,2% e 12,7% respectivamente, da produção destas culturas no estado da Bahia (IBGE, 2014). Culturas como banana, coco-da-baía, goiaba, feijão, mandioca, milho, manga e uva também merecem destaque na região. Ressalta-se que grande parte desta produção é oriunda da agricultura de base familiar, cultivada de forma peculiar, conhecida como cultivo de vazante.

### Seleção das áreas

Foram selecionadas 24 propriedades, sendo, 8 no município de Casa Nova, 8 em Sento Sé, 4 em Remanso e 4 em Sobradinho (Figura 1), tendo como critérios para seleção a intensidade e o tempo de uso com atividades agrícolas e a proximidade do lago de Sobradinho. Em cada propriedade foram selecionadas duas áreas, uma sob uso agrícola e outra sob caatinga.



**Figura 1.** Mapa de localização das propriedades agrícolas amostradas na região de entorno do lago de Sobradinho, BA.

As propriedades rurais selecionadas por município, com suas respectivas classes de solo e uso agrícola estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Localização, classe de solo e uso agrícola das áreas selecionadas.

Município	Propriedade	Coordenadas	Classe de solo	Uso Agrícola
<b>Sobradinho</b>	P1	293995 8953545	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico léptico	cebola, manga e melão
	P2	296224 8949582	ARGISSOLO AMARELO Distrófico plíntico	tomate, banana
	P3	292616 8955249	LUVISSOLO CRÔMICO Órtico vértico	melancia
	P4	296899 8948683	ARGISSOLO AMARELO Distrófico plíntico	melancia
<b>Remanso</b>	P1	806065 8927574	LATOSSOLO AMARELO Distrófico psamítico	feijão, mandioca e milho.
	P2	816948 8934491	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico plíntico	tomate, mandioca
	P3	177892 8934441	LATOSSOLO VERMELHO- AMARELO Eutrófico típico	mandioca
	P4	170918 8935889	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico plíntico	banana e milho
<b>Sento Sé</b>	P1	275767 8950807	PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico arênico	cebola e capim
	P2	271385 8952901	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico	melancia
	P3	193794 8908841	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico	melancia
	P4	279181 8950807	PLANOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico	cebola
	P5	195934 8911940	ARGISSOLO AMARELO Distrófico plíntico	cebola
	P6	234119 8917500	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico léptico	cebola
	P7	196739 8912445	ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico	cebola e melão
	P8	176187 8919238	ARGISSOLO AMARELO Eutrófico plíntico	melancia e feijão
<b>Casa Nova</b>	P1	278322 8972503	ARGISSOLO AMARELO Distrófico abrupto plíntico	cebola
	P2	263506 8971132	LATOSSOLO AMARELO Distrófico psamítico	cebola
	P3	262929 8968752	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico latossólico	cebola e melancia
	P4	208653 8935453	PLANOSSOLO HÁPLICO Distrófico esessarênico	tomate
	P5	211311 8936607	ARGISSOLO AMARELO Eutrófico típico	feijão, mandioca e milho.
	P6	194314 8935964	NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico típico	capim, mandioca e banana.
	P7	277831 8977046	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico	cebola
	P8	273599 8989071	ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Eutrófico abrupto	cebola

### Coleta das amostras de solo

Em cada propriedade coletaram-se amostras de solo em área sob uso agrícola e sob caatinga, utilizada como área referência. Cada uma dessas áreas foi subdividida em três subáreas, onde se coletou uma amostra composta a partir de 10 amostras simples, nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm de profundidade, totalizando 432 amostras compostas. As amostras de solo foram coletadas nos meses de abril e maio de 2012. Depois de coletadas, as amostras foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e passadas em peneira de 2,0 mm de abertura de malha (9 mesh), obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA) utilizada nas análises químicas e físicas. Para análises de metais pesados as amostras em TFSA foram moídas no moinho e passadas na peneira de 0,180 mm de abertura de malha (80 mesh).

### **Caracterização química, física e extração dos teores totais de metais pesados**

Para caracterização física das amostras foram realizadas as análises granulométricas, pelo método da pipeta e argila dispersa em água (ADA) (RUIZ, 2005); a densidade do solo ( $D_s$ ) pelo método da proveta e a densidade de partículas pelo método do balão volumétrico (DONAGEMA et al., 2011) a partir dos quais se calculou a porosidade total ( $P_t$ ); a Macroporosidade ( $M_a$ ) e a Microporosidade ( $M_i$ ) foram estimadas por modelo matemático utilizando-se os dados de  $D_s$  e do teor de areia (Stolf et al., 2011).

Para caracterização química do solo determinaram-se os teores de matéria orgânica (M.O.); cálcio (Ca), magnésio (Mg), sódio (Na) e potássio (K); fósforo (P); e o pH. O Ca e o Mg foram determinados pela espectrometria de absorção atômica (EAA) após extração em KCl ( $1 \text{ mol L}^{-1}$ ). A extração do Na, K e do P foi realizada utilizando-se Mehlich-1 ( $\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ ). Nesse extrato, a determinação do Na e do K foi realizada por fotometria de chama. A determinação do pH foi realizada eletronicamente por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:água (1:2,5). A determinação do Fósforo (P) foi realizada por colorimetria (método do complexo fosfomolibdico). A partir desses dados calcularam-se a soma de bases (S), a capacidade de troca de cátions (CTC) e a percentagem de sódio trocável (PST). Todas as análises foram realizadas segundo metodologia descrita no manual de análise de solos da Embrapa (DONAGEMA et al., 2011).

Para a extração dos teores totais de Ni, Cu, Mn, Zn, Fe, Pb, Cr, e Cd utilizou-se o método EPA 3050B da Environmental Protection Agency (USEPA, 2007). A

determinação dos metais no extrato foi obtida por espectrofotometria de absorção atômica (EAA), modo chama, em equipamento marca PERKIN ELMER, modelo PinAAcle 900H. Os comprimentos de onda selecionados ( $\lambda$ ) e os limites de detecção (LD) e limite de quantificação praticável (LPQ) obtidos descritos no Quadro 1.

**Quadro 1.** Comprimentos de onda selecionados, limites de detecção (LD) e limites de quantificação (LQ) praticável por EAA modo chama.

Elemento	$\lambda$	LD <sup>(1)</sup>	LQP <sup>(2)</sup>
mg L <sup>-1</sup>			
Ni	232,00	0,046	2,29
Cu	324,75	0,013	0,63
Zn	213,86	0,038	1,88
Fe	248,33	0,099	4,97
Mn	279,48	0,002	0,09
Cd	228,80	0,003	0,13
Pb	283,31	0,018	0,89
Cr	357,87	0,032	1,62

<sup>(1)</sup> Limite de detecção =  $3 \sigma$  (tg  $\alpha^{-1}$ ) (PAYE et al., 2012). <sup>(2)</sup> Limite de quantificação praticável = LD x fator diluição (FD). FD= 50.

O controle de qualidade do método utilizado para obter os teores totais dos elementos nas amostras foi avaliado por meio das taxas de recuperação de uma amostra de referência contaminada com os metais em estudo. A cada bateria com 38 amostras de solos, foi utilizada uma amostra de referência e uma amostra de branco. Os valores recuperados dos elementos na análise total do material de referência variaram de 93 a 108 % (Quadro 2), encontrando-se dentro da faixa recomendada para a maioria dos elementos estudados (USEPA, 2007).

**Quadro 2.** Teores totais no material de referência contaminado pelo método EPA 3050B.

Elemento	Teor total <sup>(1)</sup>	Recuperação <sup>(2)</sup>
	mg kg <sup>-1</sup>	%
Ni	13,57	96,96
Cu	10,20	101,96
Zn	12,67	97,44
Fe	3266,34	108,88
Mn	79,13	93,10
Cd	3,54	101,09
Pb	10,09	100,89
Cr	21,14	105,71

<sup>(1)</sup> Média aritmética de dez réplicas; <sup>(2)</sup> % R = (valor recuperado/valor referência) x 100.

### Análise estatística

Os resultados analíticos foram submetidos à análise estatística descritiva considerando os parâmetros de posição, média e de dispersão, valores mínimos e máximos, desvio padrão e coeficiente de variação. A normalidade dos dados foi

avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) ( $p \leq 0,05$ ). Para cada propriedade, dos municípios de Sobradinho, Remanso, Sento Sé e Casa Nova, realizou-se a comparação entre os teores de metais no solo, na área sob caatinga e sob uso agrícola, pelo teste t de Student ( $p \leq 0,10$ ) para amostras independentes e variâncias homogêneas. Os teores totais de metais pesados do solo foram correlacionados com as características físico-químicas por meio da correlação linear simples de Pearson ( $p \leq 0,05$ ). Essas análises foram realizadas com objetivo de avaliar se os dados apresentam normalidade e linearidade, identificar outliers e observar se a matriz de correlação apresenta valores significativos que, de acordo com Pestana e Gageiro (2005), Hair et al. (2005) e Ho (2006) são suposições para realização da análise fatorial (AF).

Em seguida, os dados padronizados foram submetidos à análise fatorial (AF), utilizando-se a análise por componentes principais (ACP) como método de extração. Os eixos foram rotacionados pelo método Varimax e estabeleceu-se para este estudo o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas.

As análises estatísticas dos dados foram realizadas com o auxílio do software estatístico STATISTICA 5.0 (STATSOFT, 1995).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A estatística descritiva e o teste KS para os atributos físicos e químicos do solo, nas camadas de 0–10; 10-20 e 20–40 cm estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2:** Estatística descritiva e teste KS para atributos físicos e químicos do solo nas camadas de 0–10, 10-20 e 20–40 cm de profundidade.

Parâmetro	Ds	Ma	Mi	Pt	ARGILA	SILTE	AREIA	ADA	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	SB	CTC	PST
	kg m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		g kg <sup>-1</sup>						mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					
<b>0-10 cm</b>																	
<b>Média</b>	1,53	0,16	0,28	0,44	126,95	49,61	822,82	11,25	7,74	5,90	25,03	0,40	2,62	0,81	3,89	7,00	0,90
<b>DP</b>	0,08	0,04	0,02	0,03	74,19	46,69	91,76	8,45	7,72	0,76	37,60	0,44	2,60	0,71	3,52	3,73	1,76
<b>CV (%)</b>	5,54	23,21	8,97	7,51	58,44	94,11	11,15	75,13	99,70	13,00	150,30	111,60	99,20	87,5	90,30	53,30	195,6
<b>Mínimo</b>	1,33	0,05	0,23	0,36	10,98	0,63	466,10	0,96	0,52	4,47	0,29	0,06	0,31	0,10	0,62	2,12	0,12
<b>Máximo</b>	1,74	0,25	0,36	0,53	406,70	295,85	942,56	45,23	46,24	7,95	307,99	2,30	14,50	4,00	19,43	21,19	19,75
<b>KS</b>	0,07*	0,04*	0,12*	0,07*	0,18	0,15	0,15	0,17	0,21	0,07*	0,26	0,28	0,22	0,22	0,23	0,20	0,33
<b>10-20 cm</b>																	
<b>Média</b>	1,54	0,15	0,28	0,43	134,78	49,45	815,77	12,37	5,16	5,79	18,76	0,32	2,30	0,75	3,45	6,49	1,02
<b>DP</b>	0,09	0,04	0,02	0,03	70,64	39,86	91,08	8,23	4,94	0,83	35,49	0,33	2,44	0,65	3,32	3,43	1,62
<b>CV (%)</b>	5,76	24,73	8,68	7,91	52,41	80,60	11,16	66,55	95,80	14,40	189,20	103,20	105,80	86,80	96,30	52,90	159,7
<b>Mínimo</b>	1,31	0,03	0,24	0,36	41,16	1,04	432,20	0,20	0,10	4,29	0,36	0,05	0,30	0,06	0,61	2,43	0,13
<b>Máximo</b>	1,76	0,23	0,37	0,53	405,40	195,14	941,76	38,66	29,58	7,96	316,20	1,90	12,40	4,20	18,10	19,54	13,76
<b>KS</b>	0,04*	0,06*	0,12	0,07*	0,16	0,12*	0,16	0,14	0,18	0,08*	0,30	0,26	0,24	0,24	0,22	0,19	0,29
<b>20-40 cm</b>																	
<b>Média</b>	1,54	0,14	0,29	0,43	150,63	55,5	793,86	14,69	3,36	5,67	13,17	0,27	2,27	0,77	3,40	6,40	1,13
<b>DP</b>	0,09	0,04	0,03	0,04	78,47	48,96	95,34	9,18	2,79	0,85	32,04	0,29	2,61	0,82	3,63	3,83	2,24
<b>CV (%)</b>	6,13	27,81	8,81	8,46	52,10	88,21	12,01	62,53	83,00	14,9	243,20	106,80	115,00	106,40	106,80	59,80	199,10
<b>Mínimo</b>	1,32	0,04	0,24	0,35	21,59	0,58	434,50	0,36	0,10	4,30	0,07	0,05	0,27	0,09	0,48	1,02	0,17
<b>Máximo</b>	1,78	0,23	0,37	0,53	477,00	287,93	938,68	64,94	12,83	7,92	301,14	2,10	15,10	5,40	21,77	23,05	21,41
<b>KS</b>	0,06*	0,05*	0,07*	0,08*	0,09*	0,17	0,12*	0,09*	0,12*	0,07*	0,34	0,23	0,27	0,25	0,25	0,18	0,33

\* distribuição normal pelo teste de Kolmogorov – Smirnov  $p(<0,05)$ . CV.: coeficiente de variação. Ds: densidade do solo; Ma= macroporosidade; Mi = microporosidade; Pt: porosidade total; ADA: argila dispersa em água; M.O.: Matéria orgânica; pH: Potencial hidrogeniônico; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Na: Sódio; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; PST: Percentagem de sódio trocável.

Os solos apresentam uma composição granulométrica, teor de argila, silte e areia, que configuram classes texturais variando de arenosa a franco-arenosa (Tabela 2). Cunha et. al. (2008) afirma essa composição é comum na região em estudo em função do material de origem dos solos relacionados ao Pré-Cambriano com cobertura pedimentar constituída por materiais arenosos, areno-argilosos, argilo-arenosos e material macroclástico, principalmente concreções ferruginosas e seixos de quartzo. Queiroz (2013) ao realizar a caracterização e classificação de 5 dos 8 solos analisados no município de Casa Nova, verificou que a fração areia elevada destes solos apresenta predominância de areia fina e muito fina, que podem elevar a capacidade de retenção de água destes solos.

A Ds apresentou valores médios de  $1,54 \text{ kg m}^{-3}$  (Tabela 2), no entanto os elevados valores máximos encontrados pode restringir o desenvolvimento radicular de algumas culturas e a infiltração de água no solo de acordo com Silva et al. (2011).

Os teores médios de M.O. diminuem com a profundidade do solo, podendo ser atribuído a menor incorporação da mesma ao longo do perfil. De acordo com Alvarez et al. (1999), os teores variam de bom a médio, sendo esse atributo apontado por Arcoverde (2013) como um dos principais atributos para avaliar a qualidade química dos solos da região.

Tanto os valores de pH, bem como os teores de P, K, Ca e Mg decresceram com a profundidade (Tabela 2), além da variabilidade natural, pode ser atribuído também à adubação química em cobertura (a lanço) sem incorporação e aos baixos níveis de MO em profundidade. O pH exerce forte influência na dinâmica dos metais, em condições de pH baixo os íons metálicos catiônicos são mais móveis, já pH acima de seis favorece a adsorção dos metais a M.O. e às cargas do solo, no entanto esta relação é diferente para cada um dos metais (CAMPOS, 2010). Por outro lado, os baixos teores de MO e a textura, predominantemente arenosa, dos solos da região de entorno do lago podem favorecer a lixiviação dos metais.

Segundo Alvarez et al. (1999), os valores médios de pH estão dentro da faixa de classificação agrônômica considerada boa; o P apresenta teor (Tabela 2) variando de bom a médio, de acordo com a textura arenosa da maioria dos solos estudados; o Ca apresenta teor considerado bom na camada de 0-10 cm e médio nas camadas de 10-20 e 20-40 cm; o Mg apresenta teor considerado médio em

todas as camadas; e o K apresenta teor considerado médio na camada de 0-10 cm e baixo nas camadas de 10-20 e 20-40 cm.

Os valores médios de SB reduzem com a profundidade e podem ser considerados bom na camada de 0-10 cm e médios nas demais camadas, segundo Alvarez et al. (1999). A CTC apresentou a média dos teores dentro da faixa classificada como média em todas as profundidades avaliadas (Tabela 2) (Alvarez et al., 1999). Já Cotta et al. (2006) considera que solos com valores maiores que  $5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  possuem uma alta capacidade de troca. Observa-se decréscimo dos valores da CTC em função da profundidade, proporcional aos teores de Ca, Mg, K trocáveis e M.O., que também decresceram com o aumento da profundidade.

Ressalta-se que a associação de baixa CTC, baixo pH e baixo teor de M.O. favorece a mobilidade e a disponibilidade dos metais pesados para as plantas (CAMPOS, 2010).

A estatística descritiva e o teste KS para os metais pesados analisados no solo nas camadas de 0–10; 10-20 e 20–40 cm de profundidade e os limites estabelecidos na Resolução nº 420/2009 encontram-se na tabela 3.

**Tabela 3:** Estatística descritiva e teste KS para metais pesados em amostras de solos da região de entorno do Lago de Sobradinho.

Parâmetro	Ni	Cu	Mn	Zn	Fe	Pb	Cr	Cd
-----mg kg <sup>-1</sup> -----								
<b>0-10 cm</b>								
<b>Média</b>	26,74	36,47	28,54	117,40	11.600,15	17,11	56,47	0,61
<b>DP</b>	9,15	14,89	30,87	180,43	17.839,69	11,96	19,55	0,36
<b>CV (%)</b>	34,21	40,83	108,15	153,69	153,79	69,94	34,63	59,48
<b>Mínimo</b>	4,07	4,37	6,67	7,15	142,55	4,93	1,62	0,13
<b>Máximo</b>	<b>64,83</b>	<b>102,00</b>	359,55	<b>835,48</b>	96.788,08	<b>95,68</b>	<b>121,20</b>	<b>1,78</b>
<b>KS</b>	0,10*	0,10*	0,27	0,30	0,33	0,16	0,06*	0,13
<b>10-20 cm</b>								
<b>Média</b>	18,80	30,59	112,51	25,18	10.872,55	13,98	48,62	0,53
<b>DP</b>	8,45	22,16	154,54	20,75	11.428,66	8,57	25,37	0,35
<b>CV (%)</b>	44,93	72,46	137,36	82,43	105,11	61,30	52,19	66,16
<b>Mínimo</b>	2,29	1,48	2,46	2,63	112,49	0,26	1,62	0,13
<b>Máximo</b>	<b>41,53</b>	<b>199,60</b>	800,12	192,26	68.011,05	42,29	<b>103,31</b>	<b>1,71</b>
<b>KS</b>	0,10*	0,11*	0,26	0,16	0,20	0,16	0,11*	0,13
<b>20-40 cm</b>								
<b>Média</b>	19,23	33,73	109,84	26,13	11920,79	15,47	49,69	0,50
<b>DP</b>	8,77	27,97	145,42	26,69	11496,44	19,10	27,54	0,33
<b>CV (%)</b>	45,59	82,94	132,39	102,13	96,44	123,45	55,43	66,10
<b>Mínimo</b>	2,29	1,32	4,32	1,80	86,32	3,31	1,62	0,03
<b>Máximo</b>	<b>41,55</b>	<b>288,35</b>	608,05	227,34	71.492,99	<b>194,02</b>	<b>116,34</b>	<b>1,79</b>
<b>KS</b>	0,11*	0,12*	0,27	0,19	0,18	0,27	0,10*	0,14
<b>420/09</b>	<b>30</b>	<b>60</b>	-	<b>300</b>	-	<b>72</b>	<b>75</b>	<b>1,3</b>

\* distribuição normal pelo teste de Kolmogorov – Smirnov  $p(<0,05)$ . nd= Valor abaixo do limite de detecção do aparelho. Os valores em destaque excedem o limite legal analisado.

Na Resolução CONAMA 420/2009 as variáveis Fe e Mn não possuem limite máximo definido. Os teores de médios de Ni, Cu, Zn, Pb, Cr e Cd não excederam o valor máximo permitido na Resolução 420/2009. No entanto, observa-se que os teores máximos de cada elemento ultrapassaram o valor legal estabelecido para o elemento em pelo menos um ponto de coleta em uma das profundidades do solo.

Carvalho et al. (2013) propuseram um limite de tolerância para os teores de metais (Co, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn) como referência para Latossolos dos Tabuleiros Costeiros do Recôncavo Baiano, que para os elementos Cu (16 mg kg<sup>-1</sup>), Zn (40 mg kg<sup>-1</sup>), Pb (19 mg kg<sup>-1</sup>) e Cr (61 mg kg<sup>-1</sup>) encontram-se bem abaixo do limite estabelecido pela Resolução 420/2009. Em comparação com este limite os elementos Cu e Zn teriam teores médios, para todas as camadas, superiores aos estabelecidos como referência. Percebe-se então a importância do estabelecimento

de valores orientadores para cada região. Para tanto o primeiro passo é o conhecimento os teores totais de cada metal nos solos regionais, assim os teores encontrados neste trabalho podem servir como base para estudos futuros.

Os teores máximos de Ni ultrapassaram o limite legal em todas as camadas (Tabela 3). Destaca-se a camada 0-10 cm que apresenta teor mais elevado, sendo, cerca de duas vezes, maior que o valor indicado na legislação. Os teores deste elemento podem advir da adição de fertilizantes durante a produção agrícola. Merecendo destaque os adubos fosfatados que, de acordo com Carvalho et al. (2012), fertilizantes comercializados nos estados de Pernambuco e Bahia, apresentam os mais elevados teores de Ni e outros metais (Zn, Cu, Fe e Mn), representando fontes importantes que não podem ser desprezadas. No entanto os elevados valores em profundidade podem indicar lixiviação do metal ao longo do perfil, dado o elevado conteúdo de areia, que lhe conferem elevada drenabilidade, e baixos conteúdos de M.O. presentes nos solos da região.

