



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE
ECOSSISTEMAS, CURSO DE MESTRADO

**BACIA DO RIO SUBAÉ, BAHIA: CARACTERÍSTICAS
HIDROGRÁFICAS, GEOMORFOLÓGICAS E
HIDROQUÍMICAS**

PAULA NÚBIA SOARES DALTO MOTTA

CRUZ DAS ALMAS – BA
JULHO 2015

**BACIA DO RIO SUBAÉ, BAHIA: CARACTERÍSTICAS
HIDROGRÁFICAS, GEOMORFOLÓGICAS E
HIDROQUÍMICAS**

PAULA NÚBIA SOARES DALTO MOTTA

Licenciada em
Geografia

Universidade Estadual de Santa
Cruz, Ilhéus-BA, 2008

Dissertação submetida ao Colegiado de
Curso do Programa de Pós-Graduação em
Solos e Qualidade de Ecossistemas da
Universidade Federal do Recôncavo
da Bahia, como requisito para obtenção do
Grau de Mestre em Solos e Qualidade de
Ecossistemas.

ORIENTADOR: PROF. DR. THOMAS VINCENT GLOAGUEN

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
MESTRADO EM SOLOS E QUALIDADE DE ECOSSISTEMAS
CRUZ DAS ALMAS - BAHIA - 2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOLOS E QUALIDADE DE
ECOSSISTEMAS**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
PAULA NÚBIA SOARES DALTO MOTTA**

Prof. Dr. Thomas Vincent Gloaguen
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia-UFRB
(Orientador)

Profa. Dra. Taíse Bomfim de Jesus
Universidade Estadual de Feira de Santana

Prof. Dr. Oldair D'el Arco Vinhas Costa
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia-UFRB

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Solos e
Qualidade de ecossistemas
em.....
Conferindo o Grau de Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas
em.....

Ao meu esposo Tiago Motta, pela paciência, incentivo, confiança e amor que sempre me dedicou. As minhas filhas, luzes da minha vida e aos meus pais responsáveis pela minha introdução no mundo do saber.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo amor e compreensão em todo o momento nesta fase da minha vida.

Ao Prof. Dr. Thomas Vincent Gloaguen pela amizade, confiança, dedicação e orientação durante o curso e no desenvolvimento deste trabalho.

À professora Doutora Ana Maria Souza dos Santos Moreau, por ter despertado em mim, o amor à ciência do solo e o interesse pela sua pesquisa, fazendo-me acreditar que meu caminho era esse e, assim continuar meus estudos.

Aos professores Doutores Marcelo Soares Teles Santos, Luciano da Silva Souza, Oldair Del'Arco Vinhas Costa, Jorge Antônio Gonzaga Santos, Carlos Alfredo Ledo pela amizade, incentivo, apoio, confiança e pelas contribuições concedidas a este trabalho e a minha formação acadêmica.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, pela oportunidade de realizar este curso.

À Capes – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de estudo.

Aos queridos colegas e amigos, Taíza Nogueira, Gerlange Silva, Carolina Couto, Ludimila Amorim, Marcela Bomfim, Maria Almeida, pelo apoio, carinho, amizade, e por compartilharmos o conhecimento científico.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

"A ideologia da sociedade industrial, baseada em noções sobre o crescimento econômico, padrões de vida cada vez melhores e fé nas soluções tecnológicas, em longo prazo é inviável. Ao mudarmos nossas ideias, temos que adotar como objetivo uma sociedade humana em que a população, o consumo de recursos, a eliminação dos resíduos e o meio ambiente estejam num equilíbrio saudável. Acima de tudo, temos que encarar a vida com respeito e assombro. Precisamos de um sistema ético em que o mundo natural tenha valor não apenas para o bem-estar humano, mas para si em si. O universo é algo interno, tanto quanto externo."

Sir Crispin Tickell

SUMÁRIO

RESUMO	10
INTRODUÇÃO	16
CAPÍTULO 1	
RESUMO	19
INTRODUÇÃO	20
MATERIAL E MÉTODOS	22
Caracterização da Área de Estudo	22
Delimitação da Bacia Hidrográfica	24
Parâmetros Morfométricos da Bacia Hidrográfica	25
RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
Delimitação e Caracterização da Bacia do Rio Subaé - Bahia	30
Feições Morfológicas Encontradas na Bacia do Rio Subaé	32
Análise de Superfície	35
CONCLUSÃO	40
LITERATURA CITADA	40
CAPÍTULO 2	
RESUMO	46
INTRODUÇÃO	47
REVISÃO DE LITERATURA	48
O município de Santo Amaro e o Histórico de Contaminação	48
Contaminação de solos e sedimentos	49
Propriedades Geoquímicas da Água	51
Qualidade da Água como Indicador da Qualidade do Ecossistema	51
Parâmetros Físico-Químicos da Água	52
Metal-traço no Ambiente Aquático	55
Material Particulado em Suspensão	57
Adsorção e Transporte	57
Material Particulado em Suspensão e Erosão	58
MATERIAIS E MÉTODOS	59
Área de Estudo	59
Coleta das amostras.....	61

Análises Químicas das Amostras	65
Parâmetros Físico-Químicos	65
Análise de Íons	65
Análise de Metais	65
Material Particulado em Suspensão	66
RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
Parâmetros Físico-Químicos	68
Composição Iônica	78
Metais-Traço Metálicos Dissolvidos	85
Metais-Traço Metálico Particulado	88
CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
APÊNDICE	102

BACIA DO RIO SUBAÉ, BAHIA: características hidrográficas, geomorfológicas e hidroquímicas

Autor: Paula Núbia Soares Dalto Motta

Orientador: Thomas Vincent Gloaguen

RESUMO: A contaminação por metais na cidade de Santo Amaro vêm despertando o interesse de pesquisadores na busca de soluções/remediações para a área impactada. Vários estudos envolvendo o solo, plantas, animais e a própria população foram realizados apontando níveis de contaminação preocupantes. Todavia, até o presente momento, não há dados que mostrem as condições físico-químicas da água do rio Subaé e, principalmente não se conhece ainda a dinâmica da bacia hidrográfica, unidade que integra a referida região. Assim, o presente trabalho tem como objetivo, caracterizar a morfometria da bacia hidrográfica do rio Subaé, BA, visando o entendimento da morfodinâmica de sua paisagem, além de avaliar as concentrações de metais traço nas águas superficiais do seu rio principal, em pontos específicos da cidade de Santo Amaro-BA. A metodologia empregada na delimitação e caracterização geomorfológica da bacia foi a partir de técnicas de geoprocessamento, usando o software ArcMap 10.2. Para a análise dos íons foram utilizados os métodos EPA 300-0 (cátions) e ASTM D6919-09 (ânions), e para a análise de metais-traço utilizou-se o ICP-AES (fração dissolvida) e EDX (particulado). Os resultados da pesquisa mostraram que, a área de drenagem da bacia é 559,23 km² com um perímetro de 167,56 km, a mesma possui forma alongada, com densidade de drenagem regular e relevo ondulado a fortemente ondulado. Apesar da área apresentar alta contaminação do solo por metais e estar inserida numa região de alto índice pluviométrico e significativo escoamento superficial, foram observados baixos teores de metais na água do rio, estando muito abaixo do limite estabelecido pela resolução 357/05 do CONAMA. Entretanto, os teores dos compostos iônicos analisados, mostraram que há contaminação por efluentes domésticos e agrícolas.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, análise morfométrica e metais-traço.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1 – Mapa de Localização da BHRS – Bahia	22
Figura 2 – Hierarquia Fluvial da BHRS – Bahia	30
Figura 3 – Mapa Planialtimétrico da BHRS – Bahia	32
Figura 4 – Estratificação Cruzada de Grande Porte – Santo Amaro-Ba	33
Figura 5 – Cachoeira do Urubu – Santo Amaro-Ba	34
Figura 6 – Mapa de Declividade em (%) da BHRS – Bahia	35
Figura 7 – Relevo Sombreado da BHRS – Bahia	36
Figura 8 – Mapa Curvatura (perfil) da BHRS – Bahia	37
Figura 9 – Mapa de Curvatura (plano) da BHRS – Bahia	38
Figura 10 – Mapa de Orientação das Vertentes da BHRS – Bahia	39

CAPÍTULO 2

Figura 1 – Mapa de Localização da área de estudo.....	60
Figura 2 – Pontos de coleta ao longo do rio Subaé, Santo Amaro-BA.....	64
Figura 3 – Média dos índices pluviométricos dos últimos 15 anos e de 2014 – Santo Amaro-BA.....	67
Figura 4 – Comparação entre Sólidos Totais Dissolvidos e Pluviosidade (mensal e semanal) referentes às coletas de água no rio Subaé, na cidade de Santo Amaro-BA.....	68
Figura 5 – Distribuição percentual das fontes (natural e antrópica) de íons nos pontos de coleta.....	76
Figura 6 – Diagrama Ternário da composição de cátions e ânions.....	79
Figura 7 – Diagrama de Gibbs para o rio Subaé-BA.....	79
Figura 8 – Diagrama de razões molares da Na normalizado na fase dissolvida do rio Subaé-BA.....	80
Figura 9A – Diagrama binário entre as razões equivalentes $[\text{Na}^+ + \text{K}^+]/[\text{HCO}_3^-]$ vs. $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-]$	81
Figura 9B – Diagrama binário entre as razões equivalentes $[\text{Na}^+ + \text{K}^+]/[\text{HCO}_3^-]$ vs. $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-]$	81
Figura 10 – Diagrama de $\text{NO}_3^-/\text{Na}^+$ vs. Cl^-/Na^+ para contribuições de efluentes comuns (C.E.) e componentes agricultura (A.C.)	82
Figura 11 - Diagrama ternário das espécies de nitrogênio	83
Figura 12 – Diagrama de Piper apresentando a classificação da água do rio Subaé nos 09 pontos de coleta	84

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1: Classificação da densidade hidrográfica (Dh) de bacia.....	27
Tabela 2: Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia	29
Tabela 3: Características morfométricas da bacia do rio Subaé	31

