

Caracterização de metais pesados das águas superficiais da bacia do Rio Subaé (Bahia)

Leila Thaise Santana de Oliveira Santos^{1*}

Taise Bomfim de Jesus¹

¹Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente – Feira de Santana (BA), Brasil.

*Autor correspondente: leilathaise@yahoo.com.br

Resumo

Devido à localização estratégica em relação às rodovias federais e estaduais e aos incentivos fiscais, o município de Feira de Santana, na Bahia, sempre atraiu indústrias, tornando-se importante polo industrial. Instalado na região de nascente até a foz da bacia do rio Subaé, ele conta com um ramo diversificado de indústrias (alimentícias, agroindustriais, celulose, ração, metalúrgicas, entre outras), além do adensamento populacional no entorno dessas instalações, e de pequenas e médias propriedades rurais. A presente pesquisa quantificou os metais pesados totais: Cd, Cr, Cu, Ni, Mn, Pb e Zn nas águas superficiais ao longo do curso do rio Subaé em período de estiagem e analisou a correlação das concentrações encontradas de cada metal pesado com os parâmetros físico-químicos da água. Foram realizadas 3 amostragens em 13 Pontos de monitoramento, definidos em função do uso e ocupação do solo. Os resultados indicam o comprometimento da qualidade da água do rio Subaé — particularmente no alto curso, área urbana de Feira de Santana — principalmente pelas altas concentrações de Cu, Mn, Pb e Zn, oriundas provavelmente de atividades industriais, as quais se apresentam acima dos limites estabelecidos pelas resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente 357/05 (Classe 2), que trata das águas superficiais.

Palavras-chave: qualidade de água, rio Subaé, metais pesados.

Abstract

Due to its strategic location in relation to federal and state highways, and tax incentives, the city of Feira de Santana, in Bahia, attracted industries making it important industrial center. This pole is installed in the region of the source to the mouth of the river basin and Subaé has a diversified industrial sector (food, agribusiness, pulp, food, metallurgical and others), beyond the population density around these facilities and small and medium farms. This research quantified the total heavy metals: Cd, Cr, Cu, Ni, Mn, Pb and Zn in surface over the course of Subaé river water in times of drought and analyzed the correlation of concentrations found for each metal with parameters physico-chemical water. Carried out three surveys in thirteen monitoring points, defined in terms of the use and occupation of the river basin Subaé. The results indicate the impairment of water quality of the river Subaé mainly in the upper course, the urban area of Feira de Santana, mainly by high concentrations of Cu, Mn, Pb and Zn originated probably from industrial activities, above the limits established by National Environmental Council, resolution 357/05 (Class 2), which deals with surface water.

Keywords: quality of water, river Subaé, heavy metals.

1. INTRODUÇÃO

Os rios brasileiros vêm sendo depositários de uma diversidade de subprodutos provenientes da atividade antrópica. A presença de elementos potencialmente tóxicos é responsável por efeitos adversos sobre o ambiente, repercutindo na economia e na saúde pública. A introdução de metais pesados nos sistemas aquáticos ocorre naturalmente através de processos geoquímicos, como intemperismo de solos e rochas, por meio de fontes antropogênicas, a exemplo de efluentes domésticos e industriais — reflexos principalmente do crescimento desenfreado de polos urbanos (Yabe & Oliveira 1998, Ebrahimpour & Mushrifah 2008) —, e de precipitação em áreas com poluição atmosférica (Pereira *et al.* 2006).

De acordo com Siegel (2002) e Tuna *et al.* (2006), metais pesados são contaminantes ambientais estáveis e persistentes, uma vez que não podem ser degradados e, a depender das características físicas e químicas do ambiente aquático, reagem, se dispersam ou são mobilizados e depositados nos sedimentos, constituindo um perigo potencial pelas características de biodisponibilidade que podem adquirir.

Conforme Rios-Arana *et al.* (2004), diversos pesquisadores têm voltado o seu interesse para a quantificação de poluição por metais pesados em bacias hidrográficas, associando dados sobre o impacto ambiental e suas complexas relações com as atividades econômicas, ao determinar os níveis de metais pesados e identificar possíveis fontes de poluição, bem como ao atribuir tendências nas mudanças de comportamento na estruturação industrial e na implementação de tecnologias de controle da poluição, haja vista que a distribuição desses constituintes na coluna de água é influenciada por fenômenos físico-químicos como complexação, adsorção, dessorção, precipitação e redissolução (Stumm & Morgan 1996), pois dependendo das condições do ambiente (pH, Eh e teor de matéria orgânica) podem estar disponíveis se associados ao material particulado e, ainda, serem transportados para outros ambientes (Pinto *et al.* 2009).

Na bacia do rio Subaé, os impactos ambientais tornam-se cada vez mais preocupantes. Lima (2009), após realizar pesquisas sobre a qualidade da água do aquífero subterrâneo do entorno do Centro Industrial Subaé (CIS), em Feira de Santana (região das nascentes do rio Subaé), na Bahia, detectou metais pesados, como o cádmio (Cd), em concentrações acima do permitido pela legislação vigente. O CIS foi implantado em 14 de dezembro de 1969, ocasionando expansão dos complexos industriais, paralelo ao crescimento urbano. Porém, a partir de 1980, os desdobramentos de suas atividades industriais ficaram mais perceptíveis no ambiente, sendo os intensos impactos ambientais um dos principais motivos atribuídos à poluição de parte da bacia do Subaé (Vargas 2008).

Estudos realizados por Cruz (2012) e Silva (2012), tendo como foco as águas e o sedimento das nascentes

do rio Subaé apresentaram contaminação pelos metais pesados — cromo (Cr), zinco (Zn), manganês (Mn), níquel (Ni), Cd, cobre (Cu) e chumbo (Pb). Já as altas concentrações de Cu e Pb, detectadas acima do valor máximo para consumo humano em peixes coletados em lagoas que formam as nascentes do rio Subaé foram apresentadas por Nunes (2012), e a contaminação por Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em peixes coletados no médio curso do rio Subaé foi o resultado encontrado por Araújo (2012).

Pesquisas na região do alto da bacia do rio Subaé avaliaram parâmetros físico-químicos e biológicos e constataram que todos os analisados apresentaram valores acima do estabelecido pela legislação ambiental, comprometendo a qualidade de água das nascentes, não estando de acordo com a legislação brasileira que determina a qualidade dos recursos hídricos de nascentes de bacias hidrográficas (Adorno *et al.* 2013). O médio e baixo cursos da bacia também contam com um histórico de contaminação originado da antiga Fábrica Plumbum Mineradora e Metalurgia Ltda (antiga Cobrac), instalada a 300 metros do leito do rio Subaé, a qual contribuiu com o enriquecimento de Pb enquanto estava em atividade (1956-1994). As escórias resultantes deste processo foram depositadas de maneira inadequada: a céu aberto e sem tratamento prévio. Mesmo depois de desativada, suas escórias continuam presentes na região, seja como asfalto — na cidade de Santo Amaro da Purificação —, seja como entulhos, no terreno da fábrica. Além disso, rejeitos foram depositados no vale do médio curso do rio Subaé sem as devidas medidas de proteção e disposições legais, sobre “Instalações de Estocagem e Disposição de Resíduos Perigosos”, contidas na Legislação Básica do Meio Ambiente do Estado da Bahia (Guimarães *et al.* 2009).