Os teores máximos de Cu para as camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, foram respectivamente  $102 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $199,6 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $288,35 \text{ mg kg}^{-1}$ . Valores semelhantes ao presente na camada superficial, foram obtidos por Mendes et al. (2010) em Cambissolos Háplicos da região de Mossoró (RN) cultivados com melão. Um fator preocupante, que pode se repetir na região do Lago de Sobradinho, foi detectado neste estudo, a elevação dos teores totais durante anos de cultivos sucessivos, não só de Cu, mais de Ni, Pb, e Mn, na camada superficial em função do tempo de cultivo do solo.

Os teores máximos de Cu e Pb se elevam com a profundidade sendo maiores na camada 20-40 cm, sendo 4,5 vezes e 1,5 vezes, respectivamente, mais elevados que o estabelecido na legislação. O Zn apresenta teor máximo acima do limite apenas na primeira camada, podendo estar relacionado, não só para os Zn como os demais metais, com o manejo praticado na região ou fatores pedogenéticos. O uso intensivo do solo associado ao frequente uso de insumos agrícolas ou subprodutos usados com finalidade corretiva ou nutricional podem ser fonte de contaminação por metais, tais como Cu, Ni, Zn e Cd, acumulando-os na camada superficial do solo (SOLLITTO et al., 2010). No entanto o baixo teor de M.O. e a classe textural dos solos utilizados nessa pesquisa favorecem dinâmicas diferentes para cada metal.

Os teores máximos de Cr e Cd diminuem da camada de 0-10 para 10-20 cm e aumentam da camada de 10-20 para 20-40 cm, indicando uma possível movimentação no perfil.

Todavia, a presença, em níveis elevados, dos metais pesados no solo representa ameaça potencial ao meio ambiente e pode prejudicar a saúde humana através de várias vias de absorção, tais como a ingestão, o contato dérmico, a entrada na cadeia alimentar e a inalação (Lu et al., 2010; Khan et al., 2013).

Em função disso alguns trabalhos vêm relacionando aspectos de contaminação dos solos e plantas com possíveis impactos a saúde humanas pelas diversas vias de absorção. Liu et al. (2013) avaliaram o risco para a saúde humana causado por poluição com metais pesados (Pb, Cd, Cr, Hg e As) em solos e vegetais (aipó, repolho, cenouras, aspargos, alface, tomate, feijão-vagem e pimenta caiena). Os resultados mostraram que as contaminações metálicas nos vegetais e solos se correlacionam significativamente, variando com o metal e o vegetal estudados e representam elevado risco à saúde humana.

Os teores totais médios de Ni, Cu, Mn, Zn, Fe, Pb, Cr e Cd no solo para cada propriedade, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, nos municípios de Sobradinho, Remanso, Sento Sé e Casa Nova encontram-se nas tabelas 4, 5, 6 e 7 respectivamente.

**Tabela 4:** Comparação de médias dos teores de metais pesados no solo em área agrícola e sob caatinga, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, no município de Sobradinho.

Variáveis	P1		P2		P3		P4	
	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA
<b>mg kg<sup>-1</sup></b>								
<b>0-10 cm</b>								
<b>Ni</b>	<b>33,62</b>	28,99	19,94	26,26	<b>45,66</b>	<b>45,03</b>	17,66	7,43 <sup>o</sup>
<b>Cu</b>	35,75	34,79	29,621	36,18	42,22	53,64	28,99	36,95
<b>Mn</b>	22,17	22,59	18,887	16,7	40,12	43,89	21,24	26,95
<b>Zn</b>	22,9	26,1	15,82	12,9	<b>653,57</b>	<b>663,36</b>	73,52	9,95**
<b>Fe</b>	12394,05	16281,37	4291,93	3533,27	53972,67	32224,05	1181,5	3225,90 <sup>o</sup>
<b>Pb</b>	6,27	6,84	6,091	7,89	7,54	8,34	6,65	8,85
<b>Cr</b>	64,16	61,21	41,975	50,49	78,75	79,35	34,03	16,38 <sup>o</sup>
<b>Cd</b>	0,30	0,38	0,72	0,71	0,63	0,89	<b>1,37</b>	<b>1,38</b>
<b>10-20 cm</b>								
<b>Ni</b>	23,11	21,67	22,07	20,27	33,72	33,74	17,03	7,73 <sup>o</sup>
<b>Cu</b>	27,62	27,42	27,74	33,08	46,24	43,41	39,65	18,59
<b>Mn</b>	16,09	22,1	19,57	15,34	621,42	541,99	79,41	29,32*
<b>Zn</b>	15,72	15,67	9,06	13,25	42,6	41,77	27,53	11,63
<b>Fe</b>	13805,72*	10030,49	6913,53	6439,51	43163,43	36267,59	10808,06	8512,25
<b>Pb</b>	6,33	8,24	7,38	7,76	8,57	6,59	8,69	7,70
<b>Cr</b>	54,11	49,26	51,65	46,34	<b>77,66</b>	74,62	40,91	18,12
<b>Cd</b>	0,26	0,37	0,59	0,66	0,6	1,03**	1,29	<b>1,50**</b>
<b>20-40 cm</b>								
<b>Ni</b>	22,38	21,64	24,017	18,79	<b>35,9</b>	27,28	15,52	4,23*
<b>Cu</b>	31,9	26,21	29,63	33,87	51,56	31,76	<b>57,99</b>	20,5
<b>Mn</b>	15,44	22,66	14,61	13,38	534,32	464,37	53,12	27,17**
<b>Zn</b>	16,19	14,79	11,91	14,36	42,02	29,96	37,56	5,15*
<b>Fe</b>	18999,12	15382,07	7961,08	8845,26	44665,45	34720,32	10506,95	9503,04
<b>Pb</b>	6,62	6,97	7,95	8,66	7,82	5,57	11,45	6,61 <sup>o</sup>
<b>Cr</b>	46,78	44,47	57,17	42,98 <sup>o</sup>	<b>78,95</b>	60,67	35,61	21,05
<b>Cd</b>	0,30	0,34	0,60	0,73	0,57	1,06**	1,23	1,20
Metal	Ni	Cu	Mn	Zn	Fe	Pb	Cr	Cd
420/09	30	60	-	300	-	72	75	1,3

CAA: área de caatinga; AA: área agrícola; \*\*, \* e o significativo pelo teste t para amostras independentes ao nível de 1, 5 e 10% de probabilidade. Os valores em destaque excedem o limite legal analisado.

Dentre as quatro propriedades estudadas a P3 e P4 possuem um uso mais intenso do solo, com diversos cultivos ao longo do ano, sendo que a P4 possui uma área maior com, cerca de, 25 ha arrendados para diferentes meeiros.

O teor de Cd nas propriedades P3 e P4 apresentou diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade na profundidade 10-20 cm, sendo o teor mais elevado na área agrícola (Tabela 4). Nestas duas propriedades cultiva-se melancia, com uso intenso de agroquímicos, durante todo ano, fato este que pode justificar esse incremento de Cd na área, pois aplicação de fertilizantes fosfatados é uma fonte significativa de entrada de Cd nos solos representando cerca 41,3% (EFSA, 2010).

**Tabela 5:** Comparação de médias dos teores de metais pesados no solo em área agrícola e sob caatinga nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, no município de Remanso.

Variáveis	P1		P2		P3		P4	
	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA
<b>mg kg<sup>-1</sup></b>								
<b>0-10 cm</b>								
Ni	21,31	19,42	23,25	26,27	26,27	27,60	27,70	29,67
Cu	48,53	25,50	32,97	28,04	37,71	37,08	41,36	40,05
Mn	45,57	19,49	22,75	25,05	25,24	28,48	25,60	22,50
Zn	11,69	8,73 <sup>o</sup>	13,51	16,92	208,20	167,04*	36,72	16,62
Fe	5904,71	2246,31	2235,20	2519,64	16047,90	29535,30	2652,24	2111,99
Pb	33,53	10,83	13,66	27,35	16,79	18,83	21,41	19,94
Cr	41,53	38,91	52,93	61,10	60,84	61,81	51,55	51,21
Cd	<b>1,64</b>	0,87	0,55	0,50	0,34	0,43	0,50	0,45
<b>10-20 cm</b>								
Ni	24,38	17,72	15,60	16,29	25,45	23,33	20,98	19,45
Cu	23,53	19,20	30,00	29,73	36,46	34,89	45,27	39,97
Mn	26,27	26,94	27,85	31,59	223,59	205,97	35,16	32,33
Zn	48,56	21,54	19,38	22,92	35,04	27,58	31,09	23,87
Fe	3997,63	7986,94	5825,28	3789,48	28538,84	27711,84	6503,86	8499,05
Pb	19,73	11,44	13,08	18,57*	18,17	18,32	22,87	21,33
Cr	60,55	41,49	46,75	46,72	67,88	56,47	44,25	43,54
Cd	<b>1,65</b>	0,89	0,45	0,44	0,33	0,29	0,46	0,55 <sup>o</sup>
<b>20-40 cm</b>								
Ni	12,20	19,42	18,18	16,81	27,18	24,66	22,28	20,61
Cu	25,73	36,62	31,09	27,18	45,94	38,27	47,45	30,23*
Mn	24,77	30,54	27,92	34,97**	210,85	195,16	33,27	31,59
Zn	7,37	30,37*	26,16	24,45	38,78	26,81	29,22	18,80*
Fe	2648,19	6518,74 <sup>o</sup>	8363,21	3860,62 <sup>o</sup>	29910,18	28276,75	6602,16	10674,26
Pb	8,20	14,85*	13,31	19,90	20,23	18,06	21,99	20,66
Cr	29,23	47,63	50,92	46,40	71,42	61,03	46,49	44,36
Cd	<b>1,70</b>	0,80 <sup>o</sup>	0,43	0,47	0,25	0,23	0,47	0,48
Metal	Ni	Cu	Mn	Zn	Fe	Pb	Cr	Cd
420/09	30	60	-	300	-	72	75	1,3

CAA: área de caatinga; AA: área agrícola; \*\*, \* e o significativo pelo teste t para amostras independentes ao nível de 1, 5 e 10% de probabilidade. Os valores em destaque excedem o limite legal analisado.

O município de Remanso apresenta a menor expressão agrícola dentre os quatro, justificando assim a pequena quantidade de diferenças significativas entre os teores de metais no solo sob caatinga e sob uso agrícola.

Os teores de Cd nas três camadas da P1 foram superiores ao limite da resolução CONAMA 420/2009, para a área de caatinga e bem menores na área agrícola podendo indicar que o manejo favorece a lixiviação do Cd ao longo do perfil dado este elemento ser muito móvel (KABATA-PENDIAS, 2011).

Destacando-se a propriedade P2 por apresentar teores de Pb e Mn maiores na área agrícola que sob caatinga, nas camadas de 10-20 e 20-40 cm, respectivamente, podendo estar relacionado ao cultivo anterior de tomate na área, que utiliza bastante agroquímicos. Atualmente a P2 passa por um sistema de transição para o cultivo agroecológico.

No município de Sento Sé (Tabela 6) algumas propriedades apresentaram diferenças significativas em alguns pontos. A propriedade P1 apresentou valor menor na área agrícola para Zn e Pb na profundidade de 0-10 cm. A profundidade P2 teve teor de Fe e Cr na profundidade de 0-10 cm e Cr na profundidade de 20-40 cm menor na caatinga. Já P3 tem o teor de Ni e Cr na profundidade de 0-10 cm mais elevado na área agrícola e teor de Cu mais elevado na caatinga na profundidade de 10-20 cm. A P5 apresenta teor de Fe elevado na área agrícola na profundidade de 0-10 cm e menor na profundidade de 20-40 cm e a P7 tem teor de Pb e Cd maiores na área agrícola na profundidade de 10-20 cm. Estas diferentes dinâmicas observadas para os elementos podem estar relacionadas com a exportação de elementos pelas culturas, com as características químicas e físicas do solo, principalmente, teor de M.O., CTC e teor de areia e argila, e como também ao comportamento de cada metal no solo (KABATA-PENDIAS, 2011).

**Tabela 6:** Comparação de médias dos teores de metais pesados no solo em área agrícola e sob caatinga, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, no município de Sento Sé.

Variáveis	P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7		P8	
	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA
<b>mg kg<sup>-1</sup></b>																
<b>0-10 cm</b>																
Ni	20,39	25,79	41,15	18,83	<b>32,30</b>	15,35*	26,47	25,95	24,95	22,46	<b>35,08</b>	27,97	<b>40,30</b>	<b>33,78</b>	<b>34,71</b>	<b>32,11</b>
Cu	47,26	23,27	39,20	22,49	33,94	40,29	20,77	21,60	26,21	27,09	41,97	45,09	30,55	33,19	36,53	37,68
Mn	32,38	16,07	27,40	13,40	34,55	24,60	13,91	14,99	18,60	18,34	28,27	138,42	18,84	17,69	26,96	29,77 <sup>o</sup>
Zn	46,56	20,33*	127,22	95,49	23,06	17,63	44,97	31,23	118,04	11,77	<b>485,63</b>	<b>306,22</b>	60,73	27,89**	<b>511,44</b>	266,68*
Fe	2691,5	3222,9	23807,0	6825,31 <sup>o</sup>	3764,9	1937,3	2624,1	3223,1	4370,5	1940,1 <sup>o</sup>	15689,1	47312,0*	3262,2	3352,7	40588,9	27584,5
Pb	23,09	17,68 <sup>o</sup>	34,36	19,36	48,58	21,56	23,06	23,52	24,89	24,27	33,00	34,84*	16,53	10,73	20,16	18,26
Cr	48,86	60,85	<b>83,08</b>	38,88 <sup>o</sup>	70,32	35,03*	58,65	62,21	72,10	40,94	71,19	59,81	<b>96,13</b>	<b>80,86</b>	74,70	72,58
Cd	0,69	0,18	0,13	0,14	0,27	0,31	0,34	0,45	0,57	0,58			0,70	0,63	0,28	0,49
<b>10-20 cm</b>																
Ni	19,99	21,34	25,69	24,80	17,07	17,23	11,30	12,24	22,25	18,88	25,99	23,80	23,50	26,60	25,00	25,08
Cu	29,12	23,07	27,90	32,59	<b>93,07</b>	<b>63,53</b>	21,03	26,81 <sup>o</sup>	27,47	23,07	36,03	46,70	22,47	35,452 <sup>o</sup>	34,15	34,88
Mn	57,78	50,49	264,87	120,73	52,48	52,28	61,74	99,24	69,17	56,68	359,19	316,63	72,83	78,65	174,16	159,00
Zn	20,42	13,86	29,84	28,14	83,57	20,83	25,46	37,67	23,30	7,89	21,51	34,46	12,41	25,39*	28,07	26,69
Fe	6151,9	9413,5	34000,3	22524,3	8876,9	8498,1	4455,7	4888,5	12008,1	4626,4	21970,1	37795,2	5069,1	8228,1	9854,02	16773,7
Pb	17,99	17,90	24,48	21,05	25,44	20,89	25,05	25,38	23,62	26,37	32,92	34,07	16,76	5,98*	9,65	9,41
Cr	56,15	59,93	62,11	61,14	42,19	45,82	31,05	31,86	68,35	58,89	62,62	56,59	74,65	<b>83,65</b>	<b>85,21</b>	74,38
Cd	0,31	0,23	0,15	0,16	0,26	0,29	0,40	0,41	0,43	0,63	0,39	0,55	0,98	0,79**	0,71	0,64
<b>20-40 cm</b>																
Ni	19,94	23,69	20,16	18,18	16,15	15,28	17,02	20,20	21,91	16,12	25,67	26,96	<b>31,09</b>	<b>31,04</b>	<b>32,23</b>	25,40
Cu	26,90	31,73	27,96	32,17	<b>111,97</b>	21,75	34,97	24,87	34,44	25,32	39,13	44,37	36,57	46,71	52,78	39,95
Mn	51,41	46,79	163,59	110,03	49,70	48,61	91,99	111,87	60,02	34,77*	448,30	373,82	91,38	54,40	284,36	179,78
Zn	18,38	19,31	17,58	19,76	82,24	6,27	32,24	12,14	70,37	9,81	39,43	55,19	31,29	31,85	44,21	28,04
Fe	5713,3	10298,4	30981,5	23051,6	8477,1	5863,8	4777,6	7374,0	11512,2	5288,46*	20376,5	42291,8*	8275,9	4206,6	24788,01	15295,8
Pb	18,12	18,73	21,02	23,06	29,81	19,77	26,11	26,95	80,19	25,35	35,09	59,49	5,24	7,07	13,81	10,74
Cr	58,55	66,53	51,17	44,97 <sup>o</sup>	36,14	39,41	45,41	48,41	73,07	48,42	60,70	68,26	<b>100,26</b>	<b>105,85</b>	<b>95,10</b>	<b>75,62</b>
Cd	0,28	0,25	0,13	0,17	0,27	0,28	0,34	0,39	0,54	0,64	0,53	0,36	0,79	0,76	0,61	0,63
Metal	Ni		Cu		Mn		Zn		Fe		Pb		Cr		Cd	
420/09	30		60		-		300		-		72		75		1,3	

CAA: área de caatinga; AA: área agrícola; \*\*, \* e o significativo pelo teste t para amostras independentes ao nível de 1, 5 e 10% de probabilidade. Os valores em destaque excedem o limite legal analisado.

**Tabela 7:** Comparação de médias dos teores de metais pesados no solo em área agrícola e sob caatinga, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, no município de Casa Nova.

Variáveis	P1		P2		P3		P4		P5		P6		P7		P8	
	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA	CAA	AA
<b>mg kg<sup>-1</sup></b>																
<b>0-10 cm</b>																
<b>Ni</b>	27,88	<b>34,65<sup>o</sup></b>	23,49	17,12	25,64	22,8	19,71	24,09	31,1	25,56	25,35	26,27	25,68	26,69	19,86	24,13
<b>Cu</b>	42,35	<b>64,97<sup>o</sup></b>	49,16	57,5	38,77	51,89 <sup>o</sup>	36,04	44,69	44,61	37,75	20,88	24,06	24,93	27,33	30,86	38,27
<b>Mn</b>	27,07	77,01**	38,21	30,32	24,51	32,50 <sup>o</sup>	24,06	40,87	39,21	22,83*	14,7	18,83	18,33	18,36	19,47	22,36
<b>Zn</b>	76,7	<b>533,63**</b>	<b>305,73</b>	17,20**	13,86	66,38**	39,4	74,16	158,32	17,82**	54,51	25,39	27,62	17,17	30,81	24,03
<b>Fe</b>	8669,0	61758,3 <sup>o</sup>	50390,5	11896,6*	4661,01	1940,9*	3041,1	6252,9	6633,9	1302,3*	1363,7	1882,6	1886,6	3786,0	4193,3	4593,8
<b>Pb</b>	10,07	22,14**	16,01	9,96*	8,65	10,59*	10,01	12,5	13,82	11,52*	10,24	10,11	11,84	13,28	16,68	18,94*
<b>Cr</b>	60,47	50,93	34,17	35,6	53,59	43,97	38,07	47,58	61,74	61,81	61,29	56,64	62,42	64,21	48,52	56,94
<b>Cd</b>	0,53	0,19*	0,21	0,50**	0,67	0,73	0,61	0,56	0,66	0,66	0,85	0,98	1,05	1,08	0,99	0,89
<b>10-20 cm</b>																
<b>Ni</b>	2,59	9,02**	6,64	3,27**	3,03	2,73	4,68	19,54*	25,34	19,99	19,21	18,92	21,69	19,88	22,03	20,57
<b>Cu</b>	5,07	16,53**	14,89	1,93**	3,07	3,16	3,95	32,82 <sup>o</sup>	59,23	30,64*	24,89	20,68	32,78	36,27	40,94	41,23
<b>Mn</b>	53,16	605,98**	244,75	13,99**	12,83	59,33**	45,14	82,45	127,61	10,59**	32,45	16,51	25,74	18,01 <sup>o</sup>	25,75	25,36
<b>Zn</b>	7,42	31,342**	20,1	6,73**	11,77	7,91*	11,67	46,37**	57,86	20,35**	20,04	21,09	26,07	26,26	23,6	23,16
<b>Fe</b>	1081,1	5546,9**	5226,03	279,85**	256,64	1186,6**	902,73	12674,5**	13161,3	2151,5*	1444,7	2941,6	4324,3	8168,6 <sup>o</sup>	11699	8909,3
<b>Pb</b>	6,9	14,39*	10,95	5,87**	6	6,74	6,64	9,37**	7,95	5,23**	4,98	4,01	5,79	6,86	9,22	18,35**
<b>Cr</b>	2,81	5,63*	4,24	2,08**	2,64	1,62**	2,72	41,93 <sup>o</sup>	67,32	60,8	58,51	54,09	67,76	58,45	68,65	59,6
<b>Cd</b>	0,13	0,14	0,36	0,33	0,29	0,53*	0,60	0,28 <sup>o</sup>	0,21	0,19	0,36	0,58 <sup>o</sup>	0,66	0,66	0,54	0,73
<b>20-40 cm</b>																
<b>Ni</b>	2,43	8,97**	5,93	2,96**	2,55	3,27	6,4	21,53*	26,63	19,66**	19,29	24,75	21,84	22,05	21,04	21,47
<b>Cu</b>	3,68	12,89**	9,59	1,76 <sup>o</sup>	2,95	4,07 <sup>o</sup>	5,63	31,42 <sup>o</sup>	50,63	31,66 <sup>o</sup>	42,46	30	39,76	39,64	56,37	58,87
<b>Mn</b>	36,45	534,59**	284,32	8,35*	4,86	46,46*	30,7	98,12	158,32	7,77**	26,97	18,7	19,85	11,25**	23,36	27,33
<b>Zn</b>	7,03	26,33**	15,58	6,31 <sup>o</sup>	6,17	6,4	11,57	44,06*	51,56	18,46**	24,27	22,9	23,72	26,31	35,07	36,36
<b>Fe</b>	728,9	4738,41**	5686,3	167,05*	97,26	929,14*	1782,7	13155,5**	16562,5	4765,8 <sup>o</sup>	3100,4	4094,9	4596,5	8793,6*	12568,7	14419,8
<b>Pb</b>	6,19	14,17**	10,79	5,46	5,7	6,80*	6,72	7,73	8,08	5,22**	6,9	6,06	5,8	6,98	10,62	10,05
<b>Cr</b>	2,32	5,08**	3,81	2,45	2,44	1,62*	2,78	48,89 <sup>o</sup>	72,36	58,78 <sup>o</sup>	61,51	71,48	72,44	66,73	58,17	51,18
<b>Cd</b>	0,13	0,14**	0,24	0,31	0,48	0,64	0,61	0,20*	0,20	0,22	0,30	0,50	0,66	0,61	0,54	0,53
Metal	Ni	Cu	Mn	Zn	Fe	Pb	Cr	Cd								
420/09	30	60	-	300	-	72	75	1,3								

CAA: área de caatinga; AA: área agrícola; \*\*, \* e o significativo pelo teste t para amostras independentes ao nível de 1, 5 e 10% de probabilidade. Os valores em destaque excedem o limite legal analisado.