CAPÍTULO 2

Tabela 1 – Análise do Teste de Tukey - pH (UpH)	70
Tabela 2 - Análise do Teste de Tukey - Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	70
Tabela 3 - Análise do Teste de Tukey - HCO_3^- (em $\mu\text{mol}/\text{L}$)	71
Tabela 4 - Análise do Teste de Tukey – Cl^- (em $\mu\text{mol}/\text{L}$)	71
Tabela 5 - Análise do Teste de Tukey – SO_4^{2-} (em $\mu\text{mol}/\text{L}$).....	71
Tabela 6 - Análise do Teste de Tukey – F^- (em $\mu\text{mol}/\text{L}$).....	72
Tabela 7 - Análise do Teste de Tukey – NH_4^+ (em $\mu\text{mol}/\text{L}$).....	72
Tabela 8 - Análise do Teste de Tukey – NO_3^- (em $\mu\text{mol}/\text{L}$).....	72
Tabela 9 - Análise do Teste de Tukey – NO_2^- (em $\mu\text{mol}/\text{L}$).....	73
Tabela 10 - Análise do Teste de Tukey – PO_4^{3-} (em $\mu\text{mol}/\text{L}$).....	73
Tabela 11 - Análise do Teste de Tukey – Na^+ (em $\mu\text{mol}/\text{L}$).....	73
Tabela 12 - Análise do Teste de Tukey – K^+ (em $\mu\text{mol}/\text{L}$).....	74
Tabela 13 - Análise do Teste de Tukey – Ca^{2+} (em $\mu\text{mol}/\text{L}$).....	74
Tabela 14 - Análise do Teste de Tukey – Mg^{2+} (em $\mu\text{mol}/\text{L}$).....	74
Tabela 15 - Análise do Teste de Tukey – $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$	75
Tabela 16 - Matriz de correlação de Pearson da composição química do rio Subaé -BA.....	78
Tabela 17 - Concentração dos metais-traço da área estudada classificada por coleta em $\mu\text{g L}^{-1}$	85
Tabela 18 - Análise do Teste de Tukey – Pb_{MP} (mg/kg de MP).....	87
Tabela 19 - Análise do Teste de Tukey – Zn_{MP} (mg/kg de MP).....	87
Tabela 20 - Análise do Teste de Tukey – Cu_{MP} (mg/kg de MP).....	87
Tabela 21 - Análise do Teste de Tukey – Ni_{MP} (mg/kg de MP).....	88
Tabela 22 - Concentração média de metais-traço em $\mu\text{g L}^{-1}$ e MPS em mgL^{-1}	89
Tabela 23 - Análise do Teste de Tukey – MPS.....	90
Tabela 24 - Análise do Teste de Tukey – Pb_{MP} (mg/L).....	90
Tabela 25 - Análise do Teste de Tukey – Zn_{MP} (mg/L).....	90
Tabela 26 - Análise do Teste de Tukey – Cu_{MP} (mg/L).....	91
Tabela 27 - Análise do Teste de Tukey – Ni_{MP} (mg/L).....	91
Tabela 28 - Concentração média de metais em mg kg^{-1} de sedimentos.....	92
Tabela 29 - Fluxos transportado pelo rio Subaé até a Baía de Todos os Santos	93

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 2

Quadro 1 - Identificação dos Pontos Amostrados ao longo do rio Subaé – na cidade de Santo Amaro – BA	62
Quadro 2 – Características das condições de maré nas seis coletas do rio Subaé	63

LISTA DE SÍMBOLOS

%	por cento
°	grau
'	minuto
”	segundo
°C	grau Celsius
>	Maior
<	Menor
G	grama
H	hora
Km	kilômetro
km ²	kilômetro quadrado
M	metro
m ²	metro quadrado
Mg	miligrama
mg kg ⁻¹	miligrama por kilograma
mg L ⁻¹	miligrama por litro
mm	milímetro
MPS	Material Particulado em Suspensão
µg	Micrograma

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Af	Quente e úmido
Al	Alumínio
BA	Bahia
BHRS	Bacia Hidrográfica do rio Subaé
Ca	Cálcio
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Mineirais
Cu	Cobre
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fe	Ferro
HCl	Ácido clorídrico
HNO ₃	Ácido nítrico
ICP-AES	Espectrofotômetro de emissão atômica com fonte de plasma
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Ni	Níquel
Pb	Chumbo
PEL	Concentração de efeito provável
pH	Potencial hidrogeniônico
TEC	Concentração de efeito limiar
UTM	Universal Transversa de Mercator
Zn	Zinco
WGS84	World Geodetic System 1984

INTRODUÇÃO

A cidade de Santo Amaro, no estado da Bahia, durante 33 anos abrigou em seu território o beneficiamento da galena (PbS) presente em minério de chumbo, produzindo lingotes de chumbo. A fábrica responsável por essa atividade a Plumbum Mineração e Metalurgia Ltda, ficava a nordeste da zona urbana do município, a 500 metros de um afluente da bacia do rio Subaé, a 300 metros da margem direita do rio principal - Subaé e a 10 km da sua foz na Baía de Todos os Santos (ANJOS, 2003). De acordo com Peixoto (2013), a empresa produziu e depositou aleatoriamente 490 mil toneladas de escória com teor elevado de metais - especialmente cádmio (Cd), zinco (Zn) e chumbo (Pb) e outros, que ficaram armazenadas durante décadas no pátio da Fundição. Além das emissões atmosféricas que liberaram toneladas desses poluentes na atmosfera, houve contaminação indireta pelo transbordamento da bacia de rejeitos (ANJOS, 2003).

Uma parte significativa da escória produzida foi disposta na área da própria fábrica, com poucas medidas de contenção (cobertura por solo), ficando disponíveis às ações intempéricas.

Sabendo que a região onde esta localizada a cidade de Santo Amaro, é drenada pela bacia do Rio Subaé, influenciada pelo clima tropical úmido a subúmido, com alto índice pluviométrico (1600mm) e, considerando o histórico de contaminação existente na área, objeto de estudo, Peixoto (2013), realizou um mapeamento de transporte de metais provocadas pela erosão hídrica laminar, que foi estimado em 11,5 toneladas ano⁻¹ (Pb) e 3,5 toneladas ano⁻¹ (Zn), na área estudada (48 km²). Esses contaminantes foram depositados no leito do rio principal, o que contribuiu com sua dispersão até a Baía de Todos os Santos.

Desde então, a cidade de Santo Amaro, esteve no foco das pesquisas sobre esse tipo de impacto ambiental, sendo que essas pesquisas abordavam essa questão levando em conta a análise dos parâmetros físico-químicos dos solos e sedimentos responsáveis pela dispersão desses contaminantes. Entretanto, um aspecto tem sido pouco explorado nesse cenário: A inclusão de dados que caracterizem a morfometricamente a bacia hidrográfica, bem como, estudos voltados

a análise hidroquímica das águas do rio Subaé, com intuito de caracterizar a composição química de suas águas superficiais, na cidade de Santo Amaro.

Segundo Suertegaray (2002), o estudo da bacia hidrográfica fornece uma visão geral do estado socioambiental da bacia e, uma vez que se aplicam os parâmetros morfométricos por meio da abordagem quantitativa, pode-se ter uma melhor noção do comportamento hidrológico, indicando a capacidade de escoamento superficial e, conseqüentemente, a dispersão de metais ao longo da bacia.

Para Christofolletti (1970), a análise de aspectos relacionados à drenagem, relevo e geologia pode levar à elucidação e compreensão de diversas questões associadas à dinâmica ambiental local. Assim, a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos procedimentos que devem ser analisados, com intuito de elucidar questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional. Os dados morfométricos determinam os indicadores físicos específicos para um determinado local, de forma a qualificarem as alterações ambientais (ANTONELLI e THOMAZ, 2007).

As características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo refletem algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio das águas das chuvas, e expressam estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a bacia hidrográfica (PISSARA et al., 2004).

Assim, as características físicas de uma bacia são importantes nos processos do ciclo hidrológico, por influenciar nos processos de infiltração e quantidade de água produzida como deflúvio, na evapotranspiração, no escoamento superficial e subsuperficial. Além disso, o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica também é afetado por ações antrópicas, uma vez que, ao intervir no meio natural, o homem acaba interferindo nos processos do ciclo hidrológico, impactando negativamente este ambiente, ao despejar efluentes domésticos e industriais diretamente nos cursos d'água, comprometendo seu equilíbrio e afetando toda vida existente na bacia (TONELLO, 2005).

Pelas razões apresentadas, este trabalho teve como objetivo delimitar a bacia do rio Subaé-Bahia, definindo suas características morfométricas, através da análise dos atributos: Hierarquização de drenagem, Coeficiente de compacidade (Kc), Fator de forma (F), Índice de circularidade (Ic) e Densidade de drenagem (Dd)

entre outros parâmetros, e com base no conhecimento gerado, analisar as características hidroquímica das águas do rio principal, em pontos específicos na cidade de Santo Amaro, mais precisamente, próximos a antiga fábrica Plumbum, com intuito de avaliar as concentrações de metais-traço, na fração dissolvida e no material particulado em suspensão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, J. A. S. A. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados: O caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA.** São Paulo: USP, 2003.

ANTONELI, V; THOMAZ, E.L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Rev. Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.8, n.21, p46-58, jun. 2007.

ASEVEDO, L. P. **Mapeamento geoquímico de solos contaminados por metais (Pb, Zn, As e Cu), Santo Amaro da Purificação, Bahia.** Cruz das Almas: UFRB, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise hipsiométrica de bacias de drenagem.** Notícia Geomorfológica, Campinas, v. 10, n. 9, p. 68-76, jun. 1970.

PEIXOTO, J. S. **Estimativa das perdas de solo e do transporte de chumbo e zinco por erosão hídrica no entorno da cidade de Santo Amaro da Purificação, Bahia.** Cruz das Almas: UFRB, 2013.

PISSARA, T.C.T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A.S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Rev. Bras. Ciências do Solo**, Viçosa, n.28, p.297-305, 2004.

SUERTEGARAY, Dirce M. A. **Geografia física e geomorfologia: uma (re)leitura,** Ijuí:Ed. Unijuí, 2002. 112 p.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG.** 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

CAPÍTULO 1

ANALISE GEOMORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO SUBÁE - BAHIA

ANALISE GEOMORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO SUBAÉ – BAHIA

Resumo

O uso da análise morfométrica em uma bacia visa elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da sua dinâmica ambiental, uma vez que permite investigar as interações entre os processos físicos e as formas do relevo, sob a ótica quantitativa. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo, caracterizar a morfometria da bacia hidrográfica do rio Subaé, BA, visando o entendimento da morfodinâmica de sua paisagem. Para a determinação das características morfométricas: padrões de drenagem, densidade hidrográfica e densidade de drenagem, gradiente de canais e relação de relevo, bem como a delimitação da própria bacia, fez-se uso de técnicas de Geoprocessamento, a partir do software ArcMap 10.2, que possibilitou a geração dos mapas de hierarquia fluvial, declividade e hipsometria, entre outros. A partir dos dados morfométricos obtidos, foi possível descrever algumas características da geomorfologia da bacia estudada. Para analisar o modelado do relevo foram utilizadas as classes de densidade de drenagem e índices de dissecação/acumulação referendados pelo Manual de Geomorfologia (IBGE, 2009). Os resultados mostraram que a bacia do rio Subaé se desenvolve sobre diversos tipos de rochas, tais como gnaisse, mármore, ortognaisse, metagabro, migmatito, predominando, sobretudo rochas sedimentares do mesozóico (cretáceo e jurássico) e cenozóico (paleogeno e quaternário) pertencentes aos Grupos Barreiras, Brotas, Ilhas e Santo Amaro, compostos por siltito, argilito, arenito, folhelho, dentre outros. Apresentou, também, padrão de drenagem dendrítico. A área de drenagem encontrada foi de 559,23 km² e o perímetro de 167,56 km. Constatou-se, que a área da bacia possui forma alongada, com densidade de drenagem regular, com relevo ondulado a fortemente ondulado, caracterizados por morros, morrotes e colinas, segundo classificação de Ross (1985).