Este contexto conduziu à avaliação da qualidade das águas superficiais ao longo do curso do rio Subaé quanto à quantificação das concentrações de metais pesados totais (Cd, Cr, Cu, Ni, Mn, Pb e Zn), os comparando com os valores limites estabelecidos pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) 357/05 (Brasil 2005) e correlacionando aos parâmetros físico-químicos: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), fosfato total (FT), nitrato, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e sólidos totais (ST), dando suporte à estruturação da vigilância e do controle da qualidade da água e dos riscos da sua contaminação até seus efeitos na saúde da população.

A obtenção de dados, quanto ao impacto dos efluentes e concentração dos metais pesados nos principais corpos hídricos da bacia do rio Subaé, consiste numa ferramenta primordial para o futuro da qualidade dos recursos hídricos do município de Feira de Santana, localizado no polígono da seca, e de toda região da bacia.

2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Subaé (Figura 1) está inserida em um clima tropical chuvoso, com curta estação seca. As isotermas anuais variam de 24 a 25°C, e os índices pluviométricos são elevados, variando de 1.000 mm/ano, na porção superior, a 1.800 mm/ano na parte inferior. O período chuvoso inclui os meses de abril a julho (Bahia 1995).

Conforme a Resolução Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CONERH) n° 43/09, a bacia do rio Subaé insere-se na Região de Planejamento e Gestão das Águas (RPGA) do Recôncavo Norte. Sua nascente está localizada em Feira de

Santana (BA) e a sua foz desemboca na Baía de Todos os Santos, compreendendo os municípios de Santo Amaro da Purificação e São Francisco do Conde, com uma população total de aproximadamente 680.000 habitantes (IBGE 2001). A área de drenagem é de 655 km², com extensão total do curso d'água de 55 km. Os principais afluentes na margem direita são rios Sergi, Sergi Mirim, Pitanga ou Pitinga, rio da Serra e Piraúna (afluente do Sergi); e na margem esquerda, Subaezinho, Traripe, rio do Macaco (afluente do Traripe) e Canto do Muro (INGÁ 2011).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

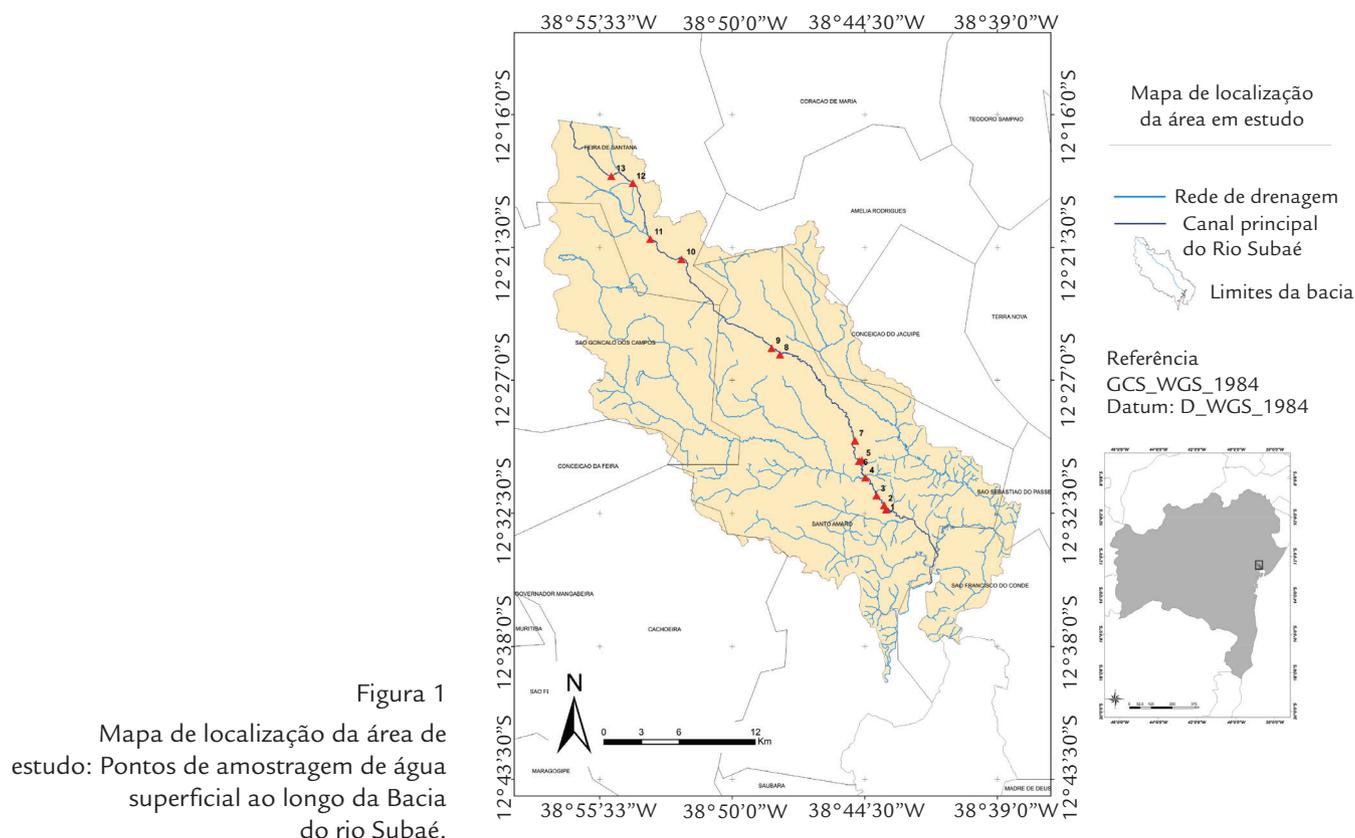
Para caracterização da qualidade da água foram escolhidos 13 Pontos de monitoramento ao longo do curso do rio Subaé (Figura 1), definidos em função do uso e ocupação do solo da referida bacia e das condições de acessibilidade ao local. Realizaram-se três campanhas de amostragens durante os meses de dezembro de 2011, abril e novembro de 2012, visto que essa periodicidade é utilizada comumente em estratégias de monitoramento de qualidade de água comparadas aos objetivos propostos nesta pesquisa (Farias *et al.* 2006, Pio 2004, Pelli 2001).

Os meses em que foram realizadas as amostragens de água (Figura 2) foram caracterizados pela baixa pluviosidade, variando de 58 mm, em dezembro de 2011 (1ª amostragem), a 40 mm, em abril de 2012 (2ª amostragem), e

15 mm, em novembro de 2012 (3ª amostragem), com base na pluviosidade da região da bacia do rio Subaé nos anos de 2011 e 2012, fornecida pela Estação Climatológica n° 83.221, localizada na Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). A amostragem seguiu as recomendações de preservação e transporte de American Public Health Association (APHA) (2005).