O município de Casa Nova destaca-se entre os demais, pelo intensivo uso do solo ao longo do ano, com cultivos sucessivos de cebola, melancia e, com menor intensidade, o tomate. A propriedade P5 na época de coleta era cultivada com milho, feijão e mandioca, no entanto os cultivos anteriores nesta área eram de cebola e melancia. Das propriedades avaliadas apenas a P6 não possui esta característica, dedicando-se apenas ao plantio de espécies forrageiras para alimentação animal e, em área menor, banana e mandioca.

A propriedade P6 apresentou apenas o teor mais elevado de Cd (Tabela 7), podendo estar relacionado a agroquímicos usados no controle de pragas e plantas invasoras do capim, já que nas demais culturas desta propriedade não são utilizados agroquímicos.

A propriedade P1 tem os teores de todos os elementos na área agrícola (Tabela 7) mais elevados, que excedem o limite da resolução CONAMA 420/2009 para Ni, Cu e Zn, diferente das demais áreas, onde isso ocorre apenas para alguns dos elementos analisados. Este fato pode estar relacionado uso de agroquímicos no cultivo da cebola ao longo do tempo, principalmente com fertilizações fosfatadas sucessivas que podem caracterizar-se como uma das fontes de elevação dos teores de Mn, Zn, Cu, Pb e Cd (GIMENO-GARCÍA et al., 1996).

Os teores mais elevados na área da caatinga encontrados para alguns elementos (Tabela 4, 5, 6, 7) pode ter relação com a remoção de elementos pelas culturas (absorção) ou pela lixiviação para as camadas mais profundas do solo, a depender da mobilidade, associada com as características como baixo teor de M.O., argila e CTC e inundações sucessivas de irrigação, que podem propiciar movimentação no perfil até para elementos pouco móveis no solo como o Pb (ANTONIADIS e TSADILAS 2007; COSTA, 2009; CAMPOS, 2010).

Os valores do coeficiente de correlação linear simples de Pearson entre os metais pesados nas camadas de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm estão descritos na tabela 8.

**Tabela 8:** Coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre os teores de metais pesados no solo, em diferentes profundidades de coleta.

Parâmetro	Ni	Cu	Mn	Zn	Fe	Pb	Cr	Cd
<b>0-10 cm</b>								
Ni	1							
Cu	<b>0,27</b>	1						
Mn	0,13	<b>0,46</b>	1					
Zn	<b>0,48</b>	<b>0,27</b>	0,16	1				
Fe	<b>0,39</b>	<b>0,28</b>	<b>0,31</b>	<b>0,77</b>	1			
Pb	<b>0,21</b>	<b>0,17</b>	<b>0,27</b>	0,05	0,08	1		
Cr	<b>0,88</b>	0,11	0,06	<b>0,28</b>	<b>0,2</b>	<b>0,21</b>	1	
Cd	<b>-0,28</b>	-0,09	-0,1	<b>-0,19</b>	<b>-0,3</b>	<b>-0,21</b>	<b>-0,23</b>	1
<b>10-20 cm</b>								
Ni	1							
Cu	<b>0,47</b>	1						
Mn	<b>0,3</b>	0,1	1					
Zn	<b>0,34</b>	<b>0,75</b>	<b>0,21</b>	1				
Fe	<b>0,55</b>	<b>0,28</b>	<b>0,67</b>	<b>0,29</b>	1			
Pb	<b>0,22</b>	<b>0,34</b>	0,16	<b>0,31</b>	<b>0,27</b>	1		
Cr	<b>0,93</b>	<b>0,44</b>	0,11	<b>0,26</b>	<b>0,41</b>	<b>0,17</b>	1	
Cd	0,11	-0,06	-0,08	-0,02	-0,07	-0,14	0,12	1
<b>20-40 cm</b>								
Ni	1							
Cu	<b>0,48</b>	1						
Mn	<b>0,3</b>	0,05	1					
Zn	<b>0,42</b>	<b>0,79</b>	<b>0,2</b>	1				
Fe	<b>0,55</b>	<b>0,22</b>	<b>0,63</b>	<b>0,26</b>	1			
Pb	<b>0,18</b>	<b>0,27</b>	0,14	<b>0,63</b>	<b>0,18</b>	1		
Cr	<b>0,93</b>	<b>0,44</b>	0,13	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,22</b>	1	
Cd	0,02	0,05	-0,07	-0,06	-0,08	-0,14	0,04	1

Os valores em destaque são significativos ao nível de 5 % de probabilidade.

Os teores de Fe e Mn apresentam correlação com Pb, Cu, Zn e Ni em todas as profundidades, esse fato pode ser explicado por existir, de acordo com Martins et al. (2011), uma forte associação entre esses elementos e os óxidos de Fe e Mn. As fortes correlações existentes entre Ni e Cr, de acordo com Rodríguez et al. (2008), pode estar relacionada com o material de origem. No entanto, a relação com os fertilizantes não pode ser descartada.

Os valores dos coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre os teores totais de metais pesados e os atributos químicos do solo nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm estão descritos na tabela 9.

**Tabela 9:** Coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre os teores totais de metais pesados e os atributos químicos do solo.

Parâmetro	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Na	SB	CTC
<b>0-10 cm</b>									
Ni	<b>0,26</b>	<b>0,3</b>	0,06	<b>0,41</b>	<b>0,43</b>	<b>0,4</b>	0,07	<b>0,45</b>	<b>0,39</b>
Cu	<b>0,22</b>	0,11	0,15	<b>0,21</b>	<b>0,34</b>	<b>0,21</b>	0,12	<b>0,32</b>	<b>0,35</b>
Mn	0,15	<b>0,2</b>	0,02	0,15	<b>0,33</b>	<b>0,19</b>	0,07	<b>0,31</b>	<b>0,29</b>
Zn	<b>0,52</b>	<b>0,42</b>	<b>0,21</b>	<b>0,74</b>	<b>0,79</b>	<b>0,67</b>	<b>0,27</b>	<b>0,82</b>	<b>0,79</b>
Fe	<b>0,52</b>	<b>0,43</b>	<b>0,25</b>	<b>0,6</b>	<b>0,69</b>	<b>0,51</b>	0,16	<b>0,69</b>	<b>0,68</b>
Pb	-0,02	0,1	-0,13	-0,07	-0,01	-0,03	-0,13	-0,03	0
Cr	0,09	<b>0,25</b>	-0,04	<b>0,25</b>	<b>0,2</b>	<b>0,26</b>	-0,02	<b>0,22</b>	0,15
Cd	<b>-0,21</b>	<b>-0,3</b>	-0,05	-0,14	<b>-0,2</b>	-0,1	<b>0,18</b>	<b>-0,17</b>	-0,16
<b>10-20 cm</b>									
Ni	-0,03	0,12	-0,15	<b>0,21</b>	<b>0,19</b>	<b>0,33</b>	0,16	<b>0,23</b>	<b>0,23</b>
Cu	-0,02	-0,06	-0,12	0,04	0,02	0,1	0,09	0,04	0,07
Mn	<b>0,5</b>	<b>0,46</b>	0,16	<b>0,67</b>	<b>0,87</b>	<b>0,76</b>	<b>0,39</b>	<b>0,87</b>	<b>0,85</b>
Zn	0,07	0,05	-0,04	0,13	0,14	0,16	0,06	0,15	<b>0,18</b>
Fe	<b>0,22</b>	<b>0,35</b>	-0,03	<b>0,37</b>	<b>0,57</b>	<b>0,59</b>	<b>0,32</b>	<b>0,59</b>	<b>0,6</b>
Pb	-0,09	0,06	-0,16	-0,15	0	-0,04	-0,1	-0,03	0,02
Cr	-0,1	0,06	<b>-0,18</b>	0,11	0,01	<b>0,18</b>	0,08	0,06	0,04
Cd	<b>-0,23</b>	<b>-0,3</b>	0,01	0,08	-0,08	0,02	<b>0,21</b>	-0,04	-0,02
<b>20-40 cm</b>									
Ni	0,11	<b>0,18</b>	-0,11	0,11	<b>0,23</b>	<b>0,36</b>	0,12	<b>0,27</b>	<b>0,25</b>
Cu	0,08	-0,06	-0,12	-0,05	0,01	0,07	0,11	0,02	0,04
Mn	<b>0,44</b>	<b>0,53</b>	<b>0,21</b>	<b>0,54</b>	<b>0,87</b>	<b>0,78</b>	<b>0,39</b>	<b>0,87</b>	<b>0,86</b>
Zn	0,1	0,07	-0,07	0,03	0,11	0,16	<b>0,18</b>	0,13	0,13
Fe	<b>0,34</b>	<b>0,37</b>	0	<b>0,33</b>	<b>0,58</b>	<b>0,65</b>	<b>0,27</b>	<b>0,6</b>	<b>0,59</b>
Pb	-0,06	0,06	-0,09	-0,1	0,04	0,08	0	0,04	0,09
Cr	0,02	0,14	-0,12	0,04	0,08	<b>0,22</b>	0,06	0,11	0,07
Cd	<b>-0,17</b>	<b>-0,27</b>	0,01	0,12	-0,05	-0,03	0,16	-0,02	0

Os valores em destaque são significativos ao nível de 5 % de probabilidade. MO: Matéria orgânica; pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Na: Sódio; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions.

A SB apresenta correlação significativa com os teores de Cu, Mn, Zn, Fe, Cr e Cd. Já a CTC se correlaciona com os teores de Ni, Cu, Mn, Zn e Fe (Tabela 9). Joris et al. (2012) ao realizarem ensaio de adsorção competitiva, também verificaram a correlações significativas entre Cu, Zn e CTC.

Observa-se que as correlações da M.O com os teores de metais decrescem em profundidade, assim como o teor reduz em profundidade. Na profundidade de 0-10 cm, apenas os teores de Fe e Pb não apresentam correlação significativa com a M.O.. Isso demonstra que a camada superficial do solo pode ter uma maior capacidade de reter metais. De acordo com Campos (2010) a M.O., dependendo das condições de pH, pode solubilizar ou imobilizar metais.

Com relação ao pH somente os metais Cu e Pb não se correlacionaram com essa característica, na profundidade 0-10 cm. Já na profundidade de 10-20 cm apenas os teores de Mn, Fe e Cd apresentaram correlação com o pH, enquanto de 20-40 cm, estabeleceram-se correlações com Ni, Mn, Fe e Cd. Martins et al. (2011)

ressalta a importância do pH devido sua elevação está relacionada com aumento da CTC, da superfície dos óxidos, na formação de hidróxidos, carbonatos e fosfatos insolúveis com os metais e na complexação mais efetiva destes pela matéria orgânica.

Os valores dos coeficientes de correlação entre os atributos físicos do solo e os teores de metais pesados nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm estão descritos na tabela 10.

**Tabela 10:** Coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre teores de metais pesados e atributos físicos do solo.

Parâmetro	DS	Ma	Mi	PT	ARG	SIL	AR
<b>0-10 cm</b>							
Ni	0,01	-0,09	0,15	-0,11	0,06	0,15	-0,14
Cu	<b>-0,23</b>	0,1	<b>0,2</b>	<b>0,19</b>	<b>0,28</b>	0,09	<b>-0,28</b>
Mn	<b>-0,2</b>	0,11	0,12	0,16	0,15	0,14	<b>-0,19</b>
Zn	<b>-0,32</b>	0,11	<b>0,35</b>	0,15	<b>0,41</b>	<b>0,23</b>	<b>-0,45</b>
Fe	<b>-0,42</b>	<b>0,21</b>	<b>0,33</b>	<b>0,3</b>	<b>0,47</b>	0,14	<b>-0,46</b>
Pb	0,1	<b>-0,19</b>	<b>0,2</b>	-0,01	0,09	0,13	-0,15
Cr	0,16	<b>-0,17</b>	0,07	<b>-0,2</b>	-0,06	0,10	-0,01
Cd	0,02	0,11	<b>-0,26</b>	-0,16	<b>-0,24</b>	-0,10	<b>0,25</b>
<b>10-20 cm</b>							
Ni	-0,03	-0,01	0,10	-0,05	0	<b>0,24</b>	-0,10
Cu	-0,02	-0,01	0,06	-0,03	-0,04	<b>0,23</b>	-0,06
Mn	<b>-0,26</b>	0,05	<b>0,39</b>	0,12	<b>0,39</b>	<b>0,37</b>	<b>-0,46</b>
Zn	-0,05	0	0,09	0,05	0	<b>0,23</b>	-0,1
Fe	-0,24	0,05	<b>0,36</b>	0,1	<b>0,36</b>	<b>0,34</b>	<b>-0,42</b>
Pb	0,16	<b>-0,25</b>	<b>0,24</b>	-0,09	0,08	<b>0,21</b>	-0,15
Cr	0,09	-0,09	0,03	-0,12	-0,11	<b>0,18</b>	0,01
Cd	-0,12	0,16	-0,1	0,02	-0,03	-0,05	0,05
<b>20-40 cm</b>							
Ni	0,05	-0,09	0,09	-0,16	-0,02	0,15	-0,06
Cu	-0,07	0,07	-0,01	0,04	-0,04	0,09	-0,02
Mn	<b>-0,29</b>	0,08	<b>0,38</b>	<b>0,17</b>	<b>0,39</b>	<b>0,29</b>	<b>-0,47</b>
Zn	-0,04	0	0,08	0,06	0,03	0,12	-0,09
Fe	<b>-0,23</b>	0,04	<b>0,37</b>	0,04	<b>0,34</b>	<b>0,28</b>	<b>-0,43</b>
Pb	0,1	<b>-0,19</b>	<b>0,22</b>	-0,11	0,07	<b>0,2</b>	-0,16
Cr	<b>0,2</b>	<b>-0,2</b>	0,04	<b>-0,25</b>	-0,13	0,12	0,05
Cd	<b>-0,2</b>	<b>0,26</b>	<b>-0,18</b>	0,13	-0,14	0,06	0,08

Os valores em destaque são significativos ao nível de 5 % de probabilidade. Ds: densidade do solo; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade; Pt: porosidade total; ARG: argila; SIL: silte; AR: areia.

As correlações positivas entre os teores de argila e os teores de Fe e Mn podem indicar que a origem destes elementos sejam os óxidos e hidróxidos de Fe e Mn que têm um papel importante na adsorção dos metais no solo (Komarek et.al., 2013). Isto explicaria também as correlações observadas entre estes elementos e os outros metais analisados.

A matriz das cargas fatoriais rotacionadas dos teores de metais pesados e dos atributos do solo está apresentada na Tabela 11.

**Tabela 11.** Matriz de cargas fatoriais após rotação ortogonal pelo Método Varimax dos teores de metais pesados e atributos do solo.

Variáveis	Eixo Fatorial <sup>1</sup>						Comunalidade
	1	2	3	4	5	6	
<b>Cargas Fatoriais<sup>2</sup></b>							
<b>0-10 cm</b>							
Ni	0,30	<b>0,91</b>	0,02	0,10	0,11	-0,07	0,95
Cu	0,16	0,16	0,20	<b>0,84</b>	0,02	0,04	0,79
Mn	0,19	-0,03	0,03	<b>0,79</b>	0,03	-0,30	0,75
Zn	<b>0,82</b>	0,28	0,31	0,00	-0,01	-0,03	0,85
Fe	<b>0,74</b>	0,15	0,33	0,12	0,19	-0,08	0,73
Pb	-0,05	0,14	0,07	0,11	0,09	<b>-0,95</b>	0,96
Cr	0,06	<b>0,96</b>	-0,06	0,01	0,08	-0,10	0,94
Cd	-0,09	-0,16	-0,16	-0,02	<b>-0,95</b>	0,09	0,96
M.O.	<b>0,81</b>	-0,04	-0,20	0,09	0,26	0,02	0,77
SB	<b>0,86</b>	0,21	0,28	0,16	-0,02	0,06	0,89
CTC	<b>0,89</b>	0,12	0,23	0,18	-0,01	0,04	0,89
ARGILA	0,21	-0,06	<b>0,92</b>	0,09	0,12	-0,02	0,91
AREIA	-0,23	-0,01	<b>-0,91</b>	-0,10	-0,09	0,08	0,91
Auto valor acumulado	5,10	6,96	8,49	9,71	10,61	11,31	
% variância	39,21	14,32	11,80	9,40	6,94	5,35	
% variância acumulada	39,21	53,53	65,33	74,73	81,67	87,02	
<b>10-20 cm</b>							
Ni	0,17	<b>0,94</b>	0,20	0,01	0,06	0,08	0,96
Cu	-0,02	0,33	<b>0,87</b>	0,02	-0,06	0,13	0,88
Mn	<b>0,91</b>	0,12	0,05	0,18	-0,03	0,15	0,90
Zn	0,14	0,12	<b>0,92</b>	0,00	0,02	0,13	0,90
Fe	0,59	0,50	0,09	0,25	-0,05	0,29	0,75
Pb	0,01	0,09	0,22	0,06	-0,10	<b>0,92</b>	0,92
Cr	-0,01	<b>0,96</b>	0,16	-0,05	0,05	0,02	0,95
Cd	-0,02	0,06	-0,01	-0,03	<b>0,96</b>	-0,10	0,94
M.O.	<b>0,65</b>	-0,14	0,09	0,00	-0,39	-0,30	0,70
SB	<b>0,91</b>	0,08	0,03	0,29	0,02	-0,06	0,92
CTC	<b>0,91</b>	0,06	0,06	0,29	0,03	-0,02	0,91
ARGILA	0,25	-0,06	-0,03	<b>0,94</b>	-0,02	0,01	0,95
AREIA	-0,30	-0,03	-0,05	<b>-0,92</b>	0,02	-0,07	0,95
Auto valor acumulado	4,61	7,34	8,7	9,97	10,91	11,65	
% variância	35,47	21,03	10,44	9,78	7,20	5,67	
% variância acumulada	35,47	56,5	66,94	76,72	83,92	89,59	
<b>20-40 cm</b>							
Ni	0,19	<b>0,94</b>	0,23	0,01	-0,01	-0,02	0,96
Cu	-0,04	0,32	<b>0,89</b>	0,08	0,01	0,02	0,89
Mn	<b>0,90</b>	0,14	0,01	-0,03	0,18	-0,12	0,88
Zn	0,11	0,21	<b>0,86</b>	-0,05	0,01	-0,37	0,94
Fe	0,59	0,53	0,05	-0,08	0,28	-0,09	0,71
Pb	0,08	0,05	0,40	-0,16	0,07	<b>-0,83</b>	0,88
Cr	0,02	<b>0,93</b>	0,21	0,01	-0,09	-0,06	0,93
Cd	0,00	0,00	0,03	<b>0,97</b>	-0,07	0,07	0,96
M.O.	0,59	-0,07	0,29	-0,30	0,14	0,50	0,80
SB	<b>0,94</b>	0,10	0,01	0,02	0,21	0,03	0,93
CTC	<b>0,92</b>	0,07	0,03	0,03	0,29	0,01	0,93
ARGILA	0,25	-0,07	0,00	-0,08	<b>0,93</b>	0,02	0,93
AREIA	-0,33	0,00	-0,03	0,02	<b>-0,90</b>	0,05	0,93
Auto valor acumulado	4,68	7,49	8,93	9,94	10,89	11,69	
% variância	35,98	21,65	11,04	7,74	7,31	6,19	
% variância acumulada	35,98	57,63	68,67	76,41	83,72	89,91	

M.O.: Matéria orgânica; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; <sup>1</sup> Eixos fatoriais rotacionados pelo método Varimax; <sup>2</sup>Cargas fatoriais  $\geq 0,65$  foram consideradas significativas para fins de interpretação.

A análise fatorial (AF) promoveu grande redução no número de variáveis (Tabela 11), reduzindo para 13 as trinta e duas inicialmente utilizadas. O melhor ajuste do modelo ocorreu com a inclusão dos teores de metais pesados e de cinco atributos do solo para todas as camadas de solo avaliadas.

Nas primeiras colunas temos às cargas fatoriais para cada variável dentro de cada fator. Foram consideradas significativas as cargas fatoriais superiores a 0,65, sendo que estas explicaram 87,02%, 89,59% e 89,91% da variância total dos dados, para as camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm respectivamente (Tabela 11). Cargas fatoriais significativas e com sinais opostos indicam variação conjunta, porém em direção oposta.

Os autovalores indicam a importância relativa de cada fator na explicação da variância associada ao conjunto de atributos analisados, os fatores são extraídos na ordem de sua relevância. Na profundidade 0-10 cm essas variáveis são a CTC, a SB e o teor de M.O., responsáveis pela presença de cargas no solo que promovem a adsorção de metais, além dos teores de Fe e Zn, que obtiveram uma correlação elevada ( $r = 0,77$ ) entre eles. Na camada de 10-20 cm, a CTC, a SB e o teor de M.O. continuam a contribuir para o primeiro fator juntamente com o teor de Mn, sendo este o elemento que mais se correlacionou com estas variáveis (Tabela 9) nesta profundidade. Devido ao decréscimo no teor de M.O. ao longo do perfil, esta variável perde importância na camada 20-40 cm.