Palavras chave: Bacia Hidrográfica, Análise morfométrica, Geomorfologia, rio Subaé.

INTRODUÇÃO

A contaminação por metais, provocada pelas atividades de mineração e beneficiamento da galena (PbS) presente em minério de chumbo, pela Companhia Brasileira de Chumbo – COBRAC (subsidiária da multinacional *Penarroya*), tem sido estudada na cidade de Santo Amaro há mais de 40 anos, desde que as primeiras evidências foram encontradas nas águas do rio Subaé. Foi comprovado que o passivo ambiental deixado pela COBRAC na região incluía mais de 490 mil toneladas de escória contaminada com metais, sobretudo chumbo e cádmio acumulados no sítio da fábrica (ANJOS; SÁNCHEZ, 2001), além de uma quantidade não estimada, mas considerável, que fora usada na pavimentação de áreas públicas e privadas.

O Ministério da Saúde, em 2003, adotando a metodologia da *Agency for Toxic Substances and Diseases Registry-Atsdr* (EUA), identificou como foco primário da contaminação a área do entorno da fábrica da COBRAC, e, como secundário, o estuário do rio Subaé. Análises realizadas revelaram que os sedimentos do rio Subaé apresentaram concentrações de chumbo, cádmio, cobre, mercúrio, níquel e zinco acima dos valores de referência (BRASIL, 2004). Reis (1975) constatou, através de medições feitas em vários pontos da cidade durante o período de um ano (dezembro de 1973 a dezembro de 1974), que o teor de chumbo e cádmio no rio Subaé foi de até 60 (sessenta) vezes superior ao nível estabelecido pela Organização Mundial de Saúde - OMS para o chumbo, que é de (0,1mg/l).

Desta forma, a falta de um manejo adequado para os rejeitos deixados pela fábrica e o elevado índice de precipitação anual da região acarretaram uma constante lixiviação das pilhas de acumulação das escórias (PEIXOTO, 2013), transportando os sedimentos contaminados por metais, principalmente Pb e Cd, até o rio principal da bacia (ANJOS, 2003; DEBUSK et al., 1996). Essa contaminação do rio Subaé ocorre tanto na cidade de Santo Amaro quanto em seu estuário ao norte da Baía de Todos os Santos, com índice de dispersão em locais distantes de mais de 30 km da fonte da contaminação, resultando num vasto impacto nos ecossistemas costeiros e marinhos (CARVALHO et al., 1983; PAOLIELLO; CHASIN, 2001). Ainda, destaca-se a contaminação do solo no entorno da cidade de Santo

Amaro (mínimo 4 km de raio), proveniente do aporte constante do poluente no rio Subaé por erosão hídrica (MACHADO et al., 2010).

Diante de tais afirmações pode-se afirmar que a bacia hidrográfica é um elemento importante nos estudos de transporte de sedimentos e poluição associada, uma vez que os processos de erosão de solos e os movimentos de massa fazem com que o escoamento superficial transporte os sedimentos contaminados para o rio que drena a bacia. Conforme a proximidade da área atingida, esses materiais podem chegar imediatamente ao rio e causarem dano irreparável ao ecossistema, bem como à saúde da população (BOTELHO, 1999; CUNHA; MENDES, 2005; COELHO NETO, 2007; BLUM, 2002).

Segundo Florenzano (2008) e Cunha (1995), a geomorfologia da bacia hidrográfica permite estabelecer as relações que envolvem os processos de erosão e deposição resultantes do escoamento da água nos canais fluviais e, assim, as formas de relevo associadas. Trata da evolução da bacia hidrográfica e seus processos fluviais correlatos (GOERL et al., 2012). Ainda, exerce influência sob o estudo de transporte de sedimentos na bacia hidrográfica, por permitir a compreensão de inúmeras questões geomorfológicas relacionadas aos cursos d'água, pois constituem processo morfogenético dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Para o estudo de bacias hidrográficas, técnicas de geoprocessamento têm sido utilizadas no mapeamento e na sua delimitação e representações geomorfológicas, a partir de uma estrutura numérica de dados correspondente à distribuição espacial da superfície do terreno, denominada Modelo Digital de Elevação (MDE) (GARBRECHT e MARTZ, 1997). Os MDEs vêm sendo utilizados em diversos estudos relacionados aos recursos hídricos, a exemplo dos trabalhos apresentados por Valeriano (2004), Valeriano (2005), Pinheiro (2006), Torres *et. al.* (2006), Duarte & Assad (2007) e Band (1986), sejam no delineamento de redes de drenagem, na determinação dos limites de bacias hidrográficas, nos cálculos de declividade, altitudes, entre outros.

Assim, o objetivo do presente trabalho é apresentar as características hidrográfica e geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Subaé, para servir de referência aos estudos da hidrodinâmica fluvial neste ambiente, uma vez que há poucos estudos disponíveis sobre bacias hidrográficas com características similares na região nordeste do país.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da Área de Estudo

A bacia do rio Subaé está localizada na região denominada de Recôncavo Norte no Estado da Bahia, inserida na região Hidrográfica Nacional Atlântico Leste, entre as coordenadas de 12°15'27" e 12°32'30" de latitude sul e 38°36'00" e 38°42'30" de longitude oeste (Figura 1). Sua área de drenagem é em torno de 559.2298 km², com uma altitude próxima a 300m em São Gonçalo dos Campos (Lima & Lessa 2001), tendo como rio principal o Subaé, o qual se origina nas nascentes da Lagoa do Subaé às margens da cidade de Feira de Santana, possuindo uma extensão de 55 km.

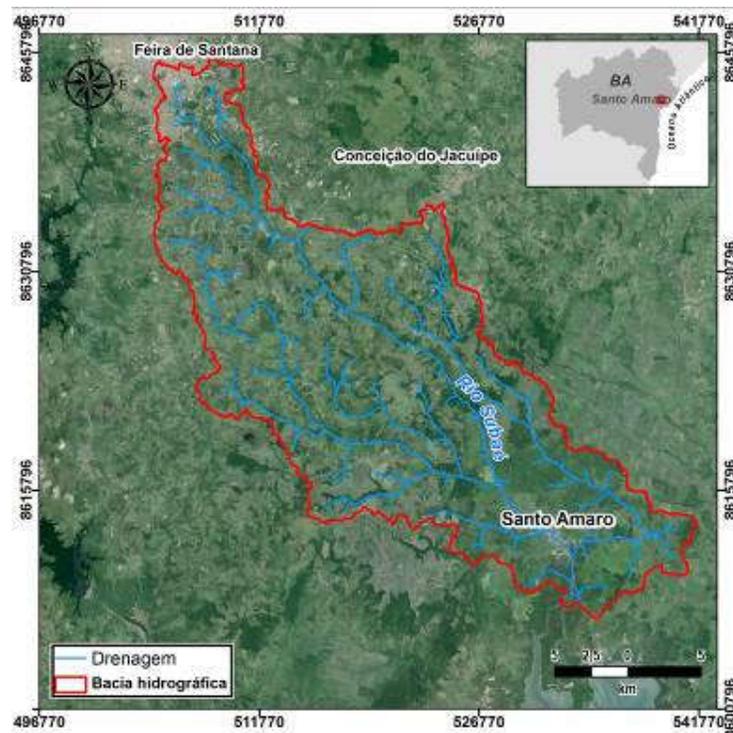


Figura 1 - Mapa de Localização da BHRs – Bahia
Fonte: Dados da Pesquisa

Sua nascente apresenta clima Af, caracterizado como tropical úmido a subúmido, segundo Koppen, com precipitações médias de 1000mm de chuva. No médio curso há uma maior umidade e distribuição de chuva durante todo o ano, com média anual

de 1.600 mm de chuva. Entretanto, seu exutório é predominado por precipitações médias anuais de 1.800 mm de chuva, período chuvoso entre os meses de abril a julho (SRH, 1996). A temperatura média anual varia de 24°C a 26°C na bacia.

Do ponto de vista geológico, a bacia do Subaé é constituída por várias unidades litológicas que variam desde: o Arqueano (Complexo Santa-Luz), formados por gnaisse, mármore, ortognaisse, metagabro, migmatito, dentre outras; por rochas sedimentares encontrados nos Grupos Barreiras, Brotas, Ilhas e Santo Amaro, os quais datam do mesozóico (cretáceo e jurássico) e cenozóico, formados por siltito, argilito, arenito, folhelho, os quais predominam a área da bacia; além das litologias do Quaternário, caracterizados pelos sedimentos mais recentes da bacia, de origem fluvial e fluviomarinho, depositados na foz do rio Subaé, através dos processos deposicionais (BARBOSA; DOMINGUEZ, 1996).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 1999), a área que compreende a bacia hidrográfica do rio Subaé possui uma variedade de tipos de solos. Nela encontra-se: o Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, predominante na parte central da bacia, sendo solos bem desenvolvidos, com alto teor de argila e pobres de nutrientes; o Vertissolo, também conhecido como massapê, de textura argilosa a muito argilosa e de boa fertilidade, com teores elevados de calcário e magnésio no seu horizonte A, de drenagem moderada, de baixa permeabilidade e pouco profundos; o Latossolo Amarelo distrófico, com características ácidas, com baixa fertilidade natural, e bem intemperizados; o Neossolo Quartzarênico, na foz da bacia, com alto teor de areia, extremamente pobre, pouco desenvolvido, constituído predominantemente de materiais quartzosos; e os solos indiscriminados de manguezal, classificados como Glei-Tiomórfico, com elevados teores de sais e enxofre, mal drenados e ricos em matéria orgânica (RESENDE et al, 2007).

A vegetação é representada pela Mata Atlântica, com alto grau de antropização, correspondendo atualmente a apenas 5% da área, o restante sendo utilizado para pastagem e culturas diversas, a exemplo da cana de açúcar e bambu. Ocorrem, ainda, faixas de manguezais na foz do rio Subaé até as proximidades da cidade de Santo Amaro.

A área de estudo apresenta altitudes que variam de 0 a 300 m, caracterizadas pelos sedimentos da Bacia Sedimentar Recôncavo-Tucano, com relevo de topos aplanados e bordas desniveladas, com degraus observadas na parte central da

bacia e Planícies Litorâneas formadas por sedimentos quaternários arenosos, sílticos e lamosos (CEPLAB, 1980).