Inicialmente, este estudo teve como objetivo observar também a existência de diferenças nas análises físico-química e microbiológica nas estações chuvosa e seca, mas como 2012 não seguiu o padrão do ano anterior em relação à precipitação, essa comparação foi abolida.

As amostras de águas superficiais foram armazenadas em garrafas de vidro âmbar de 1 L de capacidade, contendo



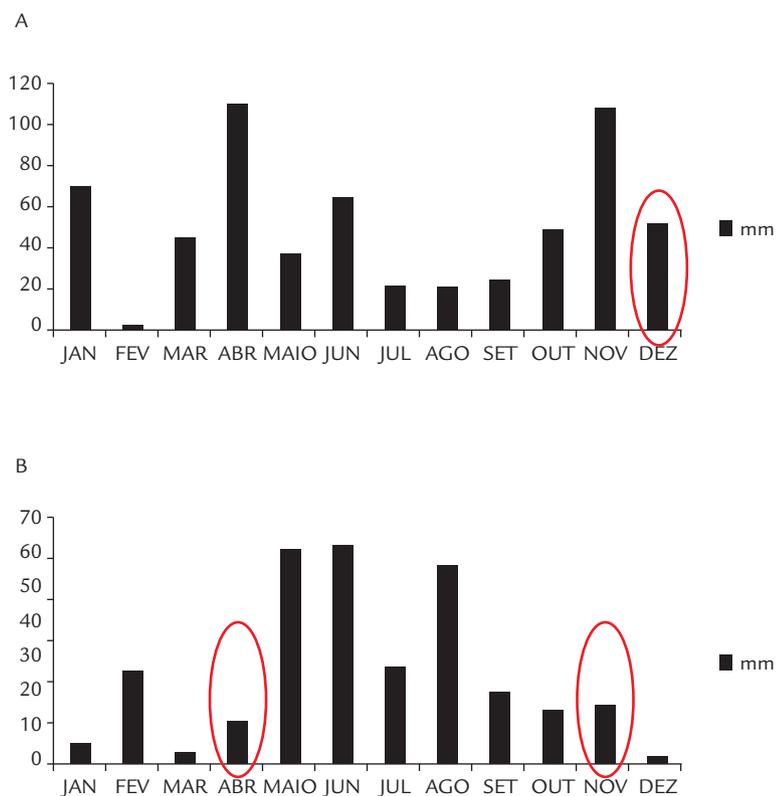


Figura 2

Precipitação da bacia do rio Subaé nos anos de 2011 (A) e 2012 (B), com destaque para os meses de coleta de água superficial do rio Subaé.

Fonte: Estação Climatológica n° 83.221, UEFS.

5 mL de ácido nítrico (65%). Foram retirados 125 mL de cada amostra, em triplicata, e adicionados 2 mL de ácido clorídrico (50%) e 0,5 mL de ácido nítrico (50%) na placa de aquecimento até atingir 25 mL. Após a concentração, as amostras foram filtradas em Membrana de Fibra de Vidro (GFC) de 0,47 μm e a partir da fração 1/4 foram quantificadas as concentrações dos metais totais (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb e Zn) em espectrômetro de absorção atômica de chama (FAAS) da marca Avanta-GBC modelo HG-3000.

Em cada amostragem foi realizada a análise dos parâmetros físico-químicos pH, CE, turbidez, temperatura, OD, FT, nitrato, DBO), e ST a fim de relacioná-los com as possíveis concentrações dos metais analisados nesta pesquisa. Os equipamentos portáteis utilizados nas análises *in situ* da qualidade de água foram: para o pH, o pH Metro Digital Portátil, marca Hanna modelo ML-1010, calibrado com soluções tampões de pH 4,0; 7,0 e 11,0 antes de realizar a leitura das amostras; a turbidez foi determinada pelo Turbidímetro Portátil (Hanna, modelo HI-93703); a CE foi medida por meio do condutivímetro Conductivity Meters Portátil (Hanna, modelo HI-8733); e o OD e a temperatura pelo Medidor de Oxigênio Dissolvido (Lutron, modelo DO-5519).

Utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson, com

nível de significância $p < 0,05$, por meio do programa estatístico Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis (PAST) — versão 2.17c (Hammer *et al.* 2000), entre os metais analisados na água superficial e os parâmetros físico-químicos.

Após o procedimento, foram coletadas amostras para análises químicas, todas devidamente preservadas em gelo a temperaturas de 2 a 4°C até chegarem ao laboratório Labotec-UEFS, garantindo, assim, a preservação de seus constituintes e de suas propriedades para análise de nitrato, FT, DBO e ST. Para as análises de ST, fosfato, nitrato e DBO, as amostras foram coletadas em frasco de teflon com capacidade para 2 L. A análise de ST foi realizada conforme o Método gravimétrico – Norma Brasileira (NBR) 10664/1989. O FT foi realizado segundo o Método Fosfato-Ácido ascórbico-reagente combinado e, em seguida, houve a leitura, feita no Espectrofotômetro (FEMTO, modelo 700 Plus). A análise de nitrato foi realizada segundo Método Nitrato — *Reagent Nitrover 5 for 25 mL sample* pelo Colorímetro Test Kit Hatch Nitrat e Reagent; e a análise do DBO, conforme o Método Respirométrico, na estufa de marca Oxitop Box modelo WTM. Após 5 dias de incubação, a 20°C, deu-se início à leitura.

4. RESULTADOS

Os resultados foram analisados com base na resolução CONAMA 357/05 (Brasil 2005) para águas doces de Classe 2, condizentes com o enquadramento proposto para o manancial. As concentrações dos metais e dados físico-químicos nas amostras de água nos 13 Pontos de monitoramento estão representadas nas Tabelas 1 a 3, que apresentam as três campanhas de amostragens, respectivamente.

Os valores dos metais pesados em cada campanha de amostragem foram analisados em triplicata; portanto, os valores que constam nas tabelas representam a média aritmética da triplicata para cada coleta. Os metais pesados, Cd e o Cr, não foram detectados em nenhum dos Pontos analisados durante as três amostragens; por isso, não estão presentes nas Tabelas 1 a 3. No entanto, isso não implica que estes elementos não estejam presentes nas amostras, mas que suas concentrações estão abaixo do limite de detecção do equipamento, que foi 0,009 mg/L para o Cd e de 0,005 mg/L para o Cr. Também não foi detectado nitrato em nenhuma campanha e em nenhum dos Pontos de amostragens.

Os valores de temperatura não apresentaram grandes oscilações, sendo a mínima 23,2°C (Pontos 1 e 2, 2ª campanha) e a máxima 30,8°C (Ponto 11, 2ª campanha). O Ponto 13 na 1ª campanha e os Pontos 9, 11, 12 e 13 na 3ª campanha apresentaram concentrações de O₂ dissolvido em desacordo

com o padrão de água da legislação vigente (>5,0 mg/L). Os valores de pH das águas variaram entre 7,06 e 8,82 ao longo do período de amostragem e, portanto, dentro do intervalo 6,0–9,0 preconizado pela CONAMA 357/2005 (Brasil 2005).