Na última coluna apresentamos o valor das comunalidades que indica o quanto da variância de cada atributo é explicado pelos fatores juntos. Verifica-se valores elevados, superiores a 0,70, para todas as características, nas três camadas, demonstrando assim a forte relação das variáveis com os fatores retidos. Os valores mais baixos foram observados para os teores de Fe (0,73), M.O. (0,70) e Fe (0,71) nas camadas 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente. Entretanto, apresentam grande importância para o entendimento da natureza do primeiro fator, segundo Paye et al. (2012), pois a carga fatorial para as duas primeiras variáveis foi significativa no primeiro fator.

Para a camada de 0-10 cm, o primeiro fator explica 39,21% da variabilidade dos dados e está associado as variáveis Zn, Fe, M.O., SB e CTC. O fato do teor de M.O. e da CTC estarem associadas ao primeiro fator deve-se a sua contribuição à capacidade de adsorção dos metais, podendo contribuir para sua acumulação nesta camada. O segundo fator explica 14,31% da variabilidade dos dados e está

associado as variáveis Ni e Cr, enquanto o terceiro fator está associado aos teores de argila e areia, mas em direções opostas, explicando este apenas 11,80% da variabilidade dos dados. Já o quarto fator está associado aos teores de Cu e Mn explicando somente 9,40% da variabilidade total dos dados. No entanto, estes quatro fatores juntos explicam mais de 74% da variabilidade total dos dados e, apenas os dois primeiros fatores são capazes de explicar mais de 50% desta, demonstrando a importância dos atributos M.O., SB e CTC nesta camada do solo.

Para a de 10-20 cm, os dois primeiros fatores explicaram acima de 56% da variabilidade dos dados e estão associados às variáveis Mn, M.O., SB, CTC, Ni e Cr. Destaca-se que o teor de M.O., a SB e a CTC continuam associados ao primeiro fator, podendo ter relação com a lixiviação e mobilidade dos metais no solo, Campos (2010) ressalta que esses fatores dependem da adsorção e dissolução dos elementos sendo afetados pelo pH, força iônica, teor tipo de argila, conteúdo de matéria orgânica e o próprio comportamento químico do elemento e suas relações de afinidades com a matriz do solo.

Para a camada 20-40 cm, os dois primeiros fatores explicaram acima de 57% da variabilidade dos dados, sendo o primeiro associado às variáveis Mn, SB e CTC; enquanto o segundo aos teores de Ni e Cr. Destaca-se que o teor de M.O., que estava associado ao primeiro fator nas duas camadas mais superficiais do solo não apresenta carga fatorial significativa nesta profundidade, isso deve, provavelmente, ao decréscimo no seu teor em profundidade.

As variáveis M.O, SB e CTC são influenciadas diretamente pelo manejo agrícola. Os baixos teores de M.O. observados nos solo mostraram-se significativos para o entendimento da presença de metais no solo da região dado a sua contribuição significativa nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm na variação dos dados evidenciada pela AF. Além disso Arcoverde (2013) avaliando a qualidade destes solos observou que este atributo se destacou como um importante indicador. Já a SB e a CTC possuem um restrita relação com a adição de fertilizante no solo, Rós et al. (2014) verificaram um comportamento linear crescente entre a adição de fertilizante e a elevação da SB e ampliação da CTC. No entanto não é possível afirmar o quanto esta adição influencia o teor e a distribuição destes elementos em áreas agrícolas.

## CONCLUSÃO

Teores de Ni, Cu, Pb, Cr, Zn e Cd excederam o limite estabelecido na resolução CONAMA 420/2009, em pelo menos um ponto das camadas de solo amostradas.

As diferenças entre os teores de metais na caatinga e na área agrícola indicam uma possível influencia do manejo e uso de fertilizantes na variação destes teores, no entanto não é possível precisar o quanto este contribui, não deve ser descartada.

Os atributos M.O., SB e CTC foram importantes para explicar o teor e a distribuição dos metais pesados nas camadas.

Recomenda-se o monitoramento dos teores destes elementos ao longo do tempo.

## REFERÊNCIAS

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. **Interpretação dos resultados das análises de solos**. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.

ANTONIADIS, V.; TSADILAS, C.D. **Sorption of cadmium, nickel, and zinc in mono and multimetal systems**. Applied Geochemistry, v. 22. 2007. p. 2375–2380

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. **Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação**. Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias. v.5. n.1. 2012. p.187-206.

ARCOVERDE, S. N. S. **Qualidade de solos sob diferentes usos agrícolas na região do entorno do lago de Sobradinho - BA**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Juazeiro – BA. 2013. 70p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**. Brasília, DF, 2011. 488p.

CAMPOS, M. C. C. **Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais.** *Ambiência.* v.6 n.3. 2010.p.547 - 565.

CARVALHO, V. G. B.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M. **Potencial de Fertilizantes e corretivos no aporte de Micronutrientes ao solo.** *R. Bras. ci. Solo.* v.36. 2012. p.931-938.

CARVALHO, S. R.; VILAS BÔAS, G. S.; FADIGAS, F. S. **Concentrações naturais de metais pesados em solos derivados de sedimentos do Grupo Barreiras.** *Cadernos de Geociências.* v. 10. n. 2. 2013. p. 97-107.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução do nº 420 de 28/12/09.** Brasília: Brasil. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>> Acesso em: 20/07/13.

COSTA, W. P. L. B. **Alterações na fertilidade do solo e teores de metais pesados em solos cultivados com videira.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). 2009. 80p.

COTTA, J. A. O.; REZENDE, M. O.; PIOVANI, M. R. **Avaliação do teor de metais em sedimento do rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira: PETAR, São Paulo, Brasil.** *Química Nova,* São Paulo, v.29, n. 1, p. 40-45, 2006.

CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B. B.; SILVA, M. S. L.; PETRERE, V. G.; SÁ, I. B.; OLIVEIRA NETO, M. B.; CAVALCANTI, A. C.. **Solos do Submédio do Vale do São Francisco : potencialidades e limitações para uso agrícola.** Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2008. (Embrapa Semiárido. Documentos, 211). 60p.

DONAGEMA, G. K. [Org.] et al.. **Manual de métodos de análise de solos.** Embrapa Solos. ed. 2. 2011. 230 p.

EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY (EFSA). (2010). **Panel on contaminants in food chain (CONTAM):Scientific opinion on lead in food.** *The EFSA Journal,* 8(4), pp. 1570-1717.

FADIGAS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; ANJOS, L. H. C.; MAZUR, N. **Background levels of some trace elements in weathered soils from the Brazilian Northern region.** Sci. Agric. v.67. n.1. 2010. p.53-59.

FREITAS, E. V. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; GOULART, D. F.; SILVA, J. P. S. **Disponibilidade de cádmio e chumbo para milho em solo adubado com fertilizantes fosfatados.** Revista Brasileira de Ciência Solo, v.33. 2009. p.1899-1907.

GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados.** Fortaleza: INCTSal, 472 p. 2010.

GIMENO-GARCIA, E.; ABREU, V. e BOLUDA, R. **Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticide to rice farming soils.** Environ. Poll. n.92. 1996. p.19-25.

HAIR Jr., J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise Multivariada de Dados.** 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HO, R. **Handbook of Univariate and Multivariate Data Analysis and Interpretation with SPSS.** Boca Raton: Chapman e Hall, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção Agrícola Municipal – PAM.** 2012. <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=29&search=bahia>>. Disponível em: < Acesso em: jan. 2014.

HOODA, P. S. [Org.] **Trace elements in soils.** 1. ed.Wiley. 2010. 618p.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; RIBEIRO, M. R.; MONTENEGRO, J. O.; BURGOS, N.; MELO FILHO, H. F. R.; FORMIGA, R. A. **Levantamento exploratório: reconhecimento de solos da margem esquerda do rio São Francisco, Estado da Bahia.** Recife: SUDENE-DRN, 1976. v.1, 404 p.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; BURGOS, N.; PESSOA, S. C. P.; SILVERA, C. O. **Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado de Pernambuco.** Recife: DNPEA: SUDENE-DRN, 1973 (Boletim Técnico, 26).

JORIS, H. A. W.; FONSECA, A. F.; ASAMI, V. Y.; BRIEDIS, C.; BORSZOWSKI, P. R.; GARBUIO, F. J. **Adsorção de metais pesados após calagem superficial em um Latossolo Vermelho sob sistema de plantio direto**. Revista Ciência Agronômica, v. 4. n. 1. 2012. p. 1-10.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4.ed. Boca Raton: CRC, 2011. 534 p.

KOMÁREK, M.; VANEK, A.; ETTLER, V. **Chemical stabilization of metals and arsenic in contaminated soils using oxides – review**. Environmental Pollution n.172. 2013. p. 9-22.

KHAN, K.; LU, Y; KHAN, H; ISHTIAQ, M; KHAN, S; WAQAS, M; WEI, L; WANG, T. **Heavy metals in agricultural soils and crops and their health risks in Swat District, northern Pakistan**. Food and Chemical Toxicology. v.58. 2013. p. 449–458.

LIU, X; SONG, Q; TANG, Y; LI, W; XU, J; WU, J; WANG, F; BROOKES, P.C.. **Human health risk assessment of heavy metals in soil–vegetable system: A multi-medium analysis**. Science of the Total Environment v.463. . 2008. p.530–540. 2013.

LU, X.; WANG, L; LI, L.Y.; LEI, K; HUANG, L; KANG, D. **Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China**. Journal of Hazardous Materials. v. 173. 2010. p.744–749.

MARTINS, C. A. S.; NOGUEIRA, N. O.; RIBEIRO, P. H.; RIGO, M. M.; CANDIDO, A. O. **A dinâmica de metais-traço no solo**. R. Bras. Agrociência. v.17. n.3-4. 2011. p.383-391.

MENDES, A.M.S.; DUDA, G.P.; NASCIMENTO, C.W.A.; LIMA, J.A.G.; MEDEIROS, A.D.L. **Acúmulo de metais pesados e alterações químicas em Cambissolo cultivado com meloeiro**. R. Bras. Eng. Agríc. Amb., 14:791-796, 2010.

PAYE, H. S.; MELLO, J. W. V.; MELO, S. B. **Métodos de análise multivariada no estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos-traço em solos**. R. Bras. Ci. Solo. v.36. 2012. p.1031-1041.

PESTANA, M.H.; GAGEIRO, J.N. **Análise de Dados para Ciências Sociais: A complementaridade do SPSS**. 4.ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2005.

QUEIROZ, A. F. **Caracterização e classificação de solos do município de Casa Nova-BA para fins de uso, manejo e conservação.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró – RN. 2013. 75p.

RODRÍGUEZ, J. A.; NANOS, N.; GRAU J.M.; GIL, L.; LÓPEZ-ARIAS, M. **Multiscale analysis of heavy metal contents in Spanish agricultural topsoils.** Chemosphere. v.70. n.6. 2008. p.1085–1096.

RÓS, A. B.; NARITA, N.; HIRATA, A. C. S. **Produtividade de batata-doce e propriedades físicas e químicas de solo em função de adubação orgânica e mineral.** Semina: Ciências Agrárias. v. 35, n. 1. 2014. p. 205-214.

RUIZ, H.A. **Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (Silte + Argila).** Revista Brasileira de Ciência do Solo. v.29. n.2. 2005. p 297-300.

SILVA, R. C. S.; ALMEIDA, J. C. R.; BATISTA, G. T. ; FORTES NETO, P. **Os indicadores físicos,químicos e biológicos da qualidade do solo e da sustentabilidade dos ambientes naturais.** Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Coleção Ciências Ambientais. p. 1-13, 2011.

SILVA, P. C. G.; MOURA, M. S. B.; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; SA, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES FILHO, C. **Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos.** In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. (Editores Técnicos). *Semiárido Brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação.* Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 17-48.

SOLLITTO, D.; ROMIC, M.; CASTRIGNANÒ, A.; ROMIC, D.; BAKIC, H. **Assessing heavy metal contamination in soils of the Zagreb region (Northwest Croatia) using multivariate geostatistics.** Catena. v.80. 2010.p.182–194.

STATSOFT. **Statistica for Windows – computer program manual.** Tulsa, UK: StatSoft, 1995.

STOLF, R.; THURLER, A. M.; BACCHI, O. O. S.; REICHARDT, K. **Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density.** Revista Brasileira de Ciência do Solo. v. 35. n. 2. 2011. p. 447-459.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- USEPA. **acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils.** p. 1-12. 2007.

VAZ, C. B. N.; SCHEER, M. A. P. S.;LIMA, U. D. S. **Caracterização geoambiental, análise integrada e avaliação dos impactos ambientais no território de identidade do sertão do São Francisco (BA).** Anais XVI Encontro Nacional de Geógrafos. 2010. p.12-19.

ZENG, F.; ALI, S; ZHANG, H; OUYANG, Y; QIU, B; WU, F; ZHANG, G. **The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants.** Environmental Pollution v.159. 2011. p.84-91.

### 3. CAPÍTULO II

## TEORES DE METAIS PESADOS NA ÁGUA E NO SEDIMENTO DO LAGO DE SOBRADINHO, BA.

### RESUMO

O trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade da água e do sedimento do Lago de Sobradinho, BA, quanto os teores totais de metais pesados (Cu, Cr, Cd, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) comparando-os com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 e Resolução CONAMA 420/2009. Para isso, foram selecionados 26 pontos de coleta distribuídos entre os municípios de Sobradinho, Casa Nova, Sento Sé e Remanso, sendo estes selecionados, em função da intensidade e tempo de uso do solo das propriedades com atividades agrícolas. As coletas foram realizadas em maio e em novembro de 2012, período que o lago alcança a maior e menor cota, respectivamente. A extração dos metais em água ocorreu pelo método 3030E e no sedimento pelo método 3050B e a determinação em EAA modo chama. As amostras de água apresentaram teores de Mn, Cd, Cr e Ni, acima do limite permitido pela Resolução CONAMA 357/2005 em, pelo menos, um dos pontos avaliados em uma das épocas. Nas amostras de sedimento os teores de Cd, Cr e Ni ultrapassaram o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 420/2009 em, pelo menos, um dos pontos avaliados e em uma das épocas de coleta. As relações existentes entre P, Cd, Cr e Ni sugerem que estes elementos possuam como fonte comum os fertilizantes fosfatados. Grupos formados pelas amostras dos municípios de Casa Nova e Sento Sé, para água e sedimento evidenciam diferenças nos teores observados em função das épocas de coleta. Sugere-se o monitoramento dos teores de metais na água e no sedimento do Lago de Sobradinho, BA.

**Palavras-chave:** contaminação, elementos traço, análise fatorial e agrupamento hierárquico.

### ABSTRACT.

The study aimed to assess the quality of water and sediment of Lake Sobradinho, BA, as the total concentration of heavy metals (Cu, Cr, Cd, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn) by comparing them with the values established by CONAMA Resolution 357/2005 and CONAMA Resolution 420/2009. For this, 26 collection points distributed between the municipalities of Sobradinho, Casa Nova, Sento Sé and Backwater were selected, these selected, depending on the intensity and duration of use of soil properties with agricultural activities. The collections were made in May and in November 2012, a period that the lake reaches the highest and lowest elevation, respectively. The extraction of metals in water occurred at 3030E method and sediment at 3050B method and FAAS determination. Water samples showed levels of Mn, Cd, Cr and Ni, above the limit allowed by CONAMA Resolution 357/2005 in at least one of the points assessed in one of the seasons. For sediment samples the concentrations of Cd, Cr and Ni exceeded the limit established by CONAMA Resolution 420/2009 in at least one of the points assessed in a Times. The relationship between P, Cd, Cr and Ni suggest that these elements have as a common source phosphate fertilizers.

Groups based on the samples of the municipalities of Casa Nova and Sento Sé, water and sediment to reveal differences between the analyzed periods. For the two compartments suggest monitoring the levels of metals in the water and sediment over time to metals.

**Keywords:** Contamination, trace elements, factor analysis and hierarchical clustering.

## INTRODUÇÃO

A crescente evolução dos meios de produção sejam eles, industriais ou agrícolas, tem resultado como consequência uma ampla problemática ambiental (BAGGIO; HORN, 2010). Dentre esses problemas, as alterações na qualidade da água tem merecido destaque, por se tratar de um bem indispensável para as atividades humanas, que vão desde o abastecimento e a irrigação até a geração de energia (ALVES, 2010).

Para caracterização da qualidade da água são realizadas análises físico-químicas e biológicas. Dentre essas análises, encontram-se os teores de metais pesados, que são assim considerados por apresentar densidade superior a  $6 \text{ g/cm}^3$  (HOODA, 2010). Estudos envolvendo estes elementos químicos tem ganhado maior visibilidade, segundo Ribeiro et al. (2012), devido às suas características tóxicas.

A toxicidade destes elementos, nos seres humanos, pode causar disfunções de médias à graves. O Pb, por exemplo, pode ocasionar problemas reprodutivos e encefalopatia; o Cd acarreta problemas reprodutivos, câncer e doenças cardiovasculares, enquanto o Zn pode ocasionar náuseas, vômitos, diarreia e febre (PRASAD, 2008). De acordo com Rocha et al. (2010) a população que vive nas margens dos corpos d'água é a mais vulnerável à contaminação. Além disso, a biota pode sofrer impactos significativos e servir como fonte de distribuição e redistribuição desses elementos químicos (RIBEIRO et al., 2013).

Os teores elevados de metais pesados variam em função das fontes poluidoras como atividades mineradoras, industriais e agrícolas. A agricultura vem contribuindo para a elevação destes teores por meio de práticas agrícolas inadequadas, como o intenso uso de agrotóxicos e fertilizantes que contém esses elementos (FREITAS et al., 2009; SOLLITTO, 2010).

Dado o risco potencial, o conhecimento de teores destes elementos é essencial tanto em amostras de água quanto de sedimento. Ressalta-se que fatores como floculação, condições de pH, condições redox, teor de carbonatos, interação com materiais particulados e dissolvidos, orgânicos e inorgânicos condicionam presença dos metais pesados na coluna d'água e sua deposição nos sedimentos (GAO e LI, 2012). Por isso, o sedimento é considerado compartimento aquático ativo, funcionando fonte de redistribuição dos metais à água e a biota aquática (ALVES et al., 2010; OLIVEIRA e MARINS, 2011). Por esta função, Chabukdhara e Nema (2012), o consideram como compartimento mais significativo na concentração de metais e reconhecem-no como um importante indicador ambiental da poluição da água.

Portanto o conhecimento dos valores de ocorrência de metais pesados tanto na água quanto no sedimento é uma variável potencial para avaliar e monitorar a qualidade da água, sendo diversos trabalhos realizados nesta temática (SANTOS et al., 2008; BAGGIO e HORN, 2011; LIMA e SANTOS, 2012; RIBEIRO et al., 2012).

Ribeiro et al. (2012) avaliaram a qualidade da água e concentração de alguns metais no trecho do Rio São Francisco entre a represa de Três Marias e Pirapora. Os autores perceberam diferenças na qualidade da água em função da época de coleta, sendo os teores mais elevados na estação chuvosa (março) e nos trechos de intenso uso agrícola do solo. Teores elevados de Cd, Cu, Cr, Co e Ni indicaram a necessidade de um estudo de contaminação dos solos, principalmente os utilizados com sistemas de produção irrigados.

A área de entorno do Lago de Sobradinho apresenta grande potencial agropecuário, merecendo destaque a agricultura irrigada praticada na borda do lago e o cultivo de oleráceas, principalmente a cebola. Devido o uso intensivo de agrotóxicos e fertilizantes há o risco de ocorrência de teores elevados de metais pesados. Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade da água e do sedimento do Lago de Sobradinho, BA, quanto os teores totais de metais pesados (Cu, Cr, Cd, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) comparando-os com os valores estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 e Resolução CONAMA 420/2009.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Área de estudo**

O Lago de Sobradinho está inserido na Bacia do Entorno do Lago do Sobradinho que tem uma área: 37.339 km<sup>2</sup> e abrange a Região de Planejamento e Gestão das Águas XIX (RPGA XIX) (CONERH, 2011). Os principais tributários desta Bacia são: Os riachos Banzuá e Tatauí, na margem direita do lago, e os riachos Jibóia, Tanque Real, Grande, Ouricuri na margem esquerda do lago (INEMA, 2013).

O clima da região é do tipo Bsw<sup>h</sup>, com precipitações médias que variam entre 400 e 630 mm anuais, concentradas em apenas três ou quatro meses mal distribuídas (SILVA et al., 2010). Predomina nesta região a Caatinga hiperxerófila como vegetação (JACOMINE et al., 1976; BRASIL, 2011).