Delimitação da bacia hidrográfica

A delimitação da bacia hidrográfica do rio Subaé foi realizada a partir de técnicas de geoprocessamento com uso do modelo digital de elevação (MDE) extraído da imagem orbital do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) disponível através do site: <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp> da NASA>. A imagem possui informações, referentes à banda C do equipamento *InSAR* (interferometria de radar de abertura sintética), instalado na nave espacial americana Endeavour (*Space Shuttle Endeavour*), com resolução espacial de 3" (arcos segundos), aproximadamente 90 m e elipsoide de referência WGS84 (FARR & KOBICK, 2000; FARR *et al.*, 2007).

Após a conversão para o Datum SIRGAS2000 (SIRGAS, 2014), os dados de densidade de drenagem foram obtidos a partir do *software* ArcGIS 10.2, através da metodologia de Tarboton (1991). O processo de delimitação automática da bacia hidrográfica foi desenvolvido no mesmo *software*, juntamente com as extensões ("*plugins*") disponíveis no endereço eletrônico da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI): *Spatial Analyst* e *Hydrology Modeling*. A metodologia utilizada nesse processo subdividiu-se em quatro etapas, sendo: i) preenchimento de depressões ("*fill sinks*"); ii) direção de fluxo ("*flow direction*"); iii) fluxo acumulado ("*flow accumulation*") e iv) delimitação de bacias ("*Watershed*") (DIAS *et al.*, 2004; ALVES SOBRINHO *et al.*, 2010).

Parâmetros Morfométricos da Bacia Hidrográfica

A morfometria pode ser caracterizada através de uma análise quantitativa do relevo, onde se observa a configuração espacial do conjunto das vertentes e drenagens (GUERRA e CUNHA, 2003). Trata-se de uma análise considerada essencial para se entender como quaisquer alterações na estrutura natural do relevo podem provocar os impactos indiretos, como: processos erosivos, processos de movimentos de massa, predições de inundações e assoreamentos. Também segundo Christofolletti (1980) tais informações são de utilidade em numerosas aplicações, como, por exemplo, na modelagem de fluxo hidráulico no transporte e na deposição de poluentes.

De posse dos resultados obtidos por meio dos dados SRTM foram determinadas as características físicas da bacia. As equações para cálculo dos parâmetros morfométricos foram encontradas em Antoneli e Thomaz (2007), Christofolletti (1969), Villela e Mattos (1975), Tonello (2006), e Cardoso (2006), definidos a seguir:

- **Coefficiente de Compacidade (Kc):** relaciona a forma da bacia com um círculo, ou seja, é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia (Cardoso et al., 2006). Quanto mais próximo da unidade, maior a potencialidade de picos de enchentes na bacia hidrográfica, o que corresponde a uma bacia circular (VILLELA e MATTOS, 1975). O coeficiente Kc é determinado por meio da Equação [1]:

$$Kc = 0,28x \frac{P}{\sqrt{A}} \quad [1]$$

onde:

Kc = coeficiente de compacidade adimensional

P = perímetro da bacia (km)

A = área da bacia em (km²)

- **Fator de forma (F):** relaciona a forma da bacia com a de um retângulo. Corresponde à razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (Eq. 2). Uma bacia com fator de forma baixo é menos suscetível a enchentes (VILLELA e MATTOS, 1975).

$$F = \frac{A}{L^2} \quad [2]$$

em que:

F = fator de forma
 A = área de drenagem (m²)
 L = comprimento do eixo da bacia (m)

- **Índice de Circularidade (Ic):** relaciona a área da bacia com a área de um círculo de perímetro igual ao da área da bacia. Quando este valor aproxima-se da unidade a bacia se aproxima da forma circular e diminui conforme a mesma se torna mais alongada (Cardoso et al., 2006). Assim, Ic= 0,51 representa um nível moderado de escoamento, não contribuindo na concentração de águas que possibilitem cheias rápidas. Valores maiores que 0,51 indicam que a bacia tende a ser mais circular, favorecendo os processos de inundação (cheias rápidas). Já os valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada favorecendo o processo de escoamento (Müller, 1953 e Schumm, 1956). Para se determinar o índice de circularidade utilizou-se a Equação [3]:

$$Ic = \frac{12,57 \times A}{P^2} \quad [3]$$

onde:

IC = índice de circularidade
 A = área da bacia (km²)
 P = perímetro da bacia (km)

- **Densidade Hidrográfica (Dh)** - correlaciona a área da bacia com o número total de canais fluviais mapeados (ALVES; CASTRO, 2003). Segundo Lollo (1995), valores menores que 3km⁻¹ apresentam baixa densidade de

drenagem. Valores entre 3 e 7km⁻¹ apresentam média densidade. Já valores entre 7 e 15km⁻¹, apresentam alta densidade hidrográfica (Tabela 1). Esse parâmetro demonstra a capacidade hídrica e competência da bacia estudada na formação de novos canais fluviais. Para se determinar a densidade hidrográfica, foi utilizada a seguinte Equação [4]:

$$Dh = \frac{N}{A} \quad [4]$$

em que:

Dh = densidade hidrográfica
 N = número de rios ou canais
 A = área da bacia (km²)

Tabela 1: Classificação da densidade hidrográfica (Dh) de bacia

Dh (km ²)	Denominação
< 3	Baixa
3 – 7	Média
7 – 15	Alta
> 15	Muito Alta

Fonte: Lollo (1995)

- **Índice de Sinuosidade** - o índice de sinuosidade é a razão encontrada do comprimento real do canal principal da bacia e a distância vetorial entre os pontos extremos do canal principal, conforme equação 5 (Schumm, 1956). Valores próximos a 1 indicam canais mais retilíneos e, segundo Antoneli e Thomaz (2007), esse tipo de canal favorece um maior transporte de sedimento. Valores superior a 2 indicam canais mais tortuosos e valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares.

$$Is = \frac{Lc}{Lv} \quad [5]$$

onde:

Is = índice de sinuosidade, adimensional
 Lc = comprimento do canal principal (km)
 Lv = comprimento vetorial do canal principal (km)

- **Gradiente de Canais (Gc)** – está relacionado à declividade média do canal analisado, podendo ser expressa em porcentagem ou em grau, onde 100% correspondem a 45° de inclinação (CHRISTOFOLETTI, 1969). Para se determinar o gradiente de canais, foi utilizada a Equação [6]:

$$Gc = \frac{A \text{ máx}}{Lc} \quad [6]$$

sendo:

Gc = gradiente de canais (m/km⁻¹)

Amax = altitude máxima da bacia (m)

Lc = comprimento do canal principal (km).

- **Relação de Relevo (Rr)** - relação entre a amplitude altimétrica (Δa) com a maior distância encontrada nas extremidades da bacia hidrográfica (L) (CHRISTOFOLETTI, 1969), ou seja, quanto maior o valor de Rr, maior será o desnível entre a cabeceira e o exutório, conseqüentemente maior será a declividade média da bacia (SCHUMM, 1956). Para o cálculo da relação de relevo foi utilizada a Equação [7]:

$$Rr = \frac{\Delta a}{Lc} \quad [7]$$

sabendo que:

Rr = relação de relevo (m/km⁻¹)

Δa = amplitude altimétrica (m)

Lc = comprimento do canal principal (km)

- **Densidade de Drenagem (Dd)** - considera toda a rede de drenagem vetorizada, correlacionando-a com a área da bacia. Segundo Christofolletti (1969), valores elevados de Dd indicam áreas com pouca infiltração e melhor estruturação dos canais. A densidade de drenagem (Dd) foi obtida por meio da Equação [8] e classificada pela Tabela 2:

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad [8]$$

em que:

Lt = comprimento total dos canais (km)
A = área da bacia (km²)

Tabela 2: Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia

Dd (km km ⁻²)	Denominação
< 0,50	Baixa (Pobre)
0,50 – 1,50	Mediana (Regular)
1,50 – 3,50	Alta (Boa)
> 3,50	Muito Alta (Bem drenada)

Fonte: Beltrame (1994)

- **Coefficiente de manutenção (Cm)** - fornece a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento (Schumm, 1956). É considerado como um dos índices mais importantes do sistema de drenagem. O Coeficiente de manutenção (Cm) é calculado pela Equação [9]:

$$Cm = \frac{1}{Dd} \quad [9]$$

em que:

Cm = coeficiente de manutenção
Dd = densidade de drenagem.

Para a análise de superfície, foi utilizado a metodologia de Dias et al . (2004) e Alves Sobrinho *et al.* (2010), usando os dados já gerados no MDE, juntamente com as extensões (“*plugins*”) disponíveis no endereço eletrônico da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI): *Spatial Analyst* e *Hydrology Modeling*. Seguindo as etapas a seguir: *ArcToolbox: Spatial Analyst Tools > Surface > Hillshade* (relevo sombreado); *>Aspect* (orientação de vertentes) e *>Curvature* (determinação das curvaturas)(BORTOLOTI, 1997)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Delimitação e Caracterização da Bacia do Rio Subaé - Bahia

A Figura 2 apresenta a hierarquia fluvial da Bacia Hidrográfica do rio Subaé (BHRS) – Bahia, com a identificação das drenagens de primeira à quinta ordem. A Tabela 3 apresenta sua caracterização morfométrica, onde, a área de drenagem encontrada foi de 559,23 km² de área e perímetro 167,56 km. O coeficiente de compacidade encontrado foi de 7,08 km⁻¹, indicando baixo potencial para enchente; o fator foram foi de 0,18m, confirmando o parâmetro Kc, que a bacia apresenta baixo potencial para ter enchentes. A densidade hidrográfica encontrada foi de 12,25 canais/km², ou seja, considerada alta. Isso indica que esta área tem uma grande capacidade de formar novos canais, sendo classificada como de 5^a ordem de acordo com a classificação de Strahler (1964).