O ST variou de 14,0 e a 520,1 mg/L, sendo os maiores valores verificados na 3ª campanha, realizada em período no qual o índice pluviométrico foi de apenas 15 mm, quando os rios registram menores volumes de água para diluição da carga de efluentes. As concentrações de fosfato total são alarmantes, principalmente na 3ª campanha, cuja concentração variou de 0,6 mg/L PO₄ (Ponto 3) a 58,0 mg/L PO₄ (Pontos 10, 11 e 12). Porém, esses mesmos Pontos de amostragem apresentaram valores maiores durante a 2ª campanha (72 a 78 mg/L PO₄), acrescidos ainda pelo Ponto 13 (78 mg/L PO₄).

Na primeira campanha, com exceção do Mn, os metais analisados ultrapassaram os limites estabelecidos pela legislação vigente e em todos os Pontos de amostragem. Na segunda, com exceção do Mn e do Zn, os demais excederam os valores estipulados pela legislação em todos os Pontos de analisados. E na 3ª, apenas os valores de Mn e Ni estavam dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05 (Brasil 2005), em todos os Pontos de amostragem.

Descrição	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	VMP
X (UTM)	529.672	529.527	528.926	528.138	526.542	526.198	527.156	521.705	521.084	514.316	511.971	510.647	509.060	
Y (UTM)	8.613.856	8.614.150	8.614.888	8.616.286	8.617.390	8.617.311	8.619.656	8.625.692	8.626.184	8.632.962	8.634.476	8.638.732	8.639.300	CONAMA 357/05
Cu (mg/L)	0,02	0,01	0,10	0,05	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,03	0,02	0,08	0,12	0,009
Mn (mg/L)	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,07	0,05	0,07	0,08	0,07	0,06	0,07	0,05	0,1
Ni (mg/L)	0,007	0,005	0,054	0,009	0,008	0,025	0,044	0,036	0,035	0,020	0,098	0,053	0,069	0,025
Pb (mg/L)	0,023	0,022	0,058	0,030	0,027	0,029	0,032	0,066	0,037	0,033	0,137	0,043	0,141	0,01
Zn (mg/L)	0	0	0,182	0,054	ND	0,061	0,304	0,240	0,226	0,058	1,023	0,096	0,085	0,18
OD (mg/L O ₂)	9,8	9,7	10,8	9,9	10,1	11,44	9,5	12,8	8,9	9,8	10,8	10,9	4,3	não inferior a 5,0
T (°C)	24,2	24,8	25	25,2	25,7	25,5	25,5	25,1	25,3	26,8	25,1	25	25,3	não aplicável
pH	7,58	7,64	7,74	7,84	7,73	7,97	8,09	8,07	7,87	8,04	7,55	7,06	7,66	6,0 a 9,0
CE (µS)	259	302	239	218	368	382	356	456	534	629	780	824	613	não aplicável
Turbidez (UNT)	15	15,3	16,8	15,8	14,8	19,2	28,7	41,6	7,34	31,7	13,9	72,6	52,5	até 100
TDS (ppm)	112	132	112	108	171	240	230	362	103	174	252	128	250	até 500
DBO (mg/L O ₂)	4	7	5	6	5	5	5	3	2	10	20	60	0	até 5
Fosfato (mg/L PO ₄)	0,4	0,4	0,4	0,4	3,4	0,2	3,4	9,6	8,4	15,2	12,6	36	28	até 0,030

Tabela 1
Metais pesados e dados físico-químicos verificados no rio Subaé em dezembro de 2011.

VMP: valor máximo permitido (concentrações acima do VMP estão em negrito); X: latitude; Y: longitude; ND: não detectado; UTM: universal transversa de mercator; OD: oxigênio dissolvido; T: temperatura; CE: condutividade elétrica; UNT: unidade nefolométrica; TDS: sólidos totais dissolvidos; DBO: demanda bioquímica de oxigênio.

Descrição	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	VMP
X (UTM)	529.672	529.527	528.926	528.138	526.542	526.198	527.156	521.705	521.084	514.316	511.971	510.647	509.060	CONAMA 357/05
Y (UTM)	8.613.856	8.614.150	8.614.888	8.616.286	8.617.390	8.617.311	8.619.656	8.625.692	8.626.184	8.632.962	8.634.476	8.638.732	8.639.300	
Cu (mg/L)	0,015	0,009	0,1	0,046	0,01	0,015	0,032	0,037	0,053	0,034	0,017	0,084	0,12	0,009
Mn (mg/L)	0,05	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,08	0,07	0,11	0,06	0,15	0,05	0,04	0,01
Ni (mg/L)	0,007	0,005	0,054	0,009	0,008	0,025	0,044	0,036	0,035	0,020	0,098	0,053	0,069	0,025
Pb (mg/L)	0,027	0,022	0,034	0,032	0,032	0,029	0,028	0,031	0,029	0,021	0,043	0,033	0,033	0,01
Zn (mg/L)	0,174	0,082	0,126	0,152	0,107	0,084	0,062	0,071	0,109	0,172	0,185	0,174	0,088	0,18
OD (mg/L O ₂)	17,8	16,2	14,2	15,2	11,2	12,7	13,5	12,9	10,4	5,9	3,7	13,6	12,4	não inferior a 5,0
T (°C)	23,2	23,2	23,8	23,8	24,6	23,9	24,8	25,6	27,8	30	30,8	27,5	27,7	não aplicável
pH	8,6	8,55	8,64	8,51	8,77	8,82	8,54	8,75	8,22	8,23	7,4	7,38	8,3	6,0 a 9,0
CE (µS)	162	168	160	154	273	275	215	392	453	1050	1204	1236	1020	não aplicável
DBO (mg/L O ₂)	3	4	4	5	2	2	2	4	4	0	78	16	64	até 5
TDS (ppm)	20	20	14	24	24	30	32	12	20	68	102	180	478	até 500
Turbidez	6,8	8,87	8,46	8,89	7,85	7,66	6,87	6,82	7,89	16,26	16,27	36,83	26,69	até 100
Fosfato (mg/L PO ₄)	0,6	0	0	0	0,06	1,6	1,8	4,4	6,4	20	72	78	72	até 0,030

VMP: valor máximo permitido (concentrações acima do VMP estão em negrito); X: latitude; Y: longitude; UTM: universal transversa de mercator; OD: oxigênio dissolvido; T: temperatura; CE: condutividade elétrica; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; TDS: sólidos totais dissolvidos.

Tabela 2

Metais pesados e dados físico-químicos verificados no rio Subaé em abril de 2012.