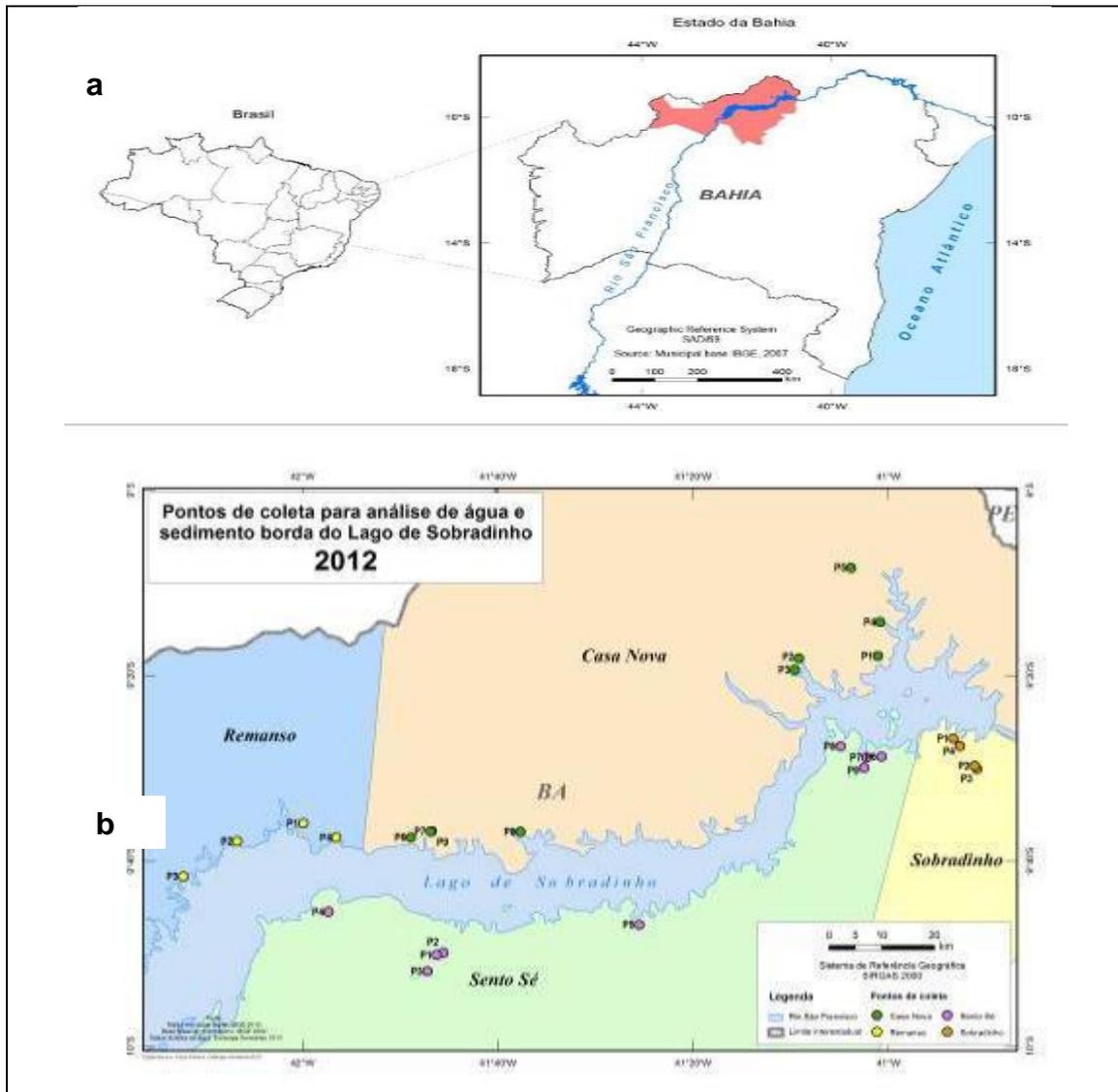
Na margem esquerda do Lago de Sobradinho (Casa Nova e Remanso) predominam Argissolos, Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, existindo também a presença de uma faixa de Neossolos Litolíticos na porção oeste desta área (VAZ et al., 2010). Na margem direita do Lago de Sobradinho (Sobradinho e Sento Sé) predomina uma feição pedológica contando Neossolos Litolíticos, Planossolos e Latossolos, além de Argissolos e Cambissolos em menor quantidade.

Os municípios de Casa Nova, Remanso, Sento Sé e Sobradinho, em 2012, produziram 77.400 t de cebola, 28.940 t de melancia e 4.400 t de melão representado 35,7%, 11,2% e 12,7% respectivamente, da produção destas culturas no estado da Bahia (IBGE, 2014). Culturas como banana, coco-da-baía, goiaba, feijão, mandioca, milho, manga, uva também merecem destaque na região. Ressalta-se que grande parte desta produção é oriunda da agricultura familiar, cultivada de forma peculiar, conhecida como cultivo de vazante. Este se caracteriza pelo plantio em área anteriormente inundada, acompanhando a cota do lago e, muitas vezes, utilizando irrigação por inundação.

Além do uso da água para irrigação, esta é uma das únicas fontes de água para consumo humano e dessedentação animal nas comunidades localizados do entorno do lago. A pesca também é uma atividade presentes como lago.

### **Pontos de coleta**

Foram selecionadas 26 propriedades, sendo, 9 no município de Casa Nova, 9 em Sento Sé, 4 em Remanso e 4 em Sobradinho (Figura 1). A seleção teve como critérios a proximidade da área de cultivo com a borda do lago e a intensidade e o tempo de uso do solo.



**Figura 1:** Localização da área de estudo (a) e distribuição dos pontos de coleta (b).

## Amostragem

Foram realizadas coletas em duas épocas do ano, maio e novembro de 2012, períodos de maior e menor cota do Lago. No primeiro trimestre do ano, as chuvas são bastante intensas, o que aumenta a probabilidade de carreamento de resíduos para os corpos d'água, apresentando o mês de março de altos índices de precipitação pluviométrica. O mês de novembro é o de maior evaporação e temperaturas médias e a menor cota do lago.

As coletas foram realizadas no período da manhã, sendo cada amostra composta por três alíquotas retiradas do mesmo ponto e homogêneas para constituir uma única amostra. Após o procedimento de coleta, as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor contendo gelo e transportadas imediatamente

para o laboratório onde foram preservadas de acordo com a metodologia proposta no Standard Methods Analysis Water and Wastewater (APHA, 2012) para cada tipo de análise a ser realizada.

### **Coleta de sedimento**

As amostras de sedimentos foram coletadas no mesmo ponto e após a coleta das amostras de água. Em cada ponto foram coletadas amostras em triplicatas na profundidade de 0-10 cm, posteriormente, homogeneizadas para compor uma única amostra. As amostras foram enviadas ao laboratório e congeladas para análises posteriores, de acordo com a metodologia proposta pela Environmental Protection Agency (USEPA, 2007).

### **Indicadores físicos e químicos da água**

As variáveis fósforo (P), nitrogênio amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ) sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), Demanda Química de oxigênio (DQO), demanda biológica de oxigênio (DBO), pH, condutividade elétrica (CE), oxigênio dissolvido (OD), turbidez, sólidos totais, dureza e alcalinidade foram realizadas segundo a metodologia do Standard Methods Analysis Water and Wastewater (APHA, 2012).

### **Metais pesados**

Nas amostras de água, a extração dos metais pesados foi realizada por digestão ácida, utilizando-se metodologia 3030E descrita no Standard Methods Analysis Water and Wastewater (APHA, 2012).

As amostras de sedimentos foram secas em estufa a  $45^\circ\text{C}$ , destorroadas, homogeneizadas e passadas em peneira de 2,0 mm de abertura de malha (9 mesh), obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). As amostras de TFSA foram moídas e passadas na peneira de 0,180 mm de abertura de malha (80 mesh). A extração dos metais pesados no sedimento foi realizada utilizando-se o método EPA 3050B (USEPA, 2007).

A determinação dos teores totais de Cu, Cr, Cd, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn nos extratos obtidos foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica (EAA) com modo chama, no aparelho da marca PERKIN ELMER, modelo PinAAcle 900H para as amostras de sedimento e água do mês de novembro. A determinação dos

teores totais de Cu, Cr, Cd, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn nos extratos das amostras de água da coleta de março/abril foi realizada no aparelho da marca PERKIN ELMER, modelo AAnalyst 100.

Os comprimentos de onda selecionados ( $\lambda$ ) e os limites de detecção (LD) e limite de quantificação praticável (LPQ) obtidos descritos no Quadro 1.

**Quadro 1.** Comprimentos de onda selecionados, limites de detecção e limites de quantificação praticável por EAA modo Chama.

Elemento	$\lambda$	LD <sup>1</sup>			LQP <sup>2</sup>		
		Sedimento <sup>4</sup>	Água <sup>3</sup>	Água <sup>4</sup>	Sedimento <sup>4</sup>	Água <sup>3</sup>	Água <sup>4</sup>
mg/L							
Zn	213,86	0,038	0,001	0,006	1,88	0,001	0,0031
Fe	248,33	0,099	0,328	0,062	4,97	0,164	0,031
Mn	279,48	0,002	0,009	0,001	0,09	0,005	0,0005
Cu	324,75	0,013	0,009	0,001	0,63	0,004	0,0004
Cd	228,80	0,003	0,002	0,031	0,13	0,001	0,0157
Ni	232,00	0,046	0,002	0,033	2,29	0,001	0,0164
Cr	357,87	0,032	0,006	0,001	1,62	0,003	0,0005
Pb	283,31	0,018	0,405	0,012	0,89	0,203	0,0062

<sup>1</sup> Limite de detecção =  $3\sigma$  ( $\text{tg } \alpha^{-1}$ ) (PAYE et al., 2012); <sup>2</sup> Limite de quantificação praticável = LD x fator diluição (FD); FD= 50 para sedimento e para água FD= 1/2;<sup>3</sup> leituras no aparelho da marca PERKIN ELMER, modelo A Analyst 100; <sup>4</sup> leituras no aparelho PERKIN ELMER, modelo PinAAcle 900H

O controle de qualidade do método utilizado para obter os teores totais dos elementos nas amostras foi avaliado por meio das taxas de recuperação de uma amostra de referência contaminada com os metais em estudo. A cada bateria com 38 amostras de sedimentos, foi utilizada uma amostra de referência e uma amostra de branco. Os valores recuperados dos elementos na análise total do material de referência variaram de 93 a 108 % (Quadro 2), encontrando-se dentro da faixa recomendada para a maioria dos elementos estudados (USEPA, 2007).

**Quadro 2.** Teores totais no material de referência contaminado pelo método EPA 3050B.

Elemento	Teor total <sup>(1)</sup>	Recuperação <sup>(2)</sup>
	mg/kg	%
Zn	12,67	97,44
Fe	3266,34	108,88
Mn	79,13	93,10
Cu	10,20	101,96
Cd	3,54	101,09
Ni	13,57	96,96
Cr	21,14	105,71
Pb	10,09	100,89

<sup>(1)</sup> Média aritmética de dez réplicas. <sup>(2)</sup> % R = (valor recuperado/valor referência) x 100.

## Análise estatística

Os resultados analíticos foram submetidos à análise estatística descritiva considerando os parâmetros de posição, média e de dispersão, valores mínimos e máximos, desvio padrão e coeficiente de variação. A normalidade dos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) ( $p \leq 0,05$ ). Os teores de metais pesados foram correlacionados com as características físico-químicas por meio da correlação linear de Pearson ( $p \leq 0,05$ ). Essas análises foram realizadas com objetivo de avaliar se os dados apresentam normalidade e linearidade, identificar outliers e observar se a matriz de correlação apresenta valores significativos (PESTANA & GAGEIRO (2005), HAIR et al. (2005) e HO (2006).

Em seguida, os dados foram submetidos à análise Fatorial (AF), utilizando-se a análise por componentes principais (ACP) como método de extração. Os eixos foram rotacionados pelo método Varimax e estabeleceu-se o valor de 0,65 para cargas fatoriais significativas.

E por fim, os elementos que excederam o limite legal previsto na Resolução CONAMA 357/2005 para água e na Resolução CONAMA 420/2011 para sedimento foram submetidos à análise de agrupamento, pelo método de agrupamento hierárquico, das propriedades, em cada município. O algoritmo de agrupamento aplicado foi o método Ward's, adotando-se a distância Euclidiana como medida das similaridades.

As análises estatísticas dos dados foram realizadas com o auxílio do software estatístico STATISTICA 5.0 (STATSOFT, 1995).

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **Parâmetros físicos e químicos**

A estatística descritiva e o teste KS para as características físico-químicas da água nas duas épocas avaliadas para cada município estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Estatística descritiva e teste KS para indicadores físico-químicos da água, coletadas em maio e novembro de 2012.

Parâmetro	P		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		Na <sup>+</sup>		pH		CE		OD		TU		ST		dureza		alcalinidade		
	mg/L		mg/L		mg/L		dS/m		mg/L		NTU		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		
<b>Sobradinho</b>																					
<b>Média</b>	0,02	0,06	0,01	nd	2,53	6,14	7,36	6,00	0,06	0,09	9,7	12,3	16,43	66,43	272,50	72,13	33,36	52,23	31,49	46,30	
<b>DP</b>	0,01	0,04	0,00	-	0,19	4,57	0,25	1,62	4,18	50,25	0,36	1,64	12,30	72,92	421,40	68,32	2,23	11,46	1,66	11,97	
<b>CV (%)</b>	86,3	76,50	48,99	-	7,42	74,40	3,45	25,7	6,47	55,99	3,67	13,40	74,88	109,9	154,60	94,73	6,67	21,95	5,27	25,85	
<b>Mínimo</b>	0,01	0,03	0,01	nd	2,30	2,50	6,99	4,80	0,06	0,03	9,30	11,10	2,32	19,9	49,00	3,00	30,65	40,20	29,8	35,20	
<b>Máximo</b>	0,04	0,13	0,02	nd	2,76	12,40	7,54	8,60	0,07	0,15	10,00	14,70	31,70	175,00	904,50	158,00	36,00	67,80	33,76	60,00	
<b>KS</b>	0,27*	0,38*	0,29*	-	0,25*	0,25*	0,31*	0,35*	0,26*	0,24*	0,30*	0,32*	0,16*	0,38*	0,43*	0,21*	0,16*	0,29*	0,27*	0,27*	
<b>Casa Nova</b>																					
<b>Média</b>	0,12	0,06	0,01	nd	4,40	7,85	7,80	6,61	0,09	0,15	5,31	12,10	14,29	49,24	226,00	226,70	39,75	56,54	43,76	41,58	
<b>DP</b>	0,12	0,04	0,03	-	4,15	5,51	0,46	1,70	68,34	113,10	5,04	4,40	9,54	75,01	117,50	121,30	19,50	24,43	21,45	12,18	
<b>CV (%)</b>	93,60	65,2	189,20	-	94,50	70,20	5,91	25,70	79,08	77,34	94,90	36,40	66,79	152,30	51,92	53,53	49,06	43,20	49,02	29,30	
<b>Mínimo</b>	0,02	0,02	0,00	nd	2,53	3,22	7,06	4,10	0,03	0,04	1,60	3,53	5,26	4,46	111,00	76,00	24,30	30,10	28,80	28,80	
<b>Máximo</b>	0,35	0,11	0,08	nd	15,40	19,30	8,76	9,50	0,25	0,35	17,20	17,60	34,20	245	424,5	436	85,2	103,50	94,90	68,20	
<b>KS</b>	0,28*	0,21*	0,33*	-	0,46	0,25*	0,24*	0,35	0,30*	0,21*	0,23*	0,20*	0,20*	0,39*	0,27*	0,20*	0,27*	0,29*	0,32*	0,22*	
<b>Sento Sé</b>																					
<b>Média</b>	0,09	0,13	0,08	nd	2,96	6,47	7,31	5,14	0,08	0,05	1,87	14,1	24,67	158	267	306,4	25,78	181,93	40,39	33,81	
<b>DP</b>	0,06	0,10	0,06	-	0,59	2,50	0,23	0,95	32,53	53,47	1,13	2,43	28,85	189,1	236	226,9	9,44	246,4	16,77	22,11	
<b>CV (%)</b>	59,7	76,74	70,65	-	19,90	38,70	3,19	18,49	38,37	106,2	60,50	17,20	116,90	119,7	88,39	74,06	36,63	135,44	41,51	65,39	
<b>Mínimo</b>	0,03	0,03	0,03	nd	2,30	2,30	6,93	4,00	0,06	0,00	0,60	10,10	3,41	4,20	128,00	35,50	17,10	37,70	24,40	19,20	
<b>Máximo</b>	0,18	0,31	0,18	nd	4,14	9,40	7,62	6,70	0,16	0,17	4,2	17,60	97,80	534,00	880,00	702,00	45,00	708,40	79,80	92,00	
<b>KS</b>	0,15*	0,28*	0,20*	-	0,30*	0,19*	0,14*	0,24	0,24*	0,19*	0,22*	0,18*	0,32*	0,36*	0,35*	0,32*	0,24*	0,43*	0,23*	0,46	
<b>Remanso</b>																					
<b>Média</b>	0,06	0,06	0,07	nd	3,22	9,63	7,97	6,68	0,09	0,09	2,10	12,70	24,75	39,28	176,20	446,50	1,55	54,88	40,68	43,28	
<b>DP</b>	0,02	0,02	0,03	-	0,82	9,41	1,22	1,80	8,10	87,78	1,48	0,89	17,58	36,84	8,26	225,10	0,24	29,92	4,98	10,75	
<b>CV (%)</b>	24,50	39,93	44,42	-	25,40	97,80	15,40	27,00	9,35	0,09	70,6	7,01	71,02	93,8	4,69	50,41	15,36	54,52	12,25	24,84	
<b>Mínimo</b>	0,04	0,03	0,04	nd	2,53	0,71	7,24	5,20	0,07	0,00	0,80	11,70	3,71	4,60	166,00	133,00	1,20	25,00	33,30	29,60	
<b>Máximo</b>	0,08	0,09	0,12	nd	4,37	22,70	9,80	9,00	0,09	0,20	4,20	13,50	45,20	79,10	186,00	669,00	1,70	95,50	43,70	52,40	
<b>KS</b>	0,22*	0,19*	0,26*	-	0,25*	0,26*	0,40*	0,39	0,37*	0,19*	0,28*	0,28*	0,13*	0,27*	0,19*	0,32*	0,33*	0,24*	0,35*	0,27*	
<b>357/2005</b>	<b>0,02</b>		<b>**</b>		<b>-</b>		<b>6-9</b>		<b>-</b>		<b>&lt;6</b>		<b>40</b>		<b>500</b>		<b>-</b>		<b>-</b>		

P: fósforo total; N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: nitrogênio amoniacal; Na<sup>+</sup>: sódio; CE: condutividade elétrica; OD: oxigênio dissolvido; TU: turbidez; ST: sólidos dissolvidos totais; 1: coleta de abril/maio; 2: coleta de novembro; \* distribuição normal pelo teste de Kolmogorov – Smirnov p(<0,05). nd: Valor abaixo do limite de detecção do aparelho. Os valores em destaque excedem o limite legal. \*\* 3,7 para pH>7,5; 2,0 para pH<7,5<8,0; 1,0 para pH<8,0<8,5; 0,5 para pH>8,5.

Os teores médios de P se elevaram da época seca para a chuvosa nos municípios de Sobradinho e Sento Sé (Tabela 1). No município de Casa Nova houve um comportamento inverso, com redução desse valor, no entanto, o valor máximo mais elevado foi observado (0,35 mg/L) na época chuvosa. Observa-se que teores de P excederam o limite estabelecido pela resolução 357/2005 (0,02 mg/L) em todos os municípios avaliados, exceto Sobradinho na época chuvosa. A situação é preocupante, pois elevados teores de P podem provocar eutrofização dos corpos de água. Danelon et al. (2012) também encontraram teores de P acima do limite da Resolução CONAMA 357/2005 na água do Córrego Terra Branca (MG). Segundo os pesquisadores esses valores podem advir do uso de fertilizantes químicos na bacia do Córrego, que devido aos eventos chuvosos carregam material particulado e ao terem contato com a água são dissolvidos, liberando P na água. Esta pode ser uma possível origem, do P nas águas do Lago, pois se observa na região situação semelhante, o uso de fertilizantes fosfatados em grandes quantidades nos cultivos a borda do Lago. Além disso, na região os solos cultivados são, em parte do ano, cobertos pelas águas do Lago, o que facilita a liberação desse elemento para a água.

O teor de  $\text{N-NH}_4^+$  apresentou valores abaixo do limite de detecção do método de análise utilizado para todas as localidades na época seca, sendo que na época chuvosa estes não excederam o limite da Resolução CONAMA 357/2005 (Tabela 1). Resultados semelhantes foram encontrados por Danelon et al. (2012) ao analisarem este parâmetro nas águas do Córrego Terra Branca, MG.  $\text{N-NH}_4^+$  poder ser proveniente de despejos domésticos e industriais, excrementos animais e fertilizantes químicos (COLETTI et al., 2010). Logo  $\text{N-NH}_4^+$  pode ser um parâmetro importante a ser analisado devido na época chuvosa ocorrer o arraste de material particulado do solo e também pela intensidade de cultivo, até em áreas de sequeiro, se elevar e conseqüentemente o uso de fertilizantes nitrogenados.

Os valores médios de OD encontram-se abaixo do limite mínimo (6,0 mg/L) estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005 nas amostras de Casa Nova, Sento Sé e Remanso na época chuvosa (Tabela 1). Já na época seca, em todos os municípios, os teores foram superiores a 10 mg/L. Baixos valores de OD pode ser indicativo de poluição por esgoto e podem provocam a mortandade de peixes. Já valores acima de 10 mg/L pode indicar possível eutrofização, podendo ocorrer

durante a noite redução drástica no OD que também ocasiona mortandade de peixes (FIORUCCI e BENEDETTI FILHO, 2005).

Os valores médios de TU excederam o limite legal estabelecido (>40NTU), na segunda época, o valor médio do município de Sento Sé merece destaque por apresentar-se cerca de 4 vezes superior ao limite legal. Ressalta-se uma tendência à elevação da TU ao longo do ano, estando diretamente relacionado com a tendência erosiva que os solos da região apresentam (CUNHA, 2008) devido aos elevados teores de areia, aos métodos de preparo do solo, ao cultivo de vazante associado ao uso de irrigação por inundação, sendo esta prática utilizada com maior intensidade na época seca (novembro).

Os valores médios de ST não ultrapassaram o valor máximo permitido pela resolução 357/2005 (500mg/L). No entanto observa-se que, em pelo menos uma amostra de Sobradinho, no período de maio, de Remanso, em novembro, e de Sento Sé, nas duas épocas de coleta, apresentaram-se acima desse valor. Os ST e a TU são importantes no monitoramento da qualidade da água, pois, de acordo com Basso e Moreira (2010), as partículas orgânicas e inorgânicas, que podem conter metais pesados, que estão presentes na coluna de água e contribuem para os teores de TU e ST podem se depositar no sedimento, contaminando do lago.

### **Teores de metais pesados na água**

A estatística descritiva e o teste Kolmogorov-Smirnov para os teores de Zn, Fe, Mn, Cu, Cd, Ni, Cr e Pb encontrados na água do lago de Sobradinho em cada município, nos meses de maio e novembro de 2012, esta descrita na Tabela 2.

**Tabela 2:** Estatística descritiva e teste KS para os teores de metais pesados em amostras de água do Lago de Sobradinho, coletadas nos meses de maio (1) e novembro (2) de 2012.