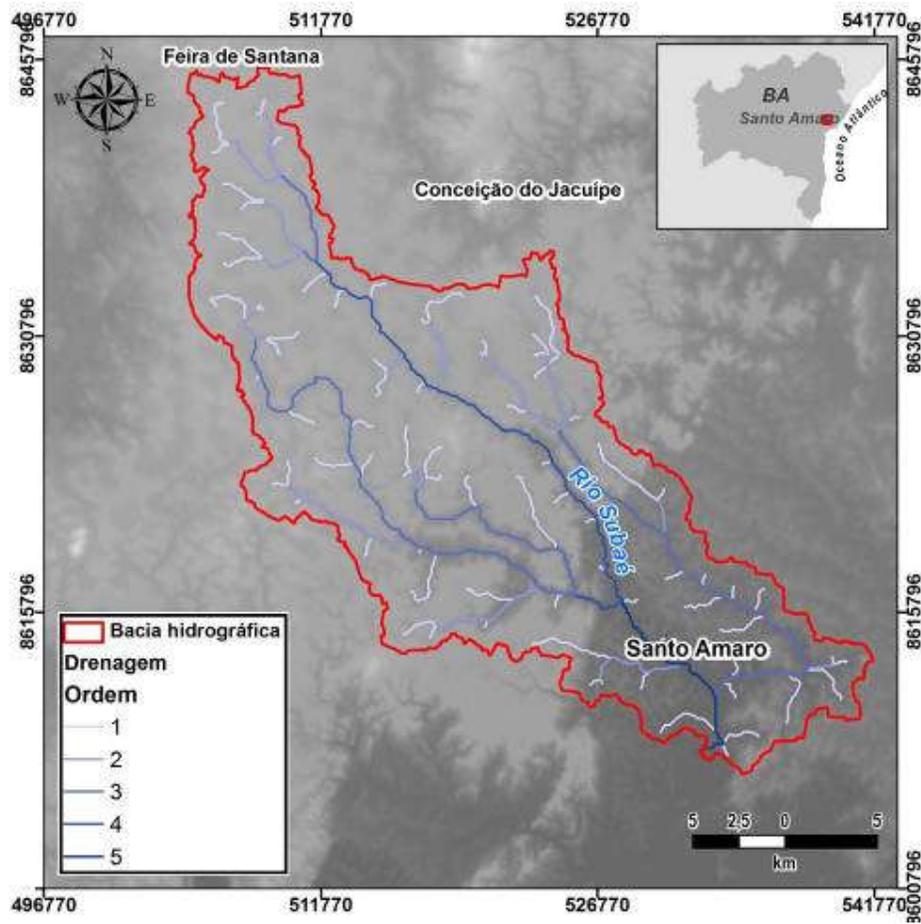


Figura 2 – Hierarquia Fluvial da BHRS- Bacia
Fonte: Dados da Pesquisa

O rio Subaé (principal rio da bacia) mede 55 km de extensão, com uma densidade de drenagem de $1,015\text{km}^{-1}$. Conforme classificação de VILLELA e MATOS (1975) apresentada na Tabela 2, a bacia em estudo possui capacidade de drenagem regular, apresentando relevo com média declividade, rampas longas e solos profundos na sua nascente e rasos na parte central e exutório, com capacidade de infiltração moderada a baixa.

A BHRS também apresenta forma retangular, só que muito mais alongada, aspecto indicado por seu índice de circularidade que é de apenas 0,25, forma esta que favorece o processo de escoamento. O Índice de sinuosidade é de 1.01 km^2 , indicando que os canais são mais retilíneos, o que favorece um maior transporte de sedimentos.

A relação de relevo encontrada com aplicação do parâmetro foi de 5,45. Esse valor indica que a bacia tem uma baixa relação de relevo entre os componentes horizontais (alongada) e verticais (baixa amplitude altimétrica). Além disso, apresenta também, uma área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento de $0,99\text{km}^2$, calculado através do coeficiente de manutenção.

Tabela 3: Características morfométricas da bacia do rio Subaé

Características	Bacia do Rio Subaé
Área da bacia (km^2)	559,23
Quantidade de canais fluviais	6853
Extensão da rede hidrográfica (km)	567,40
Perímetro da bacia (km)	167,56
Hierarquia fluvial (ordem)	5 ^a
Quantidade de afluentes diretos	21
Extensão do rio principal (km)	55
Densidade hidrográfica (quantidade de canais por km^2)	12,25
Padrão de drenagem	dentrítico
Quantidade e % de canais de 1 ^a ordem	77 (73%)
Quantidade e % de canais de 2 ^a ordem	21 (20%)
Quantidade e % de canais de 3 ^a ordem	5 (4%)
Quantidade e % de canais de 4 ^a ordem	2 (2%)
Quantidade e % de canais de 5 ^a ordem	1 (1%)
Densidade de drenagem (km km^{-2})	1,015

Feições Morfológicas Encontradas na Bacia do Rio Subaé

A área da BHRS apresenta quatro grandes unidades: Tabuleiros Interioranos, Tabuleiros Costeiros, Tabuleiros do Recôncavo e Baixada Litorânea. Essa se encontra em posição altimétrica muito rebaixada, não ultrapassando 100 m de altitude (Figura 3), apresentando modelado de acumulação.

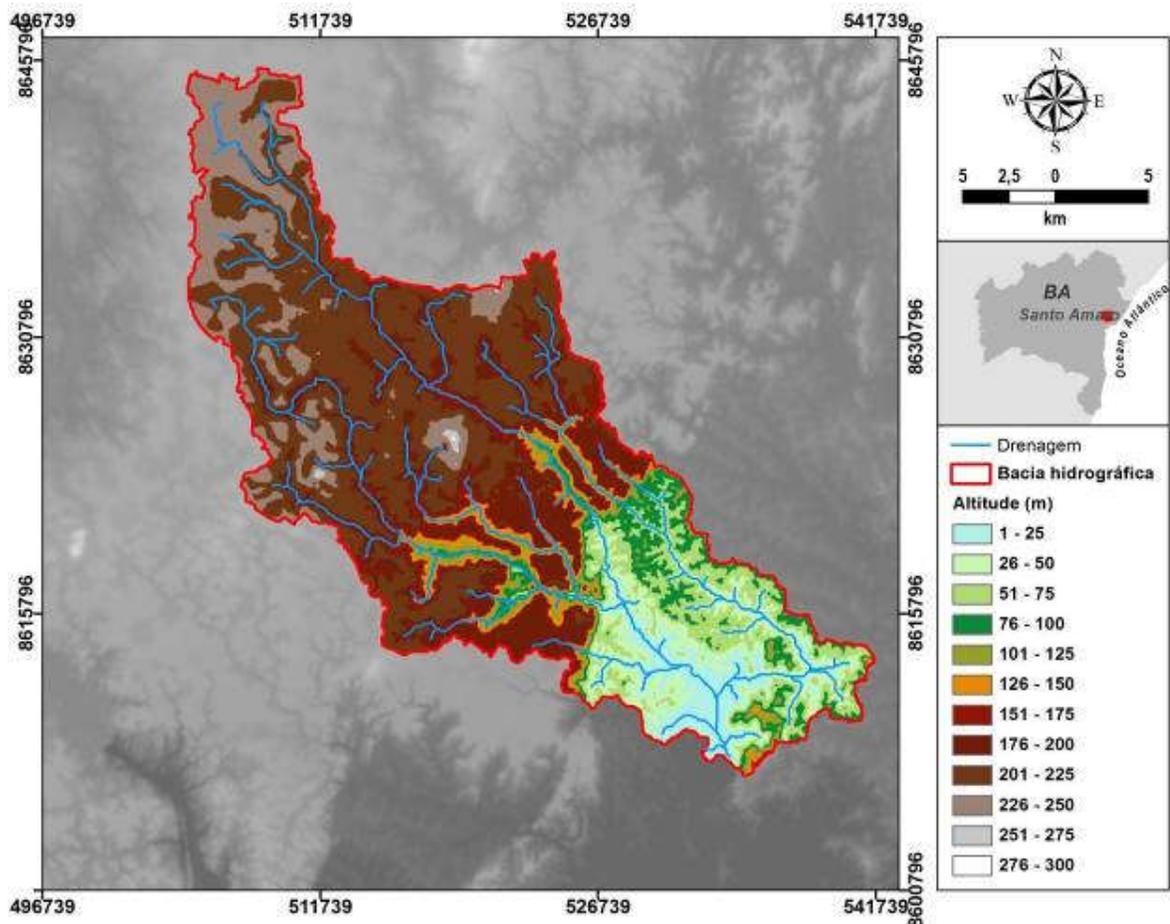


Figura 3 – Mapa Planialtimétrico da BHRS – Bahia
Fonte: Dados da Pesquisa

As áreas que compreendem os Tabuleiros Costeiros corresponde à geologia do Grupo Barreiras é constituída por uma sedimentação clástica; consistindo de arenitos argilosos, com incipiente estratificação plano-paralela, intercalados por siltitos e argilas, bem como lentes conglomeráticas e caulínicas (IBGE, 1999). Os solos característicos, desenvolvidos a partir dos sedimentos dessa unidade, são os

podzólicos Vermelho-Amarelo. Compreende relevos de altitude média entre 175 e 225 metros, ondulado, definidas por vertentes com declividade entre 5 e 8% (Figura 6), onde está localiza a nascente do rio Subaé.

A maior parte da bacia observa-se a formação geológica de Bacia Sedimentar do Recôncavo, representada aqui pelo Grupo Santo Amaro, o qual consiste essencialmente de folhelhos, siltitos e arenitos. De acordo Nunes, Ramos e Dillinger (1981), esta unidade geológica engloba dois diferentes tipos de relevo: Tabuleiros do Recôncavo e Tabuleiros Interioranos e as Baixadas Litorâneas. Os Tabuleiros estão localizados na parte central da BHRS, apresentando feições morfológicas advindas de sucessivos processos de dissecação, com topos aplanados e bordas desniveladas com declividade acentuada, a exemplo dos cânions do Subaé, com cerca de 50m de profundidade e largura em torno de 250m (Figura 4) formando cachoeiras, sendo a maior delas a cachoeira do urubu com cerca de 20 metros de altura (Figura 5), localizada á direita do rio Sergi. Apresentam de modo geral declividades bem acentuadas, superiores a 5%, com altitudes médias superiores a 260 metros.



Figura 4 – Estratificação cruzada de grande porte
Fonte: Fuezi, 2010



Figura 5 – Cachoeira do Urubu – Santo Amaro
Fonte: Fuezi, 2010

Baixada Litorânea, por sua vez, corresponde a parte sudeste da bacia, onde se pode observar seu exutório. É caracterizado pelas Planícies Marinhas e Flúviomarinhas, sendo formada por colinas rebaixadas e restos de tabuleiros com altitudes raramente superiores a 100m, resultado da acumulação de sedimentos transportados pelos rios associado aos movimentos de mares, corresponde a uma formação recente, onde está localizado o ecossistema manguezal.

Os terraços flúvio-marinhos e toda a área de acumulação fluvial e marinha apresentam formas de relevo definidas como rampas de fundo de vale e se caracterizam por apresentar topografia de relevo plano, a exemplo dos cordões litorâneos e manguezais com até 3% de declividade.