Descrição	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	VMP
X (UTM)	529.672	529.527	528.926	528.138	526.542	526.198	527.156	521.705	521.084	514.316	511.971	510.647	509.060	CONAMA 357/05
Y (UTM)	8.613.856	8.614.150	8.614.888	8.616.286	8.617.390	8.617.311	8.619.656	8.625.692	8.626.184	8.632.962	8.634.476	8.638.732	8.639.300	
Cu (mg/L)	0,012	0,014	0,009	0,008	0,006	0,017	0,010	0,005	0,011	0,006	0,007	0,035	0,009	0,009
Mn (mg/L)	0,006	0,032	0,032	0,015	0,022	0,042	0,026	0,302	0,389	0,024	0,039	0,038	0,024	0,01
Ni (mg/L)	0,004	0,005	0,008	0,004	0,007	0,010	0,008	0,008	0,018	0,011	0,008	0,009	0,009	0,025
Pb (mg/L)	0,015	0,026	0,023	0,030	0,028	0,033	0,029	0,028	0,028	0,035	0,050	0,036	0,040	0,01
Zn (mg/L)	0,033	0,053	0,046	0,053	0,030	0,680	0,023	0,026	0,053	0,026	0,283	0,146	0,326	0,18
OD (mg/L O ₂)	7,61	7,19	6,97	7,19	7,04	6,43	6,49	6,15	3,85	6,08	2,77	3,47	3,33	não inferior a 5,0
T (°C)	27,6	29,1	28,2	27,7	27,6	8,26	28,8	26,5	28,2	28,4	26,9	28,3	28,7	não aplicável
pH	7,58	7,44	7,23	8,1	7,98	8,26	8,26	7,78	6,87	7,75	7,14	7,1	7,86	6,0 a 9,0
CE (µS)	218,0	215,7	208,5	720,8	443,1	435,6	432,6	589,6	615,7	718,9	945,0	976,7	918,3	não aplicável
Turbidez	81,6	76,88	78,8	81,8	87,13	18,82	78,87	88,8	78,0	69,8	88,2	9,2	18,83	até 100
TDS (ppm)	109,9	108,8	104,7	218,2	223,0	219,1	217,7	297,1	309,8	392,8	470,7	492,7	520,1	até 500
DBO (mg/L O ₂)	0	8	7	7	6	0	0	11	12	42	21	42	25	até 5
Fosfato (mg/L PO ₄)	0,8	0,8	0,6	4,6	4,8	5	8,8	10,8	32	58	58	58	48	até 0,030

VMP: valor máximo permitido (concentrações acima do VMP estão em negrito); X: latitude; Y: longitude; UTM: universal transversa de mercator; OD: oxigênio dissolvido; T: temperatura; CE: condutividade elétrica; TDS: sólidos totais dissolvidos; DBO: demanda bioquímica de oxigênio.

Tabela 3

Metais pesados e dados físico-químicos verificados no rio Subaé em novembro de 2012.

Na Tabela 4 é apresentada a matriz de correlação de Pearson dos metais pesados com os parâmetros físico-químicos. Correlações positivas e significativas foram encontradas entre CE–turbidez, CE–DBO, CE–fosfato e DBO–pH, DBO–turbidez

além de fosfato–DBO, fosfato–pH e fosfato–turbidez. As correlações apresentadas entre os metais e os parâmetros físico-químicos foram: Cu–turbidez, Cu–DBO, Cu–fosfato, Cu–Pb, Mn–ST, Ni–OD, Ni–fosfato, Ni–Pb, Pb–fosfato, Pb–ST e Zn–OD.

Valor de r*													
CE (µS)	T (°C)	OD (mg/LO ₂)	CE (µS)	pH	Turbidez (UNT)	DBO (mg/LO ₂)	Fosfato (mg/LPO ₄)	ST (mg/L)	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
T (°C)	0	0.82075	0.35961	0.094077	0.80759	0.7818	0.61731	0.86071	0.60962	0.99251	0.94711	0.94896	0.8581
OD (mg/LO ₂)	-0.0698	0	0.70696	0.7539	0.61568	0.40726	0.25471	0.63261	0.11031	0.62255	0.55771	0.23401	0.75025
CE (µS)	0.27697	-0.11556	0	0.14369	0.038628	0.018533	0.000206	0.74382	0.18313	0.3807	0.010043	0.028614	0.070665
pH	0.48359	0.096467	-0.42884	0	0.16359	0.00225	0.051503	0.67383	0.11994	0.42793	0.38409	0.44183	0.8149
Turbidez (UNT)	0.075008	-0.1539	0.5778	-0.41045	0	0.02053	0.000143	0.27036	0.065976	0.66258	0.34816	0.32524	0.8659
DBO (mg/LO ₂)	-0.08527	0.25146	0.63975	-0.76631	0.63182	0	0.012238	0.56314	0.2458	0.72223	0.32552	0.71541	0.59445
Fosfato (mg/LPO ₄)	0.1532	-0.34066	0.85347	-0.54997	0.86339	0.66992	0	0.90461	0.014461	0.8442	0.062235	0.063707	0.59277
ST (mg/L)	0.054081	-0.14665	0.10054	0.12927	-0.3303	-0.17691	-0.03695	0	0.48753	0.000677	0.82092	0.69424	0.78909
Cu	-0.15651	-0.46389	0.39375	-0.45314	0.52412	0.34672	0.65816	0.21168	0	0.59072	0.063854	0.16582	0.99163
Mn	-0.0029	0.15095	0.26547	0.24087	-0.13397	-0.10931	0.06056	0.81561	0.16473	0	0.3521	0.76706	0.70298
Ni	-0.02046	-0.17934	0.68324	-0.26365	0.28336	0.29635	0.53038	0.06973	0.52764	0.28115	0	0.000127	0.005386
Pb	-0.01974	-0.35495	0.60457	-0.2339	0.29652	0.1121	0.52789	-0.1208	0.40849	0.091174	0.86642	0	0.011977
Zn	0.055105	0.097938	0.51661	-0.07211	-0.05205	0.1631	0.16383	-0.0823	-0.00324	0.1172	0.72135	0.67141	0
Valor de r*													

Tabela 4
Correlação (Pearson) entre as médias dos metais pesados e os parâmetros físico-químicos analisados durante três coletas (dezembro de 2011, abril e novembro de 2012) em 13 Pontos de monitoramento das águas superficiais entre o alto e baixo curso do rio Subaé.

CE: condutividade elétrica; OD: oxigênio dissolvido; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; ST: sólidos totais dissolvidos; DBO: demanda bioquímica de oxigênio.

*Coeficiente de correlação de Pearson. Quando $r = 1$, há correlação perfeita positiva entre as duas variáveis. Quando $r = -1$, há correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, isto é, se uma aumenta, a outra sempre diminui. Quando $r = 0$, as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra, no entanto, pode existir dependência não linear.

5. DISCUSSÃO

As correlações entre os parâmetros físico-químicos da água superficial da Bacia do Rio Subaé estão associadas à influência dos esgotos domésticos, pois, além de serem ricos em sais dissolvidos e ionizados — quando presentes na água, a transformam em um eletrólito capaz de conduzir corrente elétrica —, possuem matéria orgânica composta por macromoléculas chamadas substâncias húmicas, fontes de fósforo e nitrogênio para os animais e plantas aquáticas. O acúmulo de matéria orgânica pode ocasionar o aumento da turbidez e o consumo de oxigênio pelas bactérias, aumentando, dessa forma, a DBO. Já as correlações entre os parâmetros e os metais analisados podem estar relacionadas a duas questões: os efluentes domésticos e os fertilizantes.