Parâmetro	Zn		Fe		Mn		Cu		Cd		Ni		Cr		Pb	
	mg/L															
Sobradinho																
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<b>Média</b>	0,015	0,035	0,134	1,575	<b>0,108</b>	<b>0,118</b>	0,004	0,002	<b>0,017</b>	0,001	0,017	0,023	0,023	<b>0,948</b>	nd	0,007
<b>DP</b>	0,010	0,020	0,140	2,070	0,160	0,120	0,010	0,000	0,010	0,000	0,020	0,000	0,010	0,700	-	0,000
<b>CV (%)</b>	74,540	47,290	107,640	131,38	152,310	99,730	142,860	69,460	63,810	72,630	125,230	20,410	46,200	73,730	-	34,810
<b>Mínimo</b>	0,008	0,015	0,062	0,062	0,021	0,032	0,001	0,001	<b>0,008</b>	0,00	0,004	0,016	0,007	<b>0,475</b>	-	0,004
<b>Máximo</b>	0,032	0,055	0,351	4,59	<b>0,355</b>	<b>0,287</b>	0,011	0,004	<b>0,032</b>	0,002	<b>0,048</b>	<b>0,026</b>	0,031	<b>1,984</b>	-	0,009
<b>KS</b>	0,34*	0,21*	0,44*	0,32*	0,43*	0,29*	0,44*	0,19*	0,29*	0,27*	0,41*	0,32*	0,38*	0,37*	-	0,22*
Casa Nova																
<b>Média</b>	0,050	0,042	4,461	1,785	<b>0,816</b>	<b>0,147</b>	0,024	0,005	<b>0,023</b>	0,004	0,015	<b>0,037</b>	<b>0,074</b>	<b>0,218</b>	nd	<b>0,042</b>
<b>DP</b>	0,030	0,020	3,290	1,190	0,580	0,190	0,030	0,000	0,010	0,000	0,010	0,020	0,100	0,240	-	0,010
<b>CV (%)</b>	51,23	51,87	73,65	66,78	71,09	128,32	126,54	71,42	23,3	16,88	76,95	41,92	133,59	109,43	-	19,37
<b>Mínimo</b>	0,015	0,011	0,379	0,328	<b>0,104</b>	0,018	0,001	0,001	<b>0,016</b>	0,003	0,004	0,005	0,005	0,008	-	<b>0,035</b>
<b>Máximo</b>	0,086	0,071	9,736	3,501	<b>1,448</b>	<b>0,637</b>	0,093	0,012	<b>0,034</b>	<b>0,005</b>	<b>0,033</b>	<b>0,058</b>	<b>0,312</b>	<b>0,715</b>	-	<b>0,059</b>
<b>KS</b>	0,20*	0,17*	0,16*	0,17*	0,22*	0,39*	0,22*	0,29*	0,15*	0,20*	0,33*	0,30*	0,31*	0,23*	-	0,28*
Sento Sé																
<b>Média</b>	0,045	0,033	3,875	2,228	<b>0,355</b>	<b>0,137</b>	0,007	0,006	<b>0,004</b>	0,003	0,016	<b>0,025</b>	0,020	<b>0,330</b>	nd	<b>0,030</b>
<b>DP</b>	0,050	0,010	3,940	1,960	0,250	0,120	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,010	0,330	-	0,010
<b>CV (%)</b>	101,430	37,40	101,690	87,990	71,600	87,430	129,050	55,290	65,410	69,660	14,740	21,670	36,230	99,790	-	24,370
<b>Mínimo</b>	0,003	0,016	0,329	0,210	<b>0,144</b>	0,014	0,001	0,001	<b>0,001</b>	0,001	0,011	0,016	0,010	0,029	-	<b>0,022</b>
<b>Máximo</b>	0,136	0,061	11,806	5,679	<b>0,938</b>	<b>0,378</b>	0,020	0,011	<b>0,008</b>	<b>0,008</b>	0,018	<b>0,033</b>	0,034	<b>0,769</b>	-	<b>0,042</b>
<b>KS</b>	0,25*	0,23*	0,32*	0,20*	0,23*	0,37*	0,41*	0,18*	0,20*	0,43*	0,13*	0,17*	0,23*	0,25*	-	0,25*
Remanso																
<b>Média</b>	0,041	0,057	8,260	1,770	<b>0,420</b>	<b>0,121</b>	0,020	0,001	<b>0,015</b>	0,003	<b>0,030</b>	<b>0,040</b>	0,043	0,0360	nd	<b>0,016</b>
<b>DP</b>	0,030	0,050	6,220	1,150	0,180	0,070	0,030	0,000	0,010	0,000	0,020	0,010	0,060	0,010	-	0,010
<b>CV (%)</b>	71,480	85,350	75,300	64,800	43,880	57,010	128,600	19,570	92,390	48,620	63,920	22,980	132,560	29,860	-	33,940
<b>Mínimo</b>	0,021	0,016	1,795	0,871	<b>0,176</b>	0,039	0,001	0,001	<b>0,007</b>	0,002	0,003	<b>0,028</b>	0,005	0,031	-	<b>0,011</b>
<b>Máximo</b>	0,084	0,119	16,298	3,398	<b>0,567</b>	<b>0,193</b>	0,057	0,001	<b>0,036</b>	<b>0,006</b>	<b>0,048</b>	<b>0,049</b>	<b>0,127</b>	<b>0,053</b>	-	<b>0,023</b>
<b>KS</b>	0,31*	0,27*	0,18*	0,26*	0,27*	0,21*	0,39*	0,33*	0,41*	0,30*	0,28*	0,24*	0,37*	0,44*	-	0,22*
<b>357/2005</b>	<b>0,18</b>		-		<b>0,1</b>		-		<b>0,005</b>		<b>0,025</b>		<b>0,05</b>		<b>0,01</b>	

\* distribuição normal pelo teste de Kolmogorov – Smirnov  $p(<0,05)$ . nd= Valor abaixo do limite de detecção do aparelho. Os valores em destaque excedem pelo menos um dos limites legais analisados.

Os teores máximos de Zn observados nos quatro municípios não excederam o limite máximo permitido pela Legislação Brasileira (Tabela 2), em ambas as épocas de coleta.

Os elementos Fe e Cu apresentam limite definido pela legislação apenas para teores dissolvidos, que não podem ser comparados com os valores obtidos neste trabalho, por se tratarem de teores totais. Observa-se que os valores destes elementos (Tabela 2) são mais elevados na primeira coleta quando comparados aos da segunda. Como a primeira época representa o período chuvoso da região este fato pode ser atribuído, provavelmente, em função das características do solo do entorno (muito arenosos), ao carreamento intenso de partículas para o sistema aquático. Belluta et al. (2014) verificaram a elevação dos teores destes elementos no Córrego Cintra ao longo dos anos de 2007, 2008 e 2009 e tendo como fontes de contaminação esgotos e a agricultura. Como estas fontes também estão presentes nos pontos amostrados, em diferentes intensidades o monitoramento ao longo dos anos poderá validar a qualidade da água do Lago em relação a estes elementos.

Para o Pb, em abril/maio, o equipamento de EAA no modo chama modelo A Analyst 100, apresentou um limite de detecção muito alto (0,4 mg/L), impossibilitando a sua medição. Ribeiro et. al (2012) avaliando a qualidade da água na secção do Rio São Francisco a jusante da represa de Três Marias e montante do Rio das Velhas também observaram limite de detecção do aparelho maior que o limite estabelecido pela legislação para este elemento. Na época seca (novembro), utilizou-se o equipamento de EAA modelo PinAAcle 900H, com limite de detecção menor (0,012 mg/L). Observou-se que o teor médio, máximo e mínimo dos municípios de Casa Nova, Sento Sé e Remanso excederam o limite estabelecido pela resolução 357/2005 (Tabela 2). O valor mínimo nas amostras dos municípios de Casa Nova (0,035 mg/L) e Sento Sé (0,022 mg/L) foram cerca duas vezes superior ao teor observado por Alves et al. (2010) (0,012 mg/L) nas águas do Córrego Monte Alegre e seus afluentes (SP).

Os teores médios de Mn na água encontram-se acima do valor permitido pela legislação, em todos os municípios e nas duas épocas de coleta (Tabela 2). Os altos CVs observados estão relacionados com a variação temporal e espacial deste elemento, bem como para os demais elementos analisados, na região e, sobretudo das diversas possíveis fontes do elemento. No caso do Fe e Mn uma possível fonte

pode ser o material de origem dos solos da região, que segundo Cunha et al. (2008) apresentam, frequentemente, concreções ferruginosas, com elevado teor deste elemento, que é disponibilizado por meio dos processos de oxi-redução durante a inundação solo, pela elevação da cota do lago. Além disso, o preparo do solo às margens do Lago, as características estruturais do lago e a falta de vegetação ciliar promove um intenso carreamento de material particulado durante a época chuvosa, podendo assim disponibilizar o elemento na coluna de água.

Aos teores de Cd (Tabela 2) ultrapassaram o limite estabelecido na Resolução do CONAMA 357/2005 nas duas épocas de coleta, em todos os municípios. Ressalta-se que os teores mais elevados encontram-se na época chuvosa (Tabela 2), resultado diferente do observado por Guedes et al. (2005) cujo teor médio de Cd na época seca (0,005 mg/L) foi superior ao teor da época chuvosa (0,003 mg/L). Este elemento é um indicador de intensa interferência antrópica e de degradação ambiental dos recursos hídricos. De acordo com Sabiha-Javied et al. (2009), fertilizantes fosfatados podem ser uma das principais fonte de contaminação com este elemento. Esses resultados advertem para a necessidade de realização de trabalhos que mitiguem o problema e reduzam o risco de contaminação da população ribeirinha. Segundo Prasad (2008), esse elemento acumula-se crônicamente nos rins, levando a disfunções na urina e pode provocar problemas reprodutivos, câncer, doenças cardiovasculares, hipertensão entre outras. Hiroaki et al. (2014) associou uma dieta rica em Cd, principalmente, devido ao consumo arroz contaminado, com um risco aumentado de câncer da mama na pós-menopausa.

Na coleta realizada em maio, Sento Sé foi o único município que não apresentou pelo menos um ponto de amostragem com teores de Ni acima do valor máximo permitido (Tabela 2). Já nas amostras coletadas em novembro, todos os municípios apresentaram pelo menos uma amostra acima desse valor (Tabela 2). A presença de pontos de coleta com teores elevados de Ni, pode indicar existência fonte poluidora potencial, já que este elemento também advir da mesma fonte de contaminação que o Cd, os fertilizantes fosfatados e fontes de micronutrientes.

Para o teor de Cr, na primeira coleta, apenas o município de Casa Nova apresentou amostras que excederam o valor máximo permitido (Tabela 2). No entanto, na segunda coleta, todos os municípios, exceto Remanso, tiveram valor médio acima do limite estabelecido na Resolução CONAMA 357/2005. Resultados semelhantes foram observados por Ribeiro et al. (2012) que observaram teores de

Cd, Cr, Ni acima dos limites da Resolução CONAMA/357, no trecho entre Três Marias e Pirapora, em pelo menos um ponto, estando a origem destes elementos relacionado a diferentes fontes, dentre elas a agricultura.

Considerando que o Cr, Cd e Ni são poluentes presentes em fertilizante fosfatados (CAMPOS et al., 2005; MENDES et al., 2010) e que tanto os teores destes elementos (Tabela 2) quanto os de P, nas amostras de água, estarem elevados (Tabela 1) nos permite sugerir a realização de trabalhos para confirmar se o acúmulo desses metais na água do Lago está associado à utilização dos sistemas de produção de baixo nível tecnológico empregado na região (sistema de vazantes, irrigação, predominantemente, pelo sistema de inundação e adubações realizadas sem a utilização de análises de solo e de tecido vegetal, entre outros fatores).

Os valores dos coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre os teores de metais pesados e as características físico-químicas da água, nas duas épocas de coleta, estão apresentados nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3:** Coeficientes de correlação linear de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre os teores totais de metais pesados e as características físico-químicas das amostras de água coletadas em maio de 2012.

Parâmetro	Zn	Fe	Mn	Cu	Cd	Ni	Cr	P	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	pH	CE	OD	TU	ST	dur.	alcal
Zn	1,00																
Fe	<b>0,58</b>	1,00															
Mn	0,33	<b>0,41</b>	1,00														
Cu	0,33	<b>0,58</b>	<b>0,69</b>	1,00													
Cd	0,05	-0,06	0,38	0,22	1,00												
Ni	0,23	<b>0,43</b>	0,03	0,06	-0,18	1,00											
Cr	0,11	0,14	0,06	-0,01	<b>0,44</b>	0,18	1,00										
P	-0,11	0,16	0,05	-0,04	0,03	0,04	<b>0,52</b>	1,00									
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-0,18	0,17	-0,30	-0,20	<b>-0,49</b>	0,03	-0,21	0,19	1,00								
Na <sup>+</sup>	0,23	0,18	<b>0,42</b>	0,10	0,37	0,27	0,33	0,05	-0,20	1,00							
pH	0,15	0,22	0,25	0,06	0,18	0,14	0,11	-0,11	0,01	0,02	1,00						
CE	-0,29	-0,19	-0,03	-0,14	-0,09	-0,06	-0,08	0,20	-0,11	0,02	-0,15	1,00					
OD	-0,26	-0,36	-0,25	-0,20	0,29	-0,04	-0,02	-0,14	<b>-0,44</b>	0,19	-0,23	<b>0,41</b>	1,00				
TU	-0,17	-0,04	-0,05	0,08	-0,21	0,05	-0,12	0,12	<b>0,42</b>	0,01	-0,27	0,00	-0,16	1,00			
ST	-0,09	-0,11	0,02	-0,03	0,13	-0,16	-0,02	-0,20	-0,19	0,14	-0,13	0,05	0,15	-0,13	1,00		
dur.	-0,06	-0,26	0,33	-0,06	0,35	-0,14	0,20	0,18	<b>-0,44</b>	<b>0,64</b>	-0,16	0,25	<b>0,48</b>	-0,15	0,14	1,00	
alcal.	-0,08	-0,01	<b>0,41</b>	-0,09	0,22	0,19	0,15	0,15	-0,08	<b>0,74</b>	0,04	<b>0,42</b>	0,08	0,01	-0,03	<b>0,63</b>	1,00

Os valores em destaque são significativos ao nível de 5 % de probabilidade. P: fósforo total; N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: nitrogênio amoniacal; N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>: nitrito; Na<sup>+</sup>: sódio; K<sup>+</sup>: potássio; Cl<sup>-</sup>: cloreto; DQO: Demanda Química de oxigênio; DBO: demanda biológica de oxigênio; CE: condutividade elétrica; OD: oxigênio dissolvido; TU: turbidez; ST: sólidos totais; dur.: dureza; alcal.: alcalinidade.

**Tabela 4:** Coeficientes de correlação linear de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre os teores totais de metais pesados e as características físico-químicas das amostras de água coletadas em novembro de 2012.

Parâmetro	Zn	Fe	Mn	Cu	Cd	Ni	Cr	P	Na <sup>+</sup>	pH	CE	OD	TU	ST	dur.	alcal
Zn	1,00															
Fe	-0,04	1,00														
Mn	0,23	<b>0,42</b>	1,00													
Cu	0,11	<b>0,43</b>	<b>0,66</b>	1,00												
Cd	-0,06	<b>0,44</b>	0,38	0,30	1,00											
Ni	0,07	-0,29	<b>-0,49</b>	-0,37	0,21	1,00										
Cr	0,14	0,06	-0,13	0,07	-0,33	-0,33	1,00									
P	0,04	0,27	0,30	<b>0,48</b>	<b>0,56</b>	0,05	-0,27	1,00								
Na <sup>+</sup>	<b>0,71</b>	-0,01	0,11	0,01	-0,13	0,11	-0,06	0,06	1,00							
pH	0,16	0,28	0,19	-0,16	0,30	0,08	-0,15	-0,16	0,04	1,00						
CE	0,10	0,08	0,11	-0,21	0,36	0,17	-0,14	0,26	0,24	<b>0,53</b>	1,00					
OD	-0,03	0,39	<b>0,43</b>	0,28	0,15	-0,33	-0,12	0,07	-0,02	-0,19	-0,35	1,00				
TU	-0,05	0,35	0,21	0,27	0,32	-0,14	-0,02	0,05	-0,03	-0,17	-0,16	<b>0,40</b>	1,00			
ST	0,27	0,32	0,22	0,07	<b>0,40</b>	0,02	-0,26	0,13	0,19	0,14	-0,14	0,31	<b>0,56</b>	1,00		
dur.	-0,16	-0,11	0,10	-0,07	-0,14	-0,27	-0,21	0,12	-0,20	-0,20	-0,29	0,28	0,37	0,31	1,00	
alcal.	0,30	0,27	<b>0,51</b>	0,23	<b>0,41</b>	0,10	0,00	-0,07	0,12	0,34	0,22	0,15	<b>0,44</b>	0,24	-0,16	1,00

Os valores em destaque são significativos ao nível de 5 % de probabilidade. P: fósforo total; N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>: nitrito; Na<sup>+</sup>: sódio; K<sup>+</sup>: potássio; Cl<sup>-</sup>: cloreto; DQO: Demanda Química de oxigênio; DBO: demanda biológica de oxigênio; CE: condutividade elétrica; OD: oxigênio dissolvido; TU: turbidez; ST: sólidos totais; dur.: dureza; alcal.: alcalinidade.

Na época chuvosa, as correlações mais significativas ocorreram entre oP e os metais Cr (0,52), Cu (0,48) e Cd (0,56), o que pode indicar uma interligação entre estes elementos no sistema aquático. Possivelmente isto se deva à presença destes elementos em fertilizantes fosfatados, como estudado por diversos autores (BIZZARRO, 2008; FADIGAS et al., 2010; MENDES et al., 2010).

As correlações existentes entre os elementos Fe e Mn, Fe e Cu, e Mn e Cu, nas duas épocas de coleta, indicam uma possível relação destes elementos com o material de origem dos solos da região e, conseqüentemente, sua liberação para a água. Kabata-Pendias (2011) relaciona que esses elementos geralmente estão presentes na mineralogia de minerais primários e secundários e durante o intemperismo mineral são liberados.

Apesar das poucas correlações significativas entre os teores de metais e as características físico-químicas da água, estas foram suficientes para promover a decomposição da matriz de correlação.

A matriz das cargas fatoriais rotacionadas dos teores de metais pesados e características físico-químicas da água está apresentada na Tabela 5. A análise fatorial (AF) promoveu redução no número de variáveis, das vinte e três inicialmente utilizadas. O melhor ajuste do modelo para a época chuvosa ocorreu com a inclusão dos metais pesados, P e pH. Já para a época seca (novembro) o melhor ajuste do modelo ocorreu com a inclusão metais pesados, exceto Fe e Cu, que durante a análise fatorial foi verificado que sua exclusão melhoraria o ajuste do modelo elevando o poder de explicação da variabilidade dos dados, P e pH.

**Tabela 5:** Matriz de cargas fatoriais após rotação ortogonal pelo Método Varimax para teores de metais pesados e características físico-químicas da água.

Variável	Fator						comunalidade
	1	2	3	4	5	6	
<b>Maió/2012</b>							
Zn	0,27	-0,20	0,19	-0,06	<b>0,82</b>		0,81
Fe	0,56	0,21	-0,19	0,14	<b>0,66</b>		0,85
Mn	<b>0,85</b>	0,01	0,24	0,20	0,06		0,82
Cu	<b>0,90</b>	-0,03	0,05	-0,04	0,19		0,85
Cd	0,20	0,05	<b>0,90</b>	0,12	-0,09		0,88
Ni	-0,11	0,23	-0,29	0,31	<b>0,67</b>		0,69
Cr	-0,13	<b>0,69</b>	0,57	0,09	0,26		0,90
P	0,07	<b>0,94</b>	-0,02	-0,10	-0,08		0,90
pH	0,10	-0,07	0,12	<b>0,95</b>	0,07		0,93
Autovalor acumulado	2,74	4,38	5,83	6,90	7,63		
% variância total	30,41	18,28	16,13	11,87	8,13		
% variância acumulada	30,41	48,69	64,82	76,69	84,82		
<b>Novembro/2012</b>							
Zn	0,02	0,03	<b>0,98</b>	0,11	0,08	-0,08	0,98
Mn	0,25	<b>0,84</b>	0,26	-0,13	0,13	0,21	0,91
Cd	<b>0,71</b>	0,03	-0,01	-0,40	0,35	0,23	0,84
Ni	0,11	<b>-0,88</b>	0,16	-0,10	0,09	0,31	0,92
Cr	-0,15	0,07	0,08	0,04	-0,07	<b>-0,97</b>	0,97
Pb	<b>0,95</b>	0,06	0,03	0,05	0,01	0,10	0,91
P	0,05	0,01	-0,11	<b>-0,96</b>	-0,08	0,03	0,95
pH	0,09	0,01	0,09	0,08	<b>0,97</b>	0,06	0,97
Autovalor acumulado	2,22	3,81	5,15	5,98	6,75	7,46	
% variância total	27,74	19,85	16,73	10,43	9,67	8,84	
% variância acumulada	27,74	47,59	64,32	74,75	84,42	93,26	

P: fósforo; Cargas fatoriais  $\geq 0,65$  são significativas.

Nas primeiras colunas temos as cargas fatoriais para cada variável dentro de cada fator. Foram consideradas significativas as cargas fatoriais superiores a 0,65, sendo que estas explicaram 84,82% e 93,26% da variância total dos dados, para a primeira e a segunda coleta, respectivamente (Tabela 5). Cargas fatoriais significativas e com sinais opostos indicam variação conjunta, porém em direção oposta.

Os autovalores indicam a importância relativa de cada fator na explicação da variância associada ao conjunto de atributos analisados extraído os fatores na ordem de sua importância.

Na última coluna temos o valor das comunalidades que indica o quanto da variância de cada atributo é explicado pelos fatores juntos. Verificam-se comunalidades elevadas, superiores a 0,69, para todas as características, demonstrando assim a forte relação com os fatores retidos.