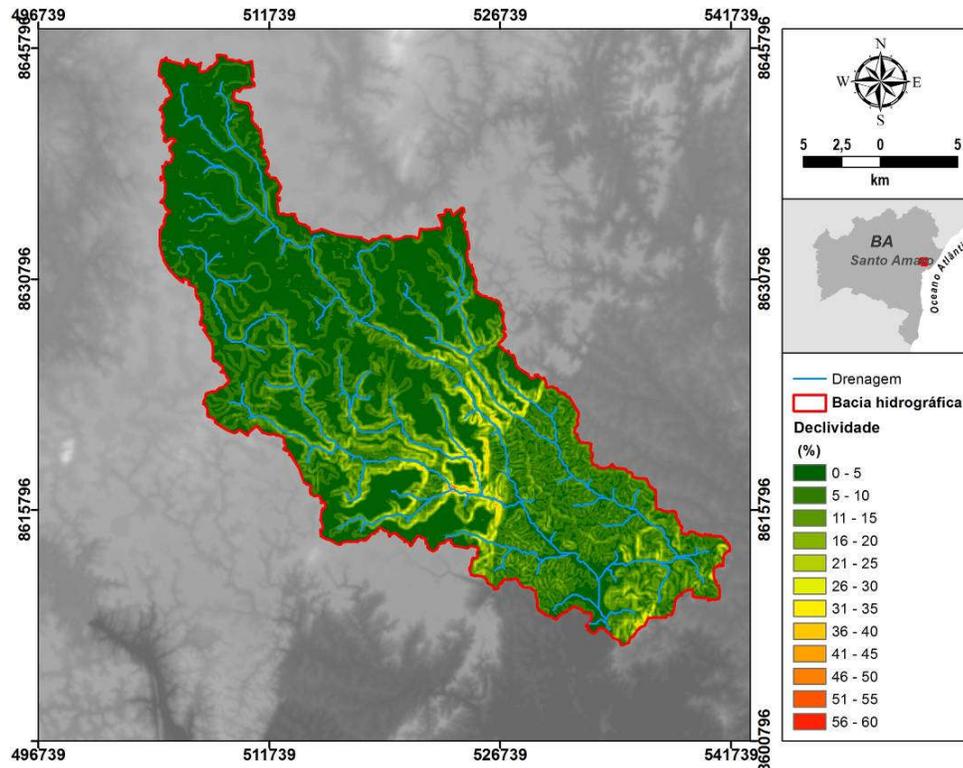


Figura 6 – Mapa de Declividade em (%) da BHRS – Bahia
Fonte: Dados da Pesquisa

Análise de Superfície

Relevo Sombreado

O realce do relevo através da simulação de diferentes geometrias de iluminação proporcionou o sombreado no relevo, dando a impressão de concavidade e convexidade permitindo visualizar as superfícies rebaixadas e elevadas ou áreas de degradação e agradação, bem como a ondulação do relevo.

Na Figura 7 é possível identificar pequenos vales cortados por cursos de água em sua maioria perfazendo um padrão de drenagem dendrítico. Em alguns locais observaram-se também cursos de água paralelos, que podem ser identificados no setor N-NE da área de estudo. Verifica-se, também, que a bacia estudada apresenta apenas 16% de relevo plano, o qual está associado às menores declividades (inferiores a 5%), que compreendem as planícies de inundação (área de acumulação ou várzeas).

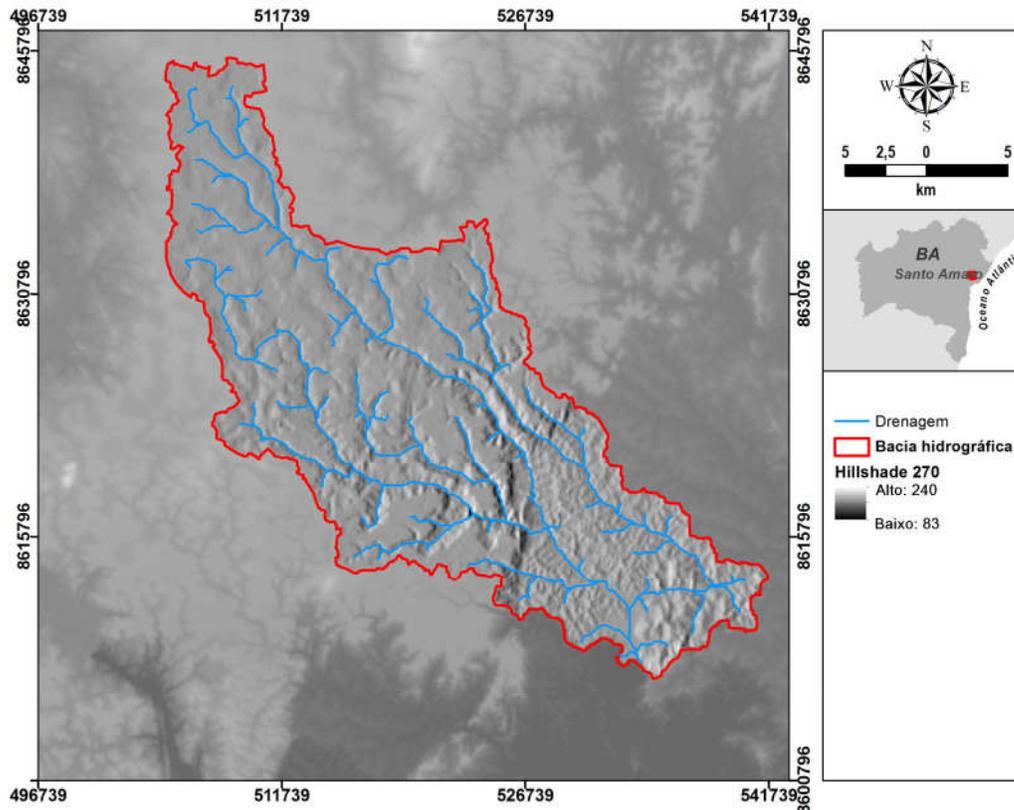


Figura 7 - Relevo Sombreado BHRS – Bahia
Fonte: Dados da Pesquisa

Curvatura das Vertentes (Perfil e Plano)

Na parte noroeste da bacia, com base na Figura 8, a geomorfologia desenvolvida sobre os sedimentos da formação Barreiras, formada por planalto ondulado e circundado por morros testemunhos de rochas pré-cambrianas (embasamento cristalino), onde se localiza a nascente do rio Subaé, verifica-se o domínio de formas côncavas das vertentes, o qual favorece a aceleração do fluxo e o processo de erosão, formas, estas, muito parecidas com as da bacia sedimentar do rio Vaza-Barris-BA (RIOS, 2014). Estas formas são observadas também no entorno dos morros residuais, que também têm grande ocorrência de formas convexas, em concomitância com as formas côncavas, principalmente em seus topos.

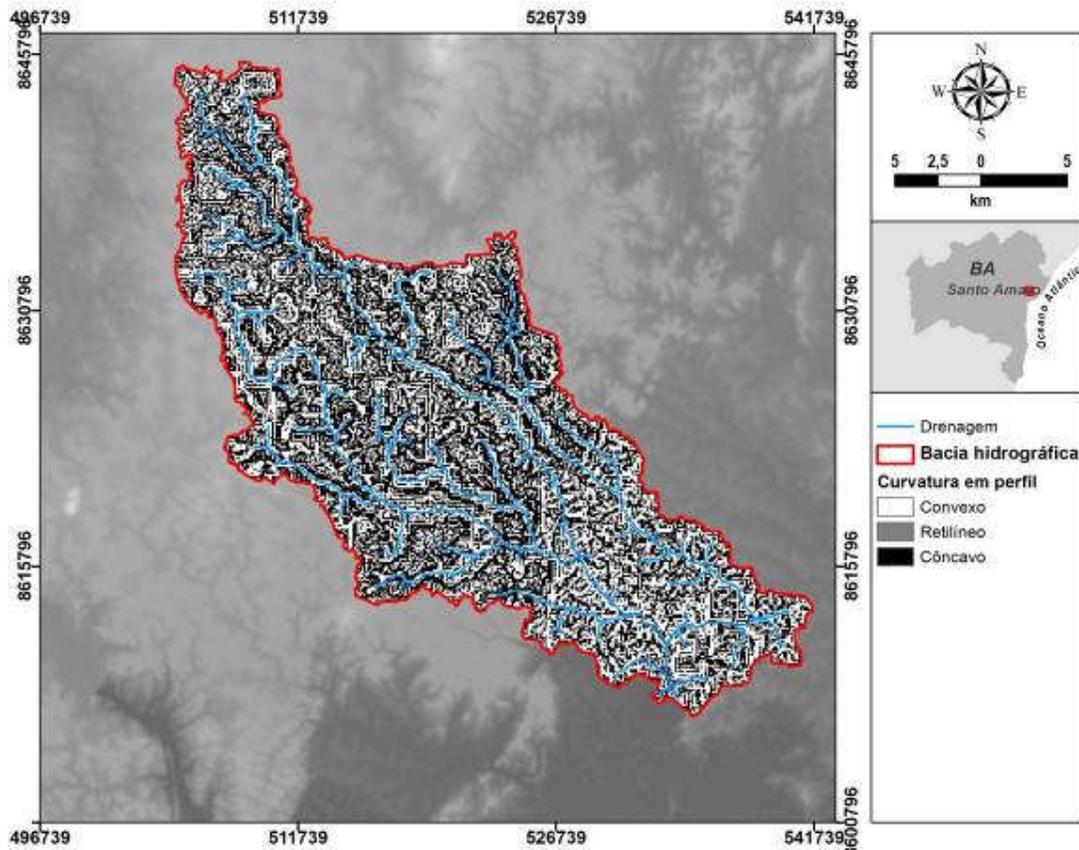


Figura 8 - Mapa Curvatura (perfil) da BHRS – Bahia
Fonte: Dados da Pesquisa

A curvatura em plano apresenta-se muito semelhante à curvatura vertical nessa porção do relevo, sendo que as áreas convergentes e divergentes dispõem-se intercaladas entre si, em curtas distâncias (figura 9). Vale ressaltar que essas formas divergentes das vertentes favorecem os processos de erosão, e são observados principalmente nos divisores de água.

As formas Convergente/Côncava e Divergente/Convexa prevalecem nas partes mais movimentadas e elevadas do terreno da bacia, correspondendo à parte central da bacia, pertencente bacia sedimentar do Recôncavo. A geomorfologia ali formada apresentam concentração e acúmulo do escoamento, originados pela forma Convergente/Côncava e, dispersão do escoamento, caracterizado pela forma Divergente/Convexa. Essa configuração favorece a convergência e divergência dos fluxos e, conseqüentemente, à erosão acelerada. Destaca-se, ainda, a configuração Retilíneo/Planar no L-SE da bacia, correspondente às planícies fluviais na região de depósitos marinhos continentais costeiros, favorecendo a formação de ambientes de acumulação, bem como áreas aplainadas. Essas áreas planas e as planícies fluviais

são delimitadas de maneira bem evidente pelas formas retilíneas, indicando áreas de acumulação de sedimentos.