Reforçando as discussões anteriores sobre o uso de fertilizantes ricos em metais, como Pb e Ni, e a alta concentração de Cu e Zn em ambientes que recebem cargas de efluentes domésticos, ou ainda ambientes que deveriam tratar esses efluentes mas não o fazem de forma adequada, as maiores concentrações de Pb estão localizadas no alto da bacia do rio Subaé, nos Pontos 11 e 13 ($\pm 0,07$ mg/L). As principais fontes são: emissões atmosféricas provenientes da indústria metalúrgica e fábricas de fertilizantes; combustão de carvão e combustíveis fósseis; mineração e incineradores além da aplicação direta no solo de biossólidos, estrume, fertilizantes e corretivos agrícolas, entre outros (Azevedo & Monteiro 2004). Nota-se que as fontes antropogênicas, responsáveis

pelo enriquecimento de Pb no ambiente, são similares às fontes de Ni. Assim, as explicações semelhantes ao que foi esclarecido para o Ni podem ser aplicadas ao Pb.

Apesar de o histórico de contaminação por Pb ser na região de Santo Amaro da Purificação (baixo curso do rio Subaé), o alto curso apresentou maiores concentrações desse elemento. Trabalho realizado por Nunes (2012) na Lagoa Salgada, uma das nascentes do rio Subaé, apresentou valores de Pb nas espécies de peixe *Astyanax bimaculatus*, *Hoplias malabaricus* e *Oreochromis niloticus* acima do permitido para consumo humano, alcançado concentração oito vezes superior ao limite indicado pela legislação brasileira. Cruz (2012) também detectou altas concentrações de Pb na água e nos sedimentos superficiais das nascentes do rio Subaé (Lagoa Salgada, Lagoa Subaé e Nascente Pedro Suzart), ultrapassando o limite estabelecido pelo CONAMA 357/05 (Brasil 2005) tanto para a água quanto para o sedimento. As maiores concentrações se apresentaram na Lagoa Salgada.

De acordo com Moreira (2004), o Pb é um dos contaminantes mais comuns do ambiente, pois inúmeras atividades industriais favorecem a sua grande distribuição. Ele não constitui um problema ambiental até que venha a se dissolver, passando à forma iônica, o que acontece geralmente em meio ácido, caso presente em todas as amostragens. Dessa maneira, ele passa a ser um elemento preocupante para o ambiente e para a saúde da população, pois se torna biodisponível, com efeito cumulativo dentro da cadeia trófica.

Questiona-se a origem da maior concentração de Pb nas nascentes quando comparadas ao médio e baixo curso do rio Subaé. Uma das hipóteses é a de que o chumbo é encontrado na atmosfera na forma de partículas, eliminadas com relativa rapidez por deposição seca e úmida; porém, partículas pequenas podem ser transportadas a longas distâncias. Outra hipótese seria a de que em regiões próximas às vias de tráfego intenso e de indústrias, os teores de chumbo são bem mais elevados que os encontrados em áreas isoladas (Andrade *et al.*, 2009, Beck 2005). Porém, estudos mostram declínio nos níveis de chumbo no ar após a proibição do uso de chumbo tetraetila como aditivo da gasolina em vários países, incluindo o Brasil. No entanto, ainda existem outras fontes responsáveis pela poluição atmosférica por chumbo particulado nas zonas industriais e urbanas, colocando em risco a saúde da população. Em muitos países, o Pb é o único metal cuja presença no ar é controlada por legislação, o que representa que ele é altamente poluente. (Oga *et al.* 2008, Azevedo & Chasin 2003, Vanz *et al.* 2003, Larini 1993).

Com relação às concentrações de Zn em todos os Pontos na primeira e terceira campanha, que excederam os valores estipulados pela legislação, podem ter origem em fertilizantes, esgotos sanitários, fundições e galvanoplastias, segundo Cammarota (1980). Já na bacia do rio Subaé, essas atividades estão presentes no Centro Industrial Subaé (CIS), em Feira de Santana e regiões circunvizinhas. O Ponto 6 é marcado pela grande extração de bambu, retirado da mata ciliar, e de argila. É possível que as altas concentrações de Zn na água possam provir da extração de argila dessas atividades, pois uma vez utilizado como constituinte de pesticidas, pode ser revolvido do sedimento onde estavam adsorvidos ou absorvidos.

O Ponto 11, por sua vez, apresentou uma clara fonte de enriquecimento de Zn, pois se localiza próximo ao lançamento de efluentes domésticos no município de Humildes, direção Norte a 12°15'24" de latitude Sul e 38°57'53" de longitude, altitude de 234 metros, área de 1.338,1 km², distrito de Feira de Santana-BA. Cruz (2012) encontrou valores de Zn na Lagoa do Subaé, uma das nascentes do rio de mesmo nome, acima do estabelecido pela legislação. Segundo Dal Bosco *et al.* (2008), Philippi *et al.* (2004) e Yabe e Oliveira (1998), em águas superficiais, as concentrações de Zn estão normalmente na faixa de 0,001 a 0,100 mg/L. Largamente utilizado na indústria, o Zn pode ser liberado para o meio ambiente por processos naturais e antropogênicos, entre os quais se destacam a combustão de madeira, incineração de resíduos, produção de ferro e aço, e lançamento de efluentes domésticos.

No que tange às concentrações de Mn, as mais altas foram especificamente localizadas no médio curso do rio Subaé, nos Pontos 8 e 9, e elas excederam os valores estabelecidos pelo CONAMA 357/05. Altas concentrações de Mn também são mais comuns em efluentes domésticos e industriais. O Ponto 8 é marcado pela ponte que dá acesso a Santo Amaro, com grande acúmulo de lixo e saída de esgoto diretamente no rio.

Nos estudos realizados por Cruz (2012), os valores de Mn na água superficial também estavam acima do permitido nas nascentes do rio Subaé (Lagoa Salgada e Lagoa Subaé), assim como no sedimento, corroborando Silva (2012). O referido estudo encontrou valores de Mn nos sedimentos das Lagoas Salgada, Subaé e Nascente Pedro Suzart com variação entre 69,3 e 200,6 mg/Kg, considerados altos de acordo com os padrões de referência para sedimento seco: PEL (*Probable Effects Level*); SEL (*Severe Effects Level*) e TEL (*Threshold Effects Level*). Sendo que, os valores encontrados por Cruz (2012) foram superior ao estabelecidos pelo SEL, o que representa sério risco de impacto ambiental, pois indica a violação de um valor guia de qualidade que prevê a ocorrência de efeitos biológicos negativos severos. Enquanto que PEL indica nível de efeitos menores e TEL representa nível nenhum de efeito para as concentrações de contaminantes encontrados em sedimento seco. TEL, PEL e SEL são os principais Valores-Guia de Qualidade de Sedimento (VGQS) internacionais para ambientes de água doce. São valores numéricos embasados em amplos bancos de dados de concentração individuais de contaminantes inorgânicos e orgânicos, a partir dos quais são estabelecidas relações de causa (concentração de contaminantes) e efeito (resposta biológica de organismos bentônicos).