Para a época chuvosa (Tabela 5), o primeiro fator explica 30,41% da variabilidade dos dados, estando associado aos metais Mn e Cu, indicando uma

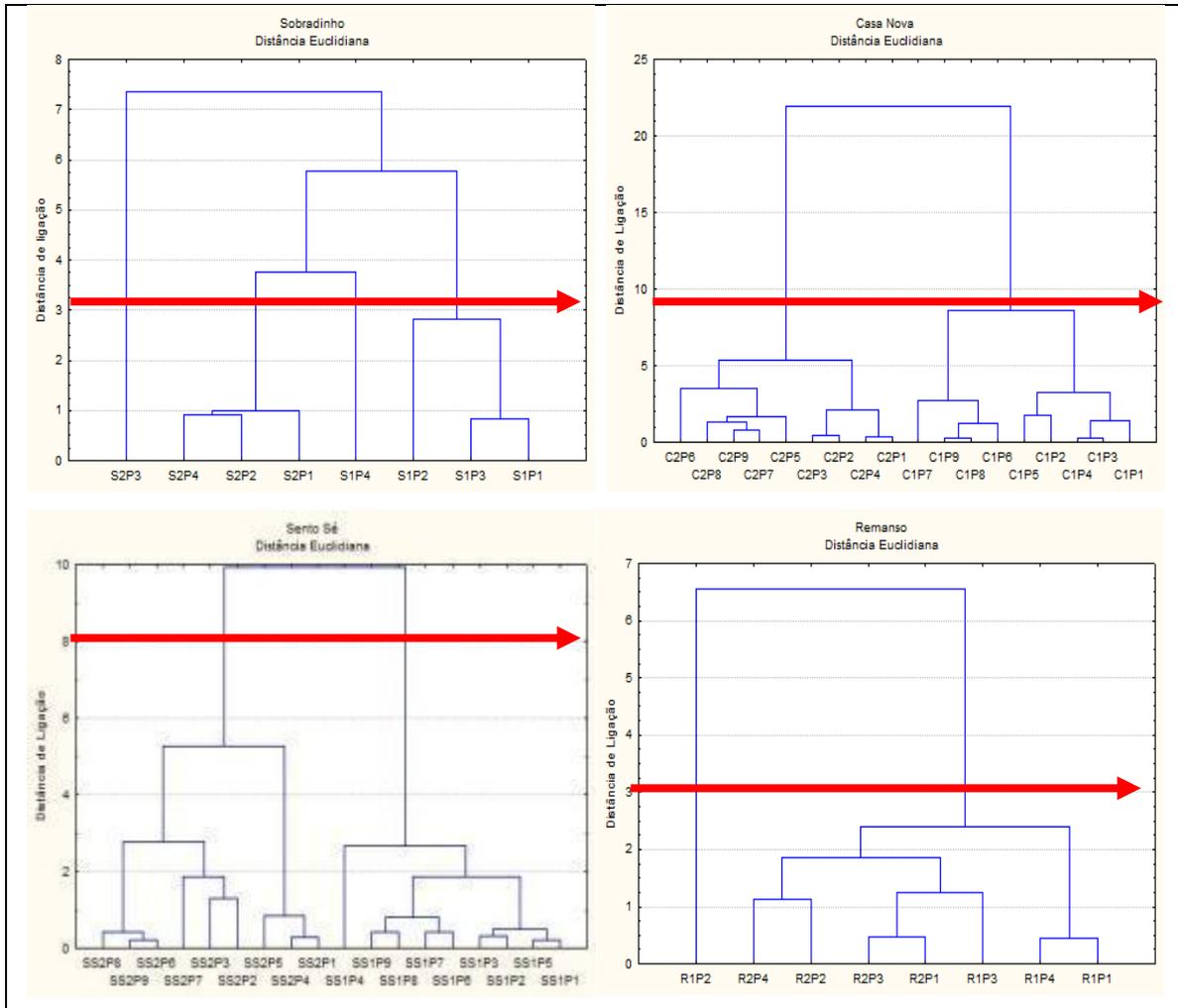
relação entre estas variáveis na água do Lago, que já havia sido evidenciado pela análise de correlação (Tabela 3 e 4), corroborando assim para a possível relação destes elementos com o material de origem. O segundo fator explica 18,28% da variabilidade e está associado às variáveis P e Cr, evidenciando que o teor de metais, principalmente do Cr, na água para esta época podem variar com o teor de P. Por ter a capacidade de formar compostos, o P é facilmente carregado pela chuva para lagos e rios, sendo justamente nessa etapa que podem ocorrer sérios danos ao meio ambiente (DANELON et al., 2012). A presença de teores elevados de P em água, em regiões agrícolas, pode estar associada, principalmente, aos fertilizantes fosfatados (BIZZARRO, 2008; FADIGAS et al., 2010; MENDES et al., 2010), , no entanto não é possível afirmar o quanto esta prática contribui para elevação dos teores de metais na água do Lago. O pH mesmo não apresentando correlação significativa (Tabela 3 e 4) com os teores de metais, apresentou-se como uma variável importante para o entendimento da variabilidade dos dados, por apresentar na análise fatorial comunalidade elevada (0,93) e por representar o quarto fator, pois de acordo Cruz e Regazzi (2001) variáveis com elevadas comunalidades na solução fatorial são muito expressivas. O pH contribui para a precipitação e redistribuição metais pesados na coluna de água (Marques et al., 2007; Kabata-Pendias, 2011) funcionando assim como uma variável importante conforme evidenciado na análise.

Na segunda época de coleta (menor cota), os 6 fatores extraídos explicaram mais de 90% (Tabela 5) da variabilidade dos dados. Verifica-se que a associação entre os fatores e as variáveis mudou em relação à época chuvosa, isto pode indicar interações dinâmicas entre as variáveis ao longo do tempo. A efetividade do pH como característica importante na explicação da variabilidade dos dados, nesta época, corrobora a hipótese de redistribuição dos metais do sedimento para a coluna de água.

Na busca por evidenciar as diferenças existentes entre as épocas avaliadas realizou-se a análise de agrupamento hierárquico (Figura 2) com base nos metais (Mn, Cd, Ni, Cr e Pb) que apresentaram teores acima do valor máximo permitido pela Resolução CONAMA 357/2005.

Para interpretação do dendograma, atribuiu-se o valor 8 para a distância de ligação nos municípios de Casa Nova e Sento Sé, e, 3 para a distância de ligação nos municípios de Sobradinho e Remanso (Figura 2). A delimitação feita no dendograma para distância de ligação foi estabelecida com base na análise visual

do mesmo, na qual se avaliou os pontos de alta mudança de nível, conforme sugere Cruz e Regazzi (2001).



**Figura 2:** Dendrograma de classificação por município, pelo método de Ward's e distância Euclidiana, das amostras de água das duas épocas.

A análise de agrupamento hierárquico foi capaz de formar grupos homogêneos para as amostras do município de Casa Nova e Sento Sé, separados por épocas de coleta. Para os municípios de Sobradinho e Remanso não foi possível a diferenciação por época, acredita-se que isto esteja associado ao uso de práticas agrícolas menos intensas nestes municípios quando comparados aos demais.

Os teores médios das variáveis formadoras dos grupos encontram-se descritos na Tabela 6 para cada um dos municípios.

**Tabela 6.** Descrição dos grupos formados e valores médios das variáveis formadoras dos grupos.

Grupo	Propriedade	Época	Mn	Cd	Ni	Cr	Pb
			mg/L				
<b>Sobradinho</b>							
1	P3	2	0,024	0,015	0,006	0,026	0,012
2	P1, P2 e P4	1 e 2	0,115	0,004	0,028	0,454	0,008
3	P1, P2 e P3	1	0,137	0,018	0,006	0,028	0,012
<b>Casa Nova</b>							
1	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9	2	0,147	0,004	0,037	0,218	0,042
2	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9	1	0,816	0,023	0,015	0,074	0,012
<b>Sento Sé</b>							
1	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9	2	0,137	0,003	0,025	0,330	0,030
2	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9	1	0,355	0,004	0,016	0,020	0,012
<b>Remanso</b>							
1	P2	1	0,176	0,036	0,003	0,127	0,012
2	P1, P2, P3 e P4	1 e 2	0,284	0,006	0,040	0,027	0,014

A influência sazonal foi determinante na definição dos agrupamentos, dos municípios de Casa Nova e Sento Sé, essa influência sazonal na qualidade das águas, quanto a teores de metais pesados, também foi constatada por Fontenele et al. (2011) e Sousa et al. (2013).

### Teores de metais pesados no sedimento

A estatística descritiva e o teste Kolmogorov-Smirnov para os teores totais de Zn, Fe, Mn, Cu, Cd, Ni, Cr e Pb encontrados no sedimento do lago de Sobradinho, em ambas as coletas, maio e novembro de 2012, são apresentadas na Tabela 7.

**Tabela 7:** Estatística descritiva e teste KS para os teores totais de metais pesados em amostras de sedimento, coletadas nos meses de maio e novembro de 2012.

Parâmetro	Zn		Fe		Mn		Cu		Cd		Ni		Cr		Pb	
	mg/kg															
<b>Sobradinho</b>																
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
<b>Média</b>	58,92	33,69	61730,16	17452,77	134,09	204,31	23,25	14,23	<b>6,05</b>	<b>1,60</b>	<b>39,42</b>	<b>33,06</b>	<b>85,37</b>	62,93	6,63	3,62
<b>Mediana</b>	63,96	39,21	63166,67	13981,09	122,19	209,25	21,79	14,18	<b>6,30</b>	0,63	<b>39,22</b>	<b>35,51</b>	<b>87,09</b>	66,56	5,95	3,67
<b>DP</b>	12,73	15,65	21857,62	10156,28	58,59	123,76	10,36	3,51	1,16	2,30	7,49	13,93	12,53	27,69	2,03	1,18
<b>CV (%)</b>	21,60	46,47	35,41	58,19	43,69	60,58	44,54	24,71	19,08	143,66	19,01	42,12	14,68	44,00	30,64	32,50
<b>Mínimo</b>	40,03	10,75	34580,92	9633,36	77,64	54,30	13,82	10,08	<b>4,44</b>	0,15	<b>32,28</b>	14,19	69,37	26,10	5,01	2,19
<b>Máximo</b>	67,72	45,58	86006,40	32215,55	214,35	344,44	35,6	18,47	<b>7,17</b>	<b>4,97</b>	<b>46,97</b>	<b>47,04</b>	<b>97,94</b>	<b>92,52</b>	9,60	4,98
<b>KS</b>	0,38*	0,34*	0,15*	0,32*	0,24*	0,15*	0,27*	0,15*	0,28*	0,33*	0,28*	0,23*	0,21*	0,24*	0,36*	0,14*
<b>Casa Nova</b>																
<b>Média</b>	25,28	95,56	37306,8	29063,07	148,41	149,96	18,26	17,4	<b>1,60</b>	0,33	28,76	<b>33,17</b>	66,71	51,68	4,72	7,57
<b>DP</b>	9,18	95,90	21787,03	13382,59	277,2	88,73	4,65	5,07	0,20	0,55	3,53	8,18	10,17	14,78	1,68	3,98
<b>CV (%)</b>	36,33	100,36	58,40	46,05	186,79	59,17	25,46	29,15	12,45	165,37	12,26	24,67	15,25	28,60	35,56	52,50
<b>Mínimo</b>	17,17	24,35	2840,02	12610,50	19,97	46,37	10,27	12,22	<b>1,31</b>	0,15	23,47	22,53	56,05	26,32	3,07	3,09
<b>Máximo</b>	39,42	279,50	59183,36	48193,82	880,44	314,30	23,54	26,97	<b>1,83</b>	<b>1,81</b>	<b>36,13</b>	<b>50,21</b>	<b>88,21</b>	74,06	8,54	14,17
<b>KS</b>	0,28*	0,32*	0,21*	0,26*	0,43*	0,16*	0,17*	0,21*	0,23*	0,52	0,18*	0,19*	0,27*	0,17*	0,24*	0,23*
<b>Sento Sé</b>																
<b>Média</b>	35,24	43,30	3462,76	22777,39	58,63	158,03	15,88	24,81	<b>1,45</b>	<b>2,83</b>	<b>31,04</b>	24,68	70,43	45,47	6,51	6,34
<b>DP</b>	15,54	25,85	2405,31	9888,30	27,82	75,86	6,91	11,59	0,40	1,46	6,86	5,59	11,38	10,00	2,45	2,74
<b>CV (%)</b>	44,11	59,70	69,46	43,41	47,45	48,01	43,51	46,74	27,71	51,76	22,11	22,63	16,15	22,00	37,60	43,16
<b>Mínimo</b>	11,14	25,50	965,47	6130,93	20,06	74,86	8,11	11,85	0,92	0,15	20,57	15,69	55,46	29,92	3,40	3,67
<b>Máximo</b>	55,09	107,69	7760,48	38097,82	99,06	310,39	30,99	53,50	<b>1,96</b>	<b>5,41</b>	<b>41,53</b>	<b>36,89</b>	<b>86,22</b>	62,97	9,68	11,24
<b>KS</b>	0,18*	0,28*	0,27*	0,15*	0,17*	0,18*	0,25*	0,39*	0,19*	0,15*	0,18*	0,26*	0,18*	0,17*	0,19*	0,25*
<b>Remanso</b>																
<b>Média</b>	33,5	54,19	7924,52	20217,58	71,65	163,26	18,06	12,79	<b>1,31</b>	<b>3,1</b>	<b>50,8</b>	27,48	<b>84,01</b>	48,89	7,07	5,44
<b>DP</b>	17,87	7,87	11327,29	8936,52	27,33	186,73	10,66	4,62	0,28	0,62	30,34	12,31	30,77	19,65	1,37	0,92
<b>CV (%)</b>	53,34	14,51	142,94	44,20	38,15	114,38	59,03	36,10	21,68	20,01	59,72	44,79	36,63	40,2	19,43	16,89
<b>Mínimo</b>	21,09	42,86	1409,55	9324,32	31,97	51,27	9,16	7,98	0,95	<b>2,45</b>	22,78	13,39	53,21	28,00	5,60	4,32
<b>Máximo</b>	59,35	60,99	24890,50	30729,09	94,50	441,29	32,61	19,03	<b>1,57</b>	<b>3,75</b>	<b>93,9</b>	<b>42,96</b>	<b>125,36</b>	73,53	8,60	6,27
<b>KS</b>	0,29*	0,34*	0,42*	0,16*	0,35*	0,38*	0,24*	0,26*	0,25*	0,24*	0,33*	0,18*	0,22*	0,18*	0,22*	0,27*
<b>420/09**</b>	<b>300</b>		-	-	<b>60</b>		<b>1,3</b>		<b>30</b>		<b>75</b>		<b>72</b>			

1: amostras de abril/maio; 2: amostras de novembro; \* distribuição normal pelo teste de Kolmogorov – Smirnov  $p(<0,05)$ . nd= Valor abaixo do limite de detecção do aparelho. Os valores em destaque excedem o limite legal. \*\* Resolução CONAMA

As variáveis Fe e Mn não possuem valor máximo permitido definido para a legislação brasileira. Os teores totais de Zn, Cu e Pb não excederam o valor máximo permitido (Tabela 7) pela resolução CONAMA 420/2009.

Os teores de Cu e Pb apresentaram os valores médios mais altos na época seca para os municípios de Casa Nova e Sento Sé. Indicando que podem existir mecanismos diferentes de redistribuição destes elementos, seja a agricultura praticada na região ou o próprio material de origem dos solos da região.

Assim como nas amostras de água, os teores médios de Cd nos sedimentos excederam o limite máximo permitido (Tabela 7) em todos os municípios na época chuvosa. Destaca-se o teor médio do município de Sobradinho que excedeu, em cerca de quatro vezes, o valor máximo permitido pela Resolução CONAMA 420/2009.

No município de Sobradinho, o teor de Ni apresentou valor médio acima do limite máximo permitido pela legislação e, no município de Remanso, apresentou, em pelo menos um ponto de coleta, o teor acima do limite legal para esta época de coleta.

Para o teor de Cr, na época chuvosa, pelo menos um ponto em cada município apresentou valor acima do permitido na Resolução CONAMA 420/2009, diferente do observado por Depiné et al. (2012) em uma bacia agrícola em Santa Catarina onde os teores médios não ultrapassaram 40 mg/kg. Já Baggio & Horn (2011) em investigação realizada no sedimento do Rio Formoso (MG), tributário do Rio São Francisco, encontraram teores de Cd e Cr que excederam o limite da Resolução que, segundo os pesquisadores, podem ter relação com a atividade agrícola da região. Segundo estes, os metais presentes nos agroquímicos usados podem ser transportados pelo ar e pela água de irrigação, depositando-se nos solos, quando são disponibilizados para a água superficial e para os sedimentos de corrente.

Dado o sedimento ser um compartimento capaz de acumular, transportar e liberar espécies contaminantes que se encontravam adsorvidas as partículas (CHABUKDHARA e NEMA 2012), os resultados indicam a necessidade de um plano de monitoramento com objetivo de melhor entendimento dessa dinâmica ao longo do tempo, pois a liberação, transporte ou acúmulo destes ocorre devido á alterações nas condições ambientais e físico-químicas, sendo variáveis para cada elemento.

Os valores dos coeficientes de correlação linear de Pearson entre os teores de metais pesados nas amostras de sedimento e as características físico-químicas da água, nas duas épocas de coleta, estão apresentados na tabela 8.

**Tabela 8:** Coeficientes de correlação linear simples de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre os teores de metais pesados nas amostras de sedimento e as características físico-químicas das amostras de água.

Parâmetros	Zn	Fe	Mn	Cu	Cd	Ni	Cr	Pb	P	Na	K	pH
<b>Maio/2012</b>												
Zn	1,00											
Fe	0,39	1,00										
Mn	0,22	0,37	1,00									
Cu	<b>0,57</b>	<b>0,44</b>	0,21	1,00								
Cd	<b>0,51</b>	<b>0,55</b>	0,03	0,18	1,00							
Ni	<b>0,44</b>	0,06	0,12	<b>0,39</b>	0,07	1,00						
Cr	0,33	0,07	-0,12	0,30	0,25	<b>0,82</b>	1,00					
Pb	<b>0,56</b>	-0,02	0,06	<b>0,48</b>	0,00	0,38	0,15	1,00				
P	-0,15	-0,03	0,05	0,23	-0,35	-0,06	-0,28	0,02	1,00			
Na	-0,24	-0,21	-0,06	-0,07	-0,11	-0,16	-0,17	-0,28	0,05	1,00		
K	-0,34	-0,39	-0,19	-0,17	-0,32	-0,25	-0,33	0,02	0,21	<b>0,70</b>	1,00	
pH	-0,37	-0,02	-0,14	-0,35	-0,16	-0,05	-0,07	-0,20	-0,11	0,02	0,00	1,00
<b>Novembro/2012</b>												
Zn	1,00											
Fe	0,15	1,00										
Mn	-0,03	<b>0,48</b>	1,00									
Cu	0,20	0,11	-0,06	1,00								
Cd	-0,24	0,01	-0,05	0,29	1,00							
Ni	0,34	-0,27	-0,16	-0,11	<b>-0,55</b>	1,00						
Cr	0,17	<b>-0,43</b>	-0,23	-0,18	<b>-0,39</b>	<b>0,92</b>	1,00					
Pb	0,05	<b>0,51</b>	0,03	0,26	0,01	-0,20	-0,33	1,00				
P	0,02	-0,11	-0,12	0,31	0,33	-0,11	-0,06	0,02	1,00			
Na	-0,20	0,18	<b>0,44</b>	-0,23	-0,20	0,06	-0,06	-0,02	-0,28	1,00		
K	-0,10	0,35	<b>0,63</b>	-0,25	-0,03	-0,07	-0,12	0,00	<b>-0,38</b>	<b>0,47</b>	1,00	
pH	0,05	0,02	0,17	-0,33	0,00	-0,18	-0,29	-0,17	0,05	0,02	0,17	1,00

Os valores em destaque são significativos ao nível de 5 % de probabilidade. P: fósforo;  $\text{NH}_4$ : nitrogênio amoniacal; Na: sódio; K: potássio.

Apesar das poucas correlações significativas observadas estas foram suficientes para promover a decomposição da matriz de correlação, devido estes dados apresentarem distribuição normal.

A matriz das cargas fatoriais rotacionadas dos teores de metais pesados nas amostras de sedimento e as características físico-químicas da água está apresentada na Tabela 9. A análise fatorial (AF) promoveu grande redução no número de variáveis, das vinte e três inicialmente utilizadas, o melhor ajuste do modelo ocorreu com a inclusão dos teores de metais pesados e de P e o pH.

**Tabela 9:** Matriz de cargas fatoriais após rotação ortogonal pelo Método Varimax dos teores de metais pesados nas amostras de sedimento e as características físico-químicas da água.