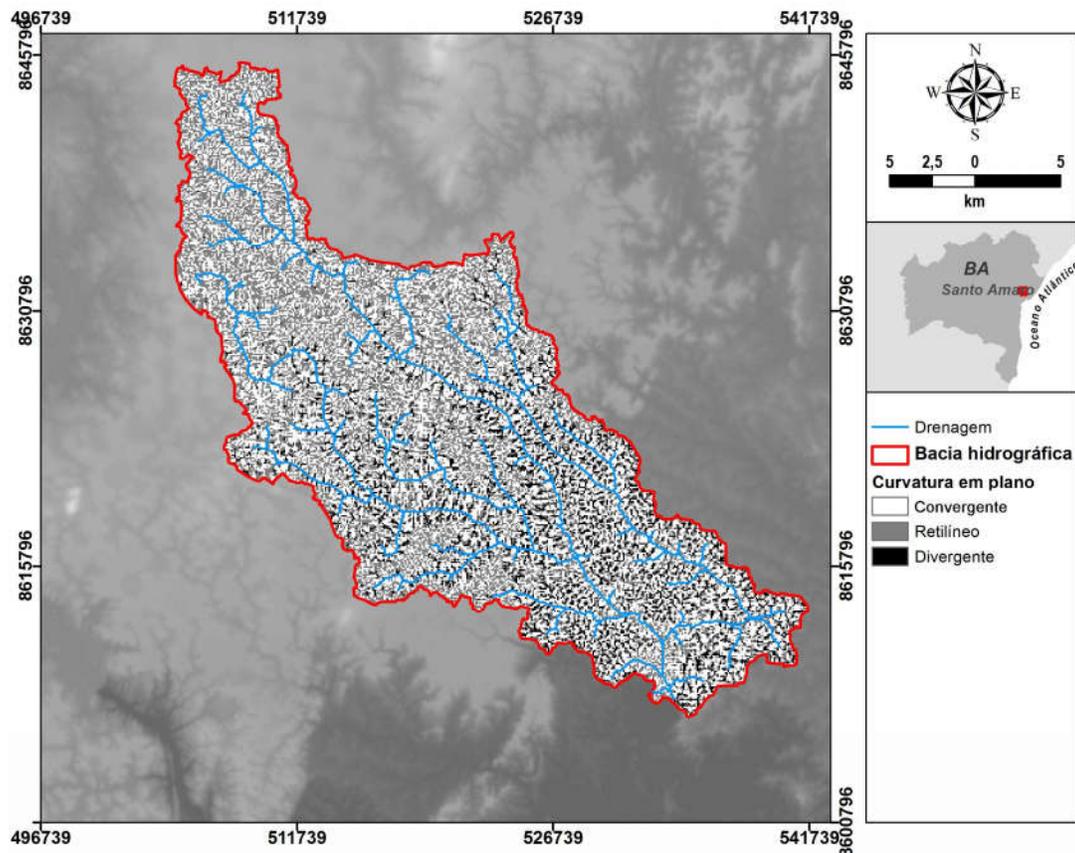


Figura 9 - Mapa Curvatura (plano) da BHRS – Bahia
Fonte: Dados da Pesquisa

Orientação das Vertentes

Outro aspecto avaliado foi à orientação de vertentes (Figura 10), gerado considerando um ângulo azimutal de 315 graus e um ângulo zenital (elevação) de 45 graus, sendo determinado pelo grau de insolação devido o movimento aparente do Sol durante o dia e ano, haja vista que os fenômenos físicos, químicos e biológicos ocorridos na litosfera estão direta ou indiretamente relacionados com a quantidade de radiação solar incidente sobre a superfície.

Segundo Lima (1986) o fator orientação do relevo afeta as perdas por transpiração e evaporação, devido a sua influência sobre a quantidade de radiação solar recebida pela bacia refletindo assim, na manutenção dos ecossistemas. Logo, foram consideradas oito direções quanto à orientação de vertentes na BHRS,

verificando-se que as vertentes orientadas para Norte ocupam uma área correspondente a 12.5% da área de estudo.

O somatório dos percentuais de área ocupada pelas vertentes Leste, Nordeste, Norte, obteve-se 37,5% da área total da BHRS. Este resultado indica que a essa área da bacia recebe maior incidência de radiação solar. As vertentes direcionadas a Sudoeste, Sul e Sudeste, somam 62,5% da área da bacia, e são as vertentes de menor incidência de radiação solar, retendo, assim, ao longo do dia e do ano uma quantidade maior de umidade no solo e nos materiais inconsolidados superficiais.

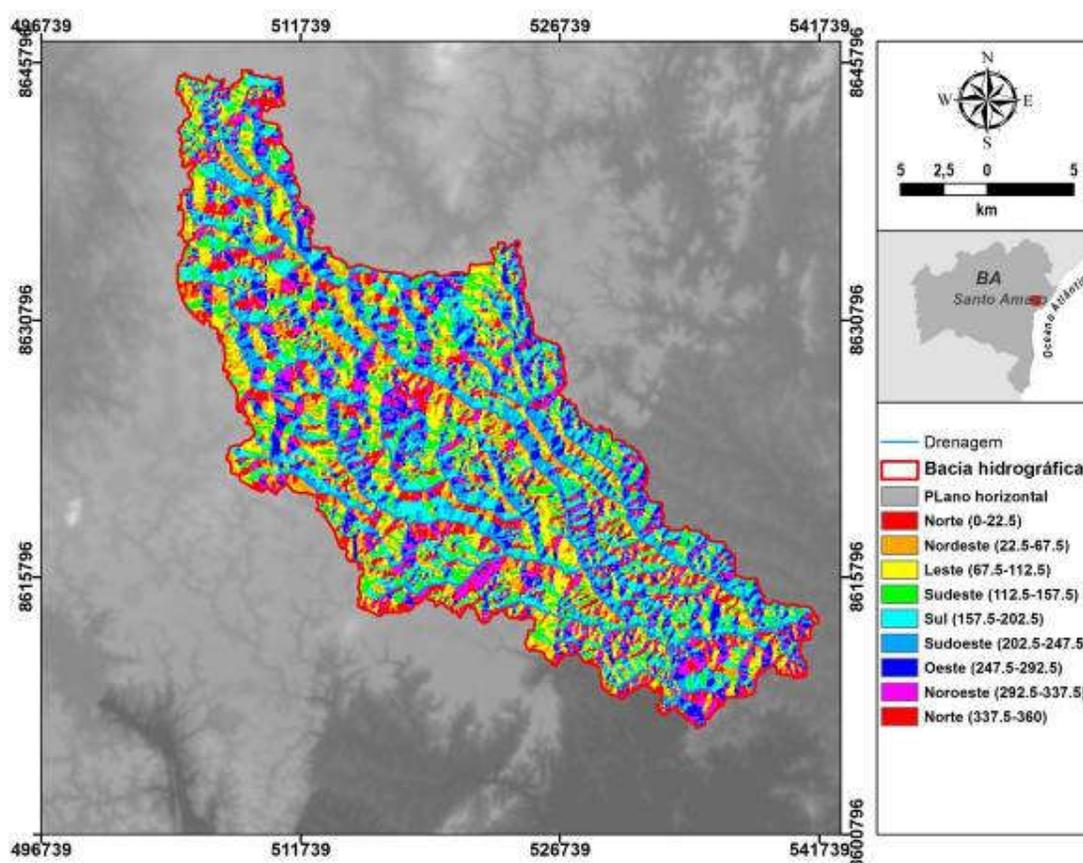


Figura 10 - Mapa Orientação das Vertentes da BHRS – Bahia
Fonte: Dados da Pesquisa

CONCLUSÃO

O resultado da análise dos parâmetros morfométricas da bacia permitiu verificar que a mesma, é uma bacia pequena, alongada, com forma retangular, fatores estes que levam a mesma a ter baixa susceptibilidade a enchentes.

Entretanto, apesar de possuir baixa susceptibilidade a enchentes, fatores como a geologia e os solos ao longo da BHRS, associados as chuvas intensas, podem levar a processos de inundação nas áreas próximas ao estuário.

As vertentes convexas e retilíneas apresentaram ocorrência erosiva muito menor que as áreas côncavas, contudo ainda assim as convexidades têm maior concentração de feições que as vertentes retilíneas. Isto pode ser explicado pela convexidade das vertentes, assim como, as vertentes côncavas, estão situadas em locais de relevo mais movimentado nas cabeceiras da bacia. Já as vertentes retilíneas estão claramente relacionadas a áreas mais planas e mais suaves.

Vale ressaltar que o uso de Geotecnologias permitiu que as análises morfométricas e de susceptibilidade da bacia fossem realizadas com celeridade, servindo como referência para estudos que considerem esses parâmetros nas pesquisas sobre a contaminação por metais traço na área de estudo.

LITERATURA CITADA

ALVES, J.; CASTRO P. de T. A. Influência de Feições Geológicas na Morfologia da Bacia do Rio Tanque (MG) Baseada no Estudo de Parâmetros Morfométricos e Análise de Padrões de Lineamento. **Revista Brasileira de Geociências**, v.33, n.2. p.117-124. 2003.

ALVES SOBRINHO, T. et al . **Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 30, n. 1, fev. 2010 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162010000100005&lng=pt&nrm=iso>. acessos em 04 nov. 2014.

ANJOS, J.A.S. A. ; SANCHEZ, L. E.. Plano de Gestão ambiental para sítios contaminados com resíduos industriais: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação - BA. In: **Bahia Análise & Dados, Salvador/BA**, v.10 n. 4 p.306-309,

mar. 2001. Disponível em: http://jangelo.unifacs.br/downloads/Projeto_Purifica.pdf. Acesso em: 12 jul. 2014.

ANTONELI, Valdemir; THOMAZ, Edivaldo Lopes. Caracterização do meio físico da bacia do arroio Boa Vista-Guaramiranga (PR). **Caminhos de Geografia**, v. 8, n. 21, 2007.

BAND, L.E. (1986) Topographic partition of watersheds with digital elevation models. **Water Resources Research**, 22 (1): 15-24.

BARBOSA, J. F.; DOMINGUEZ, J.M. L. **Geologia da Bahia**: texto explicativo. Governo do Estado da Bahia, Secretaria da Indústria, Comércio e Mineração, Superintendência de Geologia e Recursos Minerais, 1996.

BLUM, W. E. H. **The Role of soil in Sustaining Society and the Environment**: Realities and challenges for the 21st Century. Keynote Lectures. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17^o, Bangkok, Tailândia, 2002. p. 67-86

BORTOLOTTI, F. D. (1997) **ArcGIS Aplicado a Bacias Hidrográficas** - Aula 6. Disponível em http://www.ltc.ufes.br/gisbasins/Aula_06.pdf, Acesso em 13 de junho de 2015.

BOTELHO, Rosângela Garrido Machado. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 269-300, 1999.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Recursos hídricos**: conjunto de normas legais. 2. Ed. Brasília: MIN, julho de 2004. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br>. acesso em 23 de dezembro de 2014.

CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.T.; SOARES, C.P.B. & MARTINS, S.V. (2006) Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, 30 (2): 241-248.

CARVALHO, F.M; et al. **Absorção e intoxicação por chumbo e cádmio em pescadores da região do Subaé**. **Ciência e Cultura**, 35(3), 360-366, 1983.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em Março 2015

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas**. Notícia Geomorfológica, v. 9, n.18, p. 35-64, 1969.