Conforme Ayers e Westcot (1999), o Mn raramente atinge concentrações de 1 mg/L em águas superficiais naturais; em geral, está presente em quantidades abaixo de 0,2 mg/L e é muito usado na indústria do aço e na fabricação de ligas metálicas e baterias, bem como na indústria química, em tintas vernizes, fogos de artifício e fertilizantes, entre outros. Sua presença em quantidades excessivas é indesejável em mananciais de abastecimento público em razão de seu efeito no sabor, no tingimento de instalações sanitárias, aparecimento de manchas nas roupas lavadas e no acúmulo de depósitos em sistemas de distribuição.

Altas concentrações de Cu foram encontradas em Pontos de amostragem distribuídos em todo o curso do rio Subaé. Com exceção dos Pontos 2 e 5, os outros apresentaram concentrações de Cu acima do valor limite estabelecido pelo CONAMA 357/05 (Brasil 2005). Segundo Pedroso e Lima (2001), grande parte do Cu encontrado em águas superficiais está relacionado às atividades de mineração e fundição, queima de carvão, efluentes de estações de tratamento de esgotos, uso de compostos de Cu, como algicidas aquáticos, escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir do uso agrícola do Cu e precipitação atmosférica de fontes industriais.

O Ponto 13, que apresentou a maior concentração de Cu (0,44 mg/L), está localizado dentro da Estação de Tratamento de Água e recebe efluentes da região de Feira de Santana, além de influenciar nas concentrações de Cu no Ponto 12, que está a jusante. As práticas agrícolas nos Pontos 3 e 9 podem contribuir significativamente com as altas concentrações de Cu, implicando na contaminação dos Pontos a jusante destes.

A maior concentração de Ni encontrada (0,69 mg/L) foi registrada no alto curso do rio Subaé. No entanto, os valores de Ni excederam os limites do CONAMA 357/05 (Brasil 2005) em Pontos distribuídos ao longo do curso do rio (P3, P7, P8, P9, P11, P12, P13). Atividades antropogênicas que podem adicionar Ni e Pb aos solos e, por conseguinte, à água são: mineração, adubação com lodo de estação de tratamento de efluentes (Page *et al.* 1972, Alloway & Ayres 1997), fabricação de baterias de automóveis e celulares, estabilização de plásticos, formulação de pigmentos, fertilizantes fosfatados (Prasad 1995, Loganathan 1997, Raven & Loeppert 1997) e queima de combustíveis fósseis (Alloway & Ayres 1997), dentre outros.

6. CONCLUSÕES

Devido às concentrações dos metais analisados na água superficial da Bacia do Rio Subaé terem sofrido aumento em alguns Pontos de monitoramento ao longo da bacia, quando comparadas às três amostragens, foi necessário analisar sua evolução de um ano para outro. Durante todo o percurso amostrado, houve presença sistemática dos elementos Zn, Mn, Cu, Pb e Ni, introduzidos por fontes de origem na urbanização e industrialização. Relações entre pH e concentração metálica, de forma geral, não demonstraram influência dos metais analisados. Deve ser dada maior atenção ao Ponto 13, como área crítica de contaminação, devido às proporções extraordinárias nas diferenças em relação à bacia do rio Subaé. Como Pontos críticos são necessários cuidados no que se relaciona ao planejamento quanto às necessidades de controle na emissão de metais pesados e monitoramento.

7. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Terra e do Ambiente da UEFS, pela concessão da bolsa de mestrado, à Fundação de Amparo à Pesquisa

Do Estado da Bahia (FAPESB) pela viabilidade financeira, ao Labotec-UEFS pelo auxílio nas análises de água e ao grupo de Geoquímica Ambiental pela ajuda nos trabalhos de campo e de laboratório.

Dois dessas fontes são observadas nos Pontos 13 e 11, que apresentaram maiores concentrações de Ni e Pb. O presente estudo levanta a possibilidade de o Ponto da Estação de Tratamento de Água (P13) receber efluentes industriais, uma vez que apresentou altas concentrações de Pb e Cu, além do Ni, metais não comuns a efluentes domésticos. O recebimento de efluentes industriais em estações urbanas de tratamento de água não é permitido pela legislação ambiental, pois estes efluentes devem ter tratamento próprio. Isso demonstra a ineficácia do processo de tratamento de água pela empresa responsável. Como o Ponto 11 abriga grande plantação de eucalipto (0,5% de toda a área da bacia), é possível que esse cultivo seja responsável pelas altas concentrações de Ni e Pb, ou por conta do uso de lodos e fertilizantes ricos nesses metais, ou pelo uso de lodo de esgoto (enriquecido por Pb e Ni) na plantação. Dentre os fertilizantes que adicionam metal pesado, destacam-se os fosfatados. As concentrações de Ni em fertilizantes fosfatados encontram-se entre 7 e 38 mg/kg e as concentrações de Pb podem variar de 7 a 225 mg/kg. As mais altas concentrações de fosfato total no Ponto 11, nas 3 campanhas, reforçam tal hipótese.

A maior concentração de Ni nas nascentes encontradas por Cruz (2012) foi 0,037 mg/L na Lagoa Salgada. As demais áreas apresentaram concentrações dentro dos valores aceitáveis pela legislação vigente. Tal fato demonstra que a contaminação por Ni é de origem difusa, não tendo uma única fonte responsável. Pio (2004), em estudos realizados nas águas do Igarapé do distrito industrial de Manaus, atesta concentrações de Ni acima dos limites definidos pela legislação e atribui a presença de Ni como oriunda da atividade antrópica, uma vez que este elemento em ambientes naturais possui concentração muito baixa quando comparado com os valores obtidos (Phillips 2000).

A importância dessa pesquisa no que diz respeito ao Pb foi devida ao histórico de contaminação oriunda da antiga indústria de beneficiamento desse minério — antiga fábrica Plumbum Mineradora e Metalurgia Ltda (antiga Cobrac), às margens do rio Subaé, na cidade de Santo Amaro da Purificação —, o que tornou a cidade conhecida mundialmente por esse passivo ambiental. No entanto, os altos teores de Pb não foram detectados apenas nos Pontos próximos à antiga Cobrac, mas ao longo de todo o canal principal do rio Subaé, devido à riqueza de fontes antropogênicas, prejudicando na detecção da fonte emissora, além da ausência de background na região e de estudos de classificação pedológica e geológica na bacia do rio Subaé, o que seria de suma importância para direcionamento dos resultados apontados nessa pesquisa.

do Estado da Bahia (FAPESB) pela viabilidade financeira, ao Labotec-UEFS pelo auxílio nas análises de água e ao grupo de Geoquímica Ambiental pela ajuda nos trabalhos de campo e de laboratório.