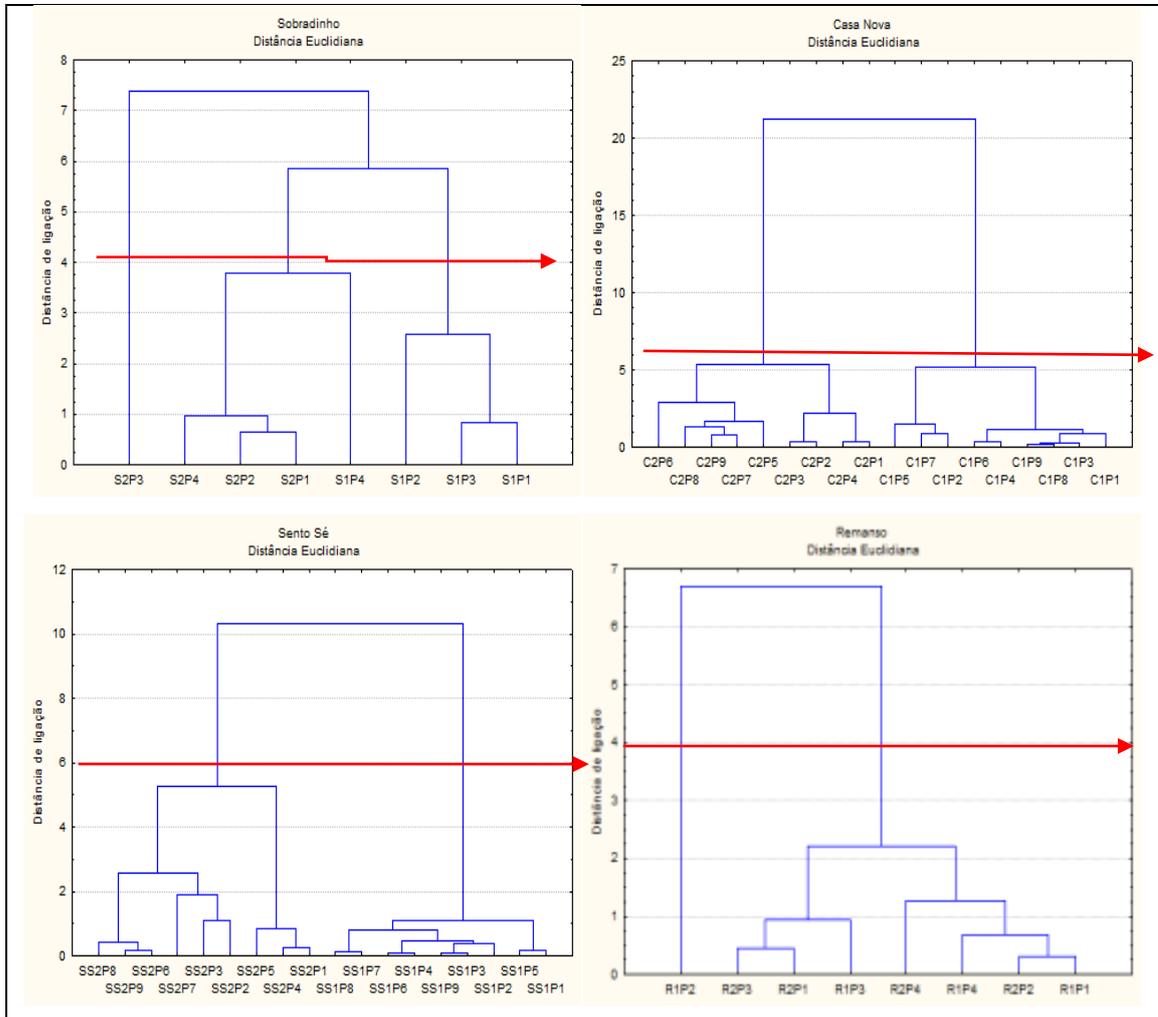
Variável	Fator						comunalidade
	1	2	3	4	5	6	
<b>maio/2012</b>							
Zn	0,32	0,26	-0,14	0,47	0,12	<b>0,65</b>	0,85
Fe	-0,10	0,02	0,13	<b>0,89</b>	0,30	0,02	0,90
Mn	0,07	-0,01	0,02	0,12	<b>0,98</b>	0,05	0,98
Cu	0,23	0,31	0,46	0,42	0,12	0,51	0,81
Cd	0,19	0,08	-0,39	<b>0,82</b>	-0,12	0,02	0,87
Ni	-0,02	<b>0,92</b>	0,03	-0,01	0,13	0,27	0,94
Cr	0,06	<b>0,95</b>	-0,15	0,12	-0,13	0,02	0,96
Pb	0,06	0,13	0,02	-0,07	0,01	<b>0,95</b>	0,94
P	0,07	-0,13	<b>0,92</b>	-0,11	0,01	-0,01	0,89
pH	<b>-0,97</b>	-0,02	-0,07	-0,04	-0,07	-0,12	0,98
<b>Auto valor acumulado</b>	3,24	4,88	6,46	7,50	8,33	9,12	
<b>% variância total</b>	32,44	16,41	15,80	10,39	8,28	7,90	
<b>% variância acumulada</b>	32,44	48,85	64,65	75,04	83,31	91,21	
<b>novembro/2012</b>							
Zn	0,15	-0,04	0,00	<b>0,99</b>			1,00
Mn	-0,10	0,02	<b>-0,96</b>	-0,01			0,94
Cd	<b>-0,78</b>	0,25	0,26	-0,10			0,75
Ni	<b>0,92</b>	0,15	0,13	0,22			0,93
Cr	<b>0,86</b>	0,32	0,24	0,06			0,90
Pb	-0,14	<b>-0,95</b>	0,03	0,04			0,93
<b>Auto valor acumulado</b>	2,50	3,67	4,66	5,44			
<b>% variância total</b>	41,73	19,39	16,55	12,94			
<b>% variância acumulada</b>	41,73	61,12	77,67	90,61			

P: fósforo; Cargas fatoriais  $\geq 0,65$  são significativas.

Para a época chuvosa, o primeiro fator explica 32,44% da variabilidade dos dados e está associado negativamente com o pH, indicando a retenção dos metais no sedimento com elevação do pH. De acordo com Campos (2010) o pH exerce forte influência na dinâmica destes elementos, sendo estes mais móveis em condições de pH baixo. Por outro lado, condições de pH  $>6$  aumentam a adsorção dos metais e, conforme salientam Wiesiniesk e Costa (2013), há possibilidade de formação de hidróxidos, favorecendo a sua imobilidade. O segundo fator (Tabela 9) evidencia a relação existente entre o Ni e Cr, verificada na análise de correlação (Tabela 8), e, possivelmente, relacionado ao material de origem ou aos fertilizantes que possuem estes elementos na formulação. O P destaca-se como componente do terceiro fator com poder de explicação de 15% reforçando a hipótese de ambos advirem da mesma fonte.

A análise fatorial para época seca evidencia a relação existente entre Cd, Cr e Ni, cujos teores excederam o limite máximo permitido pela legislação vigente (Tabela 7).

Os resultados da análise de agrupamento hierárquico podem ser observados na Figura 3.



**Figura 3:** Dendograma de classificação por município, pelo método de Ward's e distância Euclidiana, das amostras de sedimento para as duas épocas de coleta.

Para interpretação do dendograma, atribuindo-se o valor 6 para a distância de ligação das amostras dos municípios de Sento Sé e de Casa Nova e o valor 4 para a distância de ligação das amostras dos municípios de Sobradinho e de Remanso.

A análise de agrupamento hierárquico foi capaz de formar grupos separados por épocas para os municípios de Casa nova e de Sento Sé, já as amostras de Sobradinho e Remanso não seguiram este critério. A descrição destes grupos encontra-se no Tabela 10.

**Tabela 10.** Descrição dos grupos formados e valores médios das variáveis formadoras dos grupos.

Grupo	Propriedade	Época	mg kg <sup>-1</sup>		
			Cd	Ni	Cr
<b>Sobradinho</b>					
1	P3	2	0,15	38,54	71,1
2	P1, P2 e P4	1 e 2	3,1	29,38	60,31
3	P1, P2 e P3	1	6,02	41,8	86,49
<b>Casa Nova</b>					
1	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9	2	0,33	33,17	51,68
2	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9	1	1,57	26,76	78,15
<b>Sento Sé</b>					
1	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9	2	2,83	24,68	45,47
2	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9	1	1,45	31,04	70,43
<b>Remanso</b>					
1	P2	1	1,22	44,76	86,7
2	P1, P2, P3 e P4	1 e 2	2,35	38,34	63,56

Os grupos formados pelas amostras oriundas do município de Remanso e Sobradinho (Tabela 10) não apresentaram diferenciação por época. Isto pode estar relacionado com aptidão pecuária do município e sua pequena expressão agrícola.

Para os municípios de Casa Nova e de Sento Sé a análise mostrou a similaridade entre as amostras de mesma época presentes em um mesmo grupo e a diferenciação das épocas de coleta. A possibilidade de diferentes dinâmicas ao longo do tempo de liberação transporte ou acúmulo de sedimento torna-se mais evidente na formação de grupos, dados esses, mesmo podendo ser diferenciados por época apresentarem diferentes características em relação aos teores de metais.

## CONCLUSÃO

O compartimento água apresentou teores Mn, Cd, Cr e Ni, acima do limite permitido pela Resolução CONAMA 357/2005, em pelo menos, um dos pontos avaliados. A relação entre P e Cd, Cr e Ni evidenciadas pela análise de correlação e análise fatorial podem indicar que estes elementos tenham como fonte os fertilizantes fosfatados utilizados no manejo agrícola.

No compartimento sedimento, os teores de Cd, Ni e Cr ultrapassaram o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 420/2009 em pelo menos um ponto. O pH mostrou-se como uma variável importante na liberação e redistribuição do sedimento.

A variação sazonal dos teores de metais pesados na água e no sedimento foi verificada para os municípios de Casa Nova e de Sento Sé por meio da formação de grupos.

Sugere-se o monitoramento dos teores de metais nos dois compartimentos e a realização de mais estudos que possam constatar a relação entre os teores destes elementos e o manejo agrícola.

## REFERÊNCIAS

ALVES, R. I. S.; TONANI, K. A. A.; NIKAIDO, M.; CARDOSO, O. O.; TREVILATO, T. M. B.; SEGURA-MUÑOZ, S. I. **Avaliação das concentrações de metais pesados em águas superficiais e sedimentos do Corrégo Monte Alegre e efluentes, Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil.** Rev. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. v.5. n.6. 2010. p.122-132.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA - **STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER.** American public health association, 22<sup>o</sup> ed, 2012.

BAGGIO,H.; HORN, A. H. **Teores totais e distribuição dos metais pesados Cu, Cd, Cr, Ni, Pb e Zn nos sedimentos de corrente e fundo do rio do Formoso – MG.** Geografias. n.06. v. 1, p. 107-117. 2010.

BAGGIO,H.; HORN, A. H. **Fonte, distribuição e características geoquímicas dos sedimentos de corrente do rio do Formoso – MG.** Geoambiente on line. n.16. 2011.p. 53-65.

BIZZARRO, V. G.; MEURER, E. J.; TATSCH, F. R. P. **Teor e disponibilidade de cádmio em fertilizantes comercializados no Brasil.** Ciência Rural. v. 38. n. 2. 2008. p. 247-250.

BASSO, L. A.; MOREIRA, L. G. R. **Avaliação da concentração e carga de sólidos exportada pelo arroio do Salso, Porto Alegre-RS.** Anais do XVI Encontro Nacional de Geógrafos. 2010. p.1-11.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Diagnóstico do macrozoneamento ecológico-econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.** Brasília, DF, 2011. 488p.

BELLUTA, I.; COELHO, J. C.; SILVA, R. F. B.; CARVALHO, L. R.; SILVA, A. M. M.; VALENTE, J. P. S. **Investigação da poluição por metais tóxicos no Córrego do Cintra**. Irriga. v. 19. n. 2. 2014 . p. 225-244

CAMPOS, M.; SILVA, F. N.; FURTINI NETO, A. E.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; ANTUNES, A. S. **Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha**. Pesq. agropec. bras. v.40. n.4. 2005. p.361-367

CAMPOS, M. C. C. **Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais**. Ambiência. v.6 n.3. 2010.p.547 - 565.

CHABUKDHARA, M.; NEMA, A. K. **Assessment of heavy metal contamination in Hindon River sediments: A chemometric and geochemical approach**. Chemosphere. v. 87. 2012. p. 945–953.

COLETTI, C; TESTEZLAF, R.; RIBEIRO, T. A. P. ; SOUZA, R. T. G.; PEREIRA, D. A. **Water quality index using multivariate factorial analysis**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental. v.14. n.5. 2010. p.517–522.

CONERH, Conselho Estadual De Recursos Hídricos- BA. **RESOLUÇÃO Nº 80**. Altera a Resolução N°43, que institui a Divisão Hidrográfica Estadual em Regiões de Planejamento e Gestão das Águas. 2011.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução do nº 357 de 17/03/05**. Brasília: Brasil. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 20/07/13.

\_\_\_\_\_. **Resolução do nº 420 de 28/12/09**. Brasília: Brasil. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>> Acesso em: 20/07/13.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, UFV, 2001. 390p.

CUNHA, T. J. F.; SILVA, F. H. B. B.; SILVA, M. S. L.; PETRERE, V. G.; SÁ, I. B.; OLIVEIRA NETO, M. B.; CAVALCANTI, A. C.. **Solos do Submédio do Vale do São Francisco : potencialidades e limitações para uso agrícola**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2008. (Embrapa Semiárido. Documentos, 211). 60p.

DANELON, J. R. B.; LUZ NETTO, F. M.; RODRIGUES, S. C. **Análise do nível de fósforo total, nitrogênio amoniacal e cloretos nas águas do córrego Terra Branca no município de Uberlândia (MG)**. Revista Geonorte, Ed. Esp. v.1. n.4. 2012. p.412 – 421.

DEPINÉ, H.; KAUFMANN, V.; PINHEIRO, P.; SILVA, M. R.; GONÇALVES JR, A. C.; GOMÊS, G. D. **Nutrientes e metais em sedimentos depositados no rio de uma bacia agrícola no estado de Santa Catarina**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 17. n.4. 2012. p. 229-237.

FADIGAS, F. S; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; ANJOS, L. H. C.; MAZUR, N. **Background levels of some trace elements in weathered soils from the Brazilian Northern region**. Sci. Agric. v.67. n.1. 2010. p.53-59.

FREITAS, E. V. S.; NASCIMENTO, C. W. A.; GOULART. D. F.; SILVA, J. P. S. **Disponibilidade de cádmio e chumbo para milho em solo adubado com fertilizantes fosfatados**. Revista Brasileira de Ciência Solo, v.33. 2009. p.1899-1907.

FIORUCCI, A. R.; BENEDETTI FILHO, E. **A importância do Oxigênio dissolvido em sistemas aquáticos**. Química Nova Na Escola. n. 22. 2005 . p 10-16.

FONTENELE, S. B. et al.. **Análise espaço-temporal da qualidade da água na parte alta da bacia do Rio Salgado, Ceará**. Revista Caatinga. v. 24, n. 3. 2011. p. 102-109.

GAO, X.; LI, P. **Concentration and fractionation of trace metals in surface sediments of intertidal Bohai Bay, China**. Marine Pollution Bulletin v.64. 2012. p.1529–1536.

GUEDES, J. A.; LIMA, R. F. S.; SOUZA, J.C. **Metais pesados em água do rio Jundiá - Macaíba/RN**. Revista de Geologia. v. 18. n.2. 2005. p.131-142.

HAIR Jr., J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. **Análise Multivariada de Dados**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HIROAKI, I.; MOTOKI IWASAKI, M.; SAWADA, N.; TAKACHI, R.; KASUGA, Y.; YOKOYAMA, S.; ONUMA, H.; NISHIMURA, H.; KUSAMA, R.; YOKOYAMA, K.; TSUGANE, S. **Dietary cadmium intake and breast cancer risk in Japanese women: a case-control study**. International Journal of Hygiene and Environmental Health, v.217. n.1. 2014 p. 70-77.

HO, R. **Handbook of Univariate and Multivariate Data Analysis and Interpretation with SPSS**. Boca Raton: Chapman e Hall, 2006.

HOODA, P. S. [Org.] **Trace elements in soils**. 1. ed. Wiley. 2010. 618p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção Agrícola Municipal – PAM**. 2012. <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=29&search=bahia>>. Disponível em: < Acesso em: jan. 2014.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS/BA – INEMA. **Mapa da região de planejamento e gestão de águas XIX- Lago de Sobradinho**. 2013. Disponível em: [www.inema.ba.gov.br/download/125](http://www.inema.ba.gov.br/download/125). Acesso em: 30 de mar. 2013.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; RIBEIRO, M. R.; MONTENEGRO, J. O.; BURGOS, N.; MELO FILHO, H. F. R.; FORMIGA, R. A. **Levantamento exploratório: reconhecimento de solos da margem esquerda do rio São Francisco, Estado da Bahia**. Recife: SUDENE-DRN, 1976. v.1, 404 p.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4.ed. Boca Raton: CRC, 2011. 534 p.

LIMA, A. M.; SANTOS, F. F. **Análise das Propriedades Físico-Químicas e de Metais potencialmente Tóxicos na Água do Rio Claro, Próximo a Cidade de Jataí – GO**. Revista Ciências Exatas e Naturais. v.14. n. 2. 2012. p. 239-255.

MARQUES, M. N.; COTRIM, M. B.; PIRES, M. A. F.; BELTRAME FILHO, O. **Avaliação do impacto da agricultura em áreas de proteção ambiental, pertencentes à bacia hidrográfica do Rio Ribeira de Iguape, São Paulo**. Quim. Nova, v.30. n.5. 2007. p.1171-1178.

MENDES, A. M. S.; OLSZEWSKI, N.; SILVA, F. N.; MENDES, R. L.; BRITO, L. T. L. **Impactos ambientais causados pelo uso de fertilizantes agrícolas**. In: BRITO, L. T. de L.; MELO, R. F. de; GIONGO, V. (Ed.). Impactos ambientais causados pela agricultura no Semiárido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. cap. 3, p. 55-99.

OLIVEIRA, R. C. B.; MARINS, R. V. **Dinâmica de Metais-Traço em Solo e Ambiente Sedimentar Estuarino como um Fator Determinante no Aporte**

**desses Contaminantes para o Ambiente Aquático: Revisão.** Revista Virtual Química. vol 3. 2011. p.88-102.

PAYE, H. S.; MELLO, J. W. V.; MELO, S. B. **Métodos de análise multivariada no estabelecimento de valores de referência de qualidade para elementos-traço em solos.** R. Bras. Ci. Solo. v.36. 2012. p.1031-1041.

PESTANA, M.H.; GAGEIRO, J.N. **Análise de Dados para Ciências Sociais: A complementaridade do SPSS.** 4.ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2005.

PRASAD, M. N. V. **Trace Elements as Contaminants and Nutrients: Consequences in Ecosystems and Human Health.** ed. Wiley. 2008. 790 p.

RIBEIRO, E. V.; MAGALHÃES JUNIOR, A. P.; HORN, A. H.; TRINDADE, W. M. **Metais pesados e qualidade da água do Rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora - MG: índice de contaminação.** Geonomos. v.20. n.1. 2012. p.49-63.

RIBEIRO, A. P.; FIGUEIREDO, A. M.; SANTOS, J. O.; DANTAS, E.; COTRIM, M. E.; FIGUEIRA, R. C.; SILVA FILHO, E. V.; WASSERMAN, J. C. **Combined SEM/AVS and attenuation of concentration models for the assessment of bioavailability and mobility of metals in sediments of Sepetiba Bay (SE Brazil).** Marine Pollution Bulletin v.68. 2013. p.55–63.

ROCHA, D. S.; CUNHA, B. C. A.; GERALDES, M. C.; PEREIRA, S. D.; ALMEIDA, A. C. M. **Metais pesados em sedimentos da baía de Sepetiba, RJ: implicações sobre fontes e dinâmica da distribuição pelas correntes de maré.** Geochimica Brasiliensis. v.24. n.2. 2010. p.63-70.

SABIHA-JAVIED; MEHMOOD, T.; CHAUDHRY, M.M.; TUFAIL, M.; IRFAN, N. **Heavy metal pollution from phosphate rock used for the production of fertilizer in Pakistan.** Microchemical Journal. n.91. 2009. p.94–99.

SANTOS, M. L.; COELHO, E. L.; COELHO, A. R. **Ocorrência de metais pesados no curso inferior do rio Ivaí, em decorrência do uso do solo em sua bacia hidrográfica.** Acta Science Technologic. v. 30. n. 1. 2008. p. 99-107.

SILVA, P. C. G.; MOURA, M. S. B.; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; SA, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES FILHO, C. **Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos.**

In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. (Editores Técnicos). Semiárido Brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 17-48.

SOLLITTO, D.; ROMIC, M.; CASTRIGNANÒ, A.; DAVOR ROMIC, D.; BAKIC, H. **Assessing heavy metal contamination in soils of the Zagreb region (Northwest Croatia) using multivariate geostatistics**. Catena. v.80. 2010. p.182–194.

SOUZA, A.; FONTENELE, S. B.; OLIVEIRA, A. P. G.; LASTORIA, G.; DIAS, C. **Similaridade da qualidade das águas superficiais da bacia do Rio Negro, MS**. Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas. v. 35 n. 2 . 2013. p. 176-189.

STATSOFT. **Statistica for Windows – computer program manual**. Tulsa, UK: StatSoft, 1995.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY- USEPA. **acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils**. p. 1-12. 2007.

VAZ, C. B. N.; SCHEER, M. A. P. S.;LIMA, U. D. S. **Caracterização geoambiental, análise integrada e avaliação dos impactos ambientais no território de identidade do sertão do São Francisco (BA)**. Anais XVI Encontro Nacional de Geógrafos. 2010. p.12-19.

WIESINIESK, J. A.; COSTA, W. **Características dos sedimentos das lagoas de estabilização do aterro controlado do Botuquara, Ponta Grossa, PR, que levam a retenção de metais**. Rev. Gaia Scientia. v. 7, n. 1. 2013. p. 1-8.

## 5. CONCLUSÃO GERAL

As amostras de solo, água e sedimentos apresentaram teores de metais pesados que ultrapassaram os limites estabelecidos em suas legislações específicas.

No solo, os teores máximos de Ni, Cu, Pb, Cr e Cd ultrapassaram o limite estabelecido na resolução CONAMA 420/2009, em pelo menos um ponto e em todas as camadas. Diferenças entre os teores de metais na caatinga e na área agrícola foram observadas, indicando a possível influencia do uso nos teores no solo, no entanto não foi possível afirmar o quanto o uso e a adição de fertilizantes contribui para elevação destes teores, mas sua contribuição não deve ser descartada. M.O., SB e CTC mostraram-se importantes para explicar o teor e a distribuição dos metais pesados nas camadas.

Na água, teores de Mn, Cd, Cr e Ni, acima do limite permitido pela Resolução CONAMA 357/2005, em pelo menos, um dos pontos avaliados foram encontrados. A relação entre P e Cd, Cr e Ni evidenciadas pela análise de correlação e análise fatorial podem indicar que estes elementos tenham como fonte os fertilizantes fosfatados utilizados no manejo agrícola.

No sedimento, teores de Cd, Ni e Cr ultrapassaram o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 420/2009 em pelo menos um ponto. O pH mostrou-se como uma variável importante na liberação e redistribuição do sedimento.

A variação sazonal dos teores de metais pesados na água e no sedimento foi verificada para os municípios de Casa Nova e Sento Sé através da formação de grupos.

Dado que as análises nos três compartimentos apontaram a existência de fontes de contaminação dos elementos avaliados na região, que pode estar relacionada a agroquímicos e fertilizantes como fonte de contaminação, sugere cautela no uso destas fontes bem como na utilização destes recursos pela população e o monitoramento dos três compartimentos ao longo do tempo a fim de mitigar os possíveis danos ambientais.