8. REFERÊNCIAS

- Adorno E.V., Santos E.S., Jesus T.B. 2013. SIG e regressão linear para avaliação ambiental das nascentes do rio Subaé em Feira de Santana-BA, *Boletim Goiano de Geografia*, 33:63-80.
- Alloway B.J. & Ayres D.C. 1997. *Chemical principle of environmental pollution*. Blackie Academic and Professional, London, 395 p.
- Andrade F.V, Melo V.F., Gabardo J., Reissmann C.B. 2009. Metais pesados em solos de área de mineração e metalurgia de chumbo. II - formas e disponibilidade para plantas, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1889-1898.
- APHA. 2005. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, Washington, DC, 20. ed.
- Araújo J.O. 2012. Concentração de metais pesados (Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn) em *Awaous tajasica* (Lichtenstein, 1822) de um trecho do médio curso do Rio Subaé-BA. Monografia do curso de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Feira de Santana, 40 p.
- Ayers R.S. & Westcot D.W. 1999. *A qualidade da água na agricultura*. 2. ed. UFPB, Campina Grande, 153 p.
- Azevedo F.A. & Chasin A.A. 2003. *Metais: gerenciamento da toxicidade*. Atheneu Editora, São Paulo, 554 p.
- Azevedo A.A. & Monteiro J.L.G. 2004. Análise dos impactos ambientais da atividade agropecuária no cerrado e suas inter-relações com os recursos hídricos na região do Pantanal. Relatório técnico UNB-UFMT. CD-ROM.
- Bahia. Secretaria de Recursos Hídricos. 1995. Plano Diretor de Recursos Hídricos: Bacia do Recôncavo Leste. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011024710.pdf. Acessado em 09 set 2014.
- Beck M.H. 2005. Investigação de área degradada pela disposição de resíduos sólidos urbanos no município de Passo Fundo. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 89 p.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União.
- Cammarota V.A. 1980. Production and uses of zinc. In: J.O. Nriagu (ed.) *Zinc in the environment: ecological cycling*, John Wiley & Sons, Nova York, pp. 1-38.
- Cruz M.A.S. 2012. Avaliação da geoquímica dos sedimentos superficiais das nascentes do rio Subaé-BA. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Universidade Estadual de Feira de Santana, 142 p.
- Dal Bosco T.C., Sampaio S.C., Opazo M.A.U., Gomes S.D., Nóbrega L.H.P. 2008. Aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja: cobre e zinco no material escoado e no solo, *Engenharia Agrícola*, 28:699-709.
- Ebrahimpour M. & Mushrifah I. 2008. Heavy metal concentrations (Cd, Cu and Pb) in five aquatic plant species in Tasik Chini, Malaysia. *Environmental Geology*, 54:689-698.
- Farias M.S.S., Dantas Neto J, Lima V.L.A. 2006. Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Cabelo: parâmetros físico-químicos. Dissertação de Mestrado, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 152 p.
- Guimarães R.B., Machado S.L., Guedes J.F.C., Portella R.B. 2009. *Desativação de uma metalúrgica em Santo Amaro da Purificação-BA: passivo ambiental e déficit institucional*. Disponível em: <http://www.meau.ufba.br/site/node/552>. Acesso em 30 set 2012.

- Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2000. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Disponível em http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm. Acessado em 13 mai 2012.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2001. Censo 2000. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defctohtm.exe?ibge/cnv/aagba.def>. Acessado em 15 mai 2012.
- INGÁ. 2011. Instituto de Gestão das Águas e Clima. Disponível em: <http://www.seia.ba.gov.br/institucional/ing-instituto-de-gest-o-das-guas-e-clima>. Acessado em 15 abr 2011.
- Larini L. 1993. Inseticidas. In: L. Larine. *Toxicologia*. São Paulo, Editora Manole, 2, p. 136-163.
- Lima A.C.P. 2009. Avaliação da qualidade da água do aquífero subterrâneo do entorno do Centro Industrial do Subaé – Feira de Santana – BA. 2009, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Estadual de Feira Santana, 86 p.
- Loganathan P. 1997. Effect of phosphate fertilizer type on the accumulation and plant availability of cadmium in grassland soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystem*, 47:169-178.
- Moreira C.S. 2004. *Adsorção competitiva de cádmio, cromo, níquel e zinco em solos*. Piracicaba. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 108 p.
- Nunes V. J. 2012. *Determinação de metais pesados (Mn, Cd, Cr, Cu, Pb) em espécies de peixes presentes na Lagoa Salgada - Feira de Santana*. Monografia, Curso de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Feira de Santana, 44 p.
- Oga S., Camarg M.M.A., Batistuzzo J.A.O. (eds). 2008. *Fundamentos de toxicologia*. Atheneu Editora, 2, São Paulo, 677 p.
- Page A.L., Bingham F.T., Nelson C. 1972. Cadmium absorption and growth of various plant species as influenced by solution cadmium concentration. *Journal of Environment Quality*, 1:288-292.
- Pedroso M.F.M.; Lima I.V. 2001. Ecotoxicologia ambiental do cobre e seus compostos. Série *Cadernos de Referência Ambiental* 2,128.
- Pell, A. 2001. *Proposta de índice para avaliação da qualidade de água em ambientes lóticos: estudo de aplicação no Córrego Gameleira (Uberaba, MG)*. Tese de Doutorado, Centro de Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, 97 p.
- Pereira M.O., Calza C., Anjos M.F., Lopes R. T., Araujo F.G. 2006. Metal concentrations in surface sediments of Paraíba do Sul River (Brazil). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 269:707-709.
- Phillips I.R. 2000. Copper, lead, cadmium, and zinc sorption by water logged and air-dry soil. *Journal of Soil Contamination*, 8:343-364.
- Philippi Jr A., Romero M.A., Bruna G.C. 2004. *Curso de gestão ambiental*. Manole, Barueri, 1.050 p.
- Pinto A.G.N., Horbe A.M.C., Silva M.S.R., Miranda S.A.F., Pascoaloto D., Santos H.M.C. 2009. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. *Acta Amazonica*, 39:627-638.
- Pio M.C.S. 2004. Estudo físico-químico de água e capacidade de absorção de metais pesados por *Lemna aequinocialis* em um igarapé do distrito industrial de Manaus. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, 183 p.
- Prasad M.N.V. 1995. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environmental and Experimental Botany*, 35:525-545.
- Raven K.P., Loeppert R.H. 1997. Trace element composition of fertilizers and soil amendments. *Journal of Environmental Quality*, 26:551-557.
- Rios-Arana J.V., Walsh E.J., Gardea-Torresdey J.L. 2004. Assessment of arsenic and heavy metal concentrations in water and sediments of the Rio Grande at El Paso-Juarez metroplex region. *Environment International*, 29:957-971.
- Siegel F.R. 2002. *Environmental geochemistry of potentially toxic metals*. Springer, Berlim, 218 p.

- Silva P.P. 2012. Concentração de metais pesados nos sedimentos das nascentes do Rio Subaé, Feira de Santana – BA, Brasil. Monografia, Curso de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Feira de Santana, 76 p.
- Stumm W & Morgan J.J. 1995. Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters. *John Wiley & Sons*, New York, 780 p.
- Tuna C., Coskuntuna L, Koc F. 2004. Determination of nutritional value of some legume and grasses. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7:1750-1753.
- Vanz A., Mirlean N., Baisch P. 2003. Avaliação de poluição do ar por chumbo particulado: uma abordagem geoquímica. *Química Nova*, 26:25-29.
- Vargas H.L. 2008. *Ocupação irregular de APP urbana: um estudo da percepção social acerca do conflito de interesses que se estabelece na lagoa do Prato Raso, em Feira de Santana, BA*. Dissertação de Mestrado, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, 210 p.
- Yabe M. J.S., Oliveira E. 1998. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. *Química Nova*, 21:551-556.