_____. **Geomorfologia Fluvial**, 2a. ed., São Paulo: Edgard Blucher, 313 p, 1980.

COELHO NETO, A. L. **Aplicações de geoprocessamento em bacias de médio e grande porte**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. 2007. Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007, p. 2437-2445.

COLTRINARI, L. **Geomorfologia: Caminhos e Perspectiva**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Volume 1, Nº 1, p. 44-47, 2000.

CUNHA, S. B. Geomorfologia Fluvial. Cap.5. P211-246 in Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Organizadores: Antonio José Teixeira Guerra e Sandra Baptista da Cunha. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro. 1994. CUNHA, Sandra Baptista da. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995. p. 211-252

CUNHA, C. M. L.; MENDES, I. A. Proposta de análise integrada dos elementos físicos da paisagem: uma abordagem geomorfológica. **Estudos Geográficos**. Rio Claro: UNESP, v.3, n.1, p.111-120, jan-jun, 2005.

DEBUSK, T. A.; LAUGHLIN, R. B. Jr; SCHWARTZ, L. N. Retention and compartmentalization of lead and cadmium in wetland microcosms. **Water Research**, 30(11), 2707-2716, 1996

DIAS, L.S.O.; ROCHA, G.A.; BARROS, E.U.A.; MAIA, P.H.P. Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 4, n.2, p.265-271, 2004.

DUARTE, G. G. F.; ASSAD, M. L. L. **Avaliação de MDE obtidos por meio de SRTM**. IN: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. 2007. Florianópolis. Anais. São José dos Campos:INPE, 2007. p.4849-4855.

FARR, T. G., and M. Kobrick (2000), **Shuttle radar topography mission produces a wealth of data**, Eos Trans. AGU, 81(48),583–585, doi:10.1029/EO081i048p00583.

FARR, T. G., et al. (2007), **The Shuttle Radar Topography Mission**, Rev. Geophys., 45, RG 2004, doi:10.1029/2005RG000183.

FLORENZANO, T.G. **Geomorfologia e Tecnologias Atuais**. São Paulo, ed. Oficina de Textos, 2008.

FUEZI, V.M.S. **Geossítio Cânion Do Rio Sergi (Santo Amaro, Bahia): Valores e Ameaças**. Monografia – Curso de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2010. Disponível em http://www.twiki.ufba.br/twiki/pub/IGeo/GeolMono20102/vanessa_fuezi_2010.pdf

GARBRECHT, J. & MARTZ, L.W. (1997) The assignment of drainage direction over flat surfaces in raster digital elevation models. **Journal of Hydrology**, 193:204213.

GOERL R.F.; KOBIYAMA M.; SANTOS I. Hidrogeomorfologia: Princípios, conceitos, processos e aplicações. In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, n.2, p.103-111, Abr./Jun. 2012

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico** – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997, p. 652.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B (Orgs.). **Geomorfologia e meio ambiente**. 6 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **RADAMBRASIL**. Folha SD.24 Salvador: potencial dos recursos hídricos/IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 1999

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de Geomorfologia / IBGE**, Coordenação de Recursos naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2009.

LIMA, G. M. P. & LESSA, G. C. **The Hypsometry of todos os Santos Bay and significance of the freshwater discharge**. In: Congresso Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 8. Mariluz, Imbé-RS, 2001. Mariluz, Imbé-RS. Anais. ABEQUA, 116-117.

LOLLO, W. P. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. 1995. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

MACHADO, S. L; **Diagnóstico da contaminação por metais pesados em Santo Amaro – BA**. Engenharia Sanitária e Ambiental, n9, p. 140-155, 2010

MELIANI, Paulo Fernando et al. **Análise geomorfológica das bacias dos rios Jeribucassu e Burundanga**, Itacaré, Bahia. 2003.

MÜLLER, V. C. **A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain área**. Technical Report. New York: Columbia University, n.3. 1953. 30p.

PAOLIELLO, M. M. B. E; CHASIN, A.A.M. **Ecotoxicologia do chumbo e seus compostos**. Salvador: CRA, 2001. 144 p. (Cadernos de referência ambiental, v. 3).

PEIXOTO, J.S. **Estimativa das perdas de solo e do transporte de chumbo e zinco por erosão hídrica no entrono da cidade de Santo Amaro da Purificação, Bahia**. Cruz das almas: UFRB, 2013.

PINHEIRO, E. S. **Comparação entre dados altimétricos SRTM, cartas topográficas e GPS: numa área com relevo escarpado**. Revista Brasileira de Cartografia, n.58 v.1. Rio de Janeiro:ABC, 9p, 2006.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. & DEL PRETTE, M. E. **A Utilização do Conceito da Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais**. In: Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações. Editores Alexandre Schiavetti, Antônio F. M. Camargo. – Ilhéus, Ba: Editus, 2008.

REIS, J. O.N. **Determinação polarográfica de Pb_2^+ e Cd_2^+ em águas do rio Subaé** – Sto. Amaro – Bahia:UFBA, 1975.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia: Base para distinção de ambientes**. Viçosa: UFLA, 5 ed. Revisada. 2007.

RIOS, Irialinne Queiroz; VALE, Raquel Matos Cardoso. Morfometria do relevo como subsídio para a análise da desertificação na Bacia Hidrográfica Vaza-Barris-BA. **X Simpósio Nacional de Geomorfologia-SINAGEO. Manaus. Anais**, 2014.

ROSS, Jurandy LS. Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 4, p. 25-39, 1985.

SIRGAS (**Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas**). 2014. Disponível em: <http://www.sirgas.org>. Acesso: 01 dez. 2014.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, v.67, n.5, p.597-646, 1956.

Superintendência de Recursos Hídricos – SRH - **Plano Diretor de Recursos Hídricos – Bacia do Recôncavo Leste** – 1996.

STIPP, N.A.F., CAMPOS, R.A., and CAVIGLIONE, J.H. "Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Taquara–Uma contribuição para o estudo das ciências ambientais." **Portal de Cartografia das Geociências** 3.1 (2010): 105-124.

STRAHLER, A.N. (1964) Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. Section 4-2. In: Vem te Chow (ed.). **Handbook of applied hydrology**. New York: McGraw-Hill. p. 4-55.

TARBOTON, D.G.; BRAS, R.L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. **On the extraction of channel networks from digital elevation data**. Hydrological Processes, Chichester, v.5, n.1, p.81-100, 1991.

TONELLO, K. C.; Dias, H. C. T.; SOUZA, A. L.; Alvares, C. A.; RIBEIRO, S.; Leite, F. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões – MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

TORRES, T. G.; PARANHOS FILHO, A. C.; TERUYA JUNIOR, H.; CORRÊA, L. C.; GARCEZ, A. J. S.; COPATTI, A. **Utilização dos dados SRTM na geração dos limites da bacia hidrográfica do rio Formoso (Bonito,MS)**. IN: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 1. 2006. Campo Grande. Anais. São José dos Campos: INPE, 2006. p.145-154.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 2004, 72p.

Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPDATA. IN: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. 2005. Goiânia. Anais. São José dos Campos: INPE, 2005. p.3595-3602.

VILLELA, S.M.; & MATTOS, A. (1975) **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill. 245p.

YIN, X; et. Al. Colloid-facilitated Pb transport in two shooting-range soils in Florida. **Journal of Hazardous Materials**, n. 177(1/33), p. 620/625, 2010

ZHANG, M; et al. Effects of readily dispersible colloid on adsorption and transport of Zn, Cu, and Pb in soils. **Environment International**, n.6, v,31, p. 840/844, 2005.

CAPÍTULO 2

ANALISE HIDROQUÍMICA DO RIO SUBAÉ – SANTO AMARO - BAHIA

ANALISE HIDROQUÍMICA DO RIO SUBAÉ – SANTO AMARO - BAHIA

Resumo:

O estudo hidroquímico de águas superficiais e subterrâneas contribui para melhor caracterização da composição química dessas águas superficiais, e associado às análises dos parâmetros físico-químicos permite conhecer a qualidade dos recursos hídricos monitorados. Desta forma, este trabalho apresenta a avaliação realizada acerca da concentração de metais traço nas águas superficiais do rio Subaé-Bahia. A área apresenta histórico de contaminação em decorrência de atividades industriais de beneficiamento da galena durante 33 anos. Foram realizadas 6 (seis) coletas de água, a cada 2 (dois) meses, atendendo ao período de 1 ano. Foram analisadas as concentrações de metais-traço na fração dissolvida e na fração particulada. Para a análise de cátions e ânions foram utilizados os métodos EPA 300-0 e ASTM D6919-09, já para análise de metais-traço utilizou-se o ICP-AES. Os resultados mostraram que, apesar da área apresentar alta contaminação do solo por metais e estar inserida numa região de alto índice pluviométrico, o que acarreta em um intenso escoamento superficial, foram observados baixos teores de metais na água do rio, os quais foram muito abaixo do limite estabelecido pela resolução 357/05 do CONAMA. Entretanto, os teores dos compostos iônicos analisados, mostraram que há contaminação por efluentes domésticos e agrícolas.

Palavras-Chaves: rio Subaé, Metais-traço, Material Dissolvido e Material Particulado em Suspensão.

INTRODUÇÃO

A preocupação com a qualidade e a quantidade dos recursos naturais tem gerado várias pesquisas nos centros acadêmicos, uma vez que a crescente demanda pelo uso desses recursos está sendo acompanhada nas últimas décadas pela deterioração dos mesmos, causando prejuízos diretos para toda a biota de uma determinada região e, que atingem direta ou indiretamente os seres humanos (QUEIROZ; CELINO, 2008). Em Santo Amaro, Bahia, ocorreu uma poluição de grande amplitude entre 1960 e 1993 através de atividades metalúrgicas de tratamento de minério de chumbo (TAVARES; CARVALHO, 1992). Tais atividades contaminaram por metais diversos ambientes (naturais, rurais e urbanos) pela geração de poluentes na forma gasosa (emissão na chaminé), sólida (espalhamento de 500 mil toneladas de escórias) e líquida (transbordamento de bacia de decantação e erosão hídrica de solos contaminados). Conseqüentemente, o resultado de todas essas atividades é observado na redução da biodiversidade (PETERSEN, 1982; CARVALHO et al., 2001; GUERRA, 2010), e da produtividade aquática desse ambiente (BRASIL, 2003; ANDRADE, 2012, ALCÂNTARA, 2010), afetando o meio de sobrevivência econômico e fisiológico da população ribeirinha (ALMEIDA, 2010; PONTES, 2009), e principalmente aos problemas de saúde acometidos a essa população (TAVARES, 1990, GUERRA, 2010; COSTA, 2001; CARVALHO et. al 2001; TEIXEIRA, 2009).

Já foi detectada poluição em partes da bacia hidrográfica, nos compartimentos sólidos solos (ASEVEDO, 2012; PEIXOTO, 2013; CARVALHO, 2010) e sedimentos (ANJOS, SÁNCHEZ, 2001; BARRERO, 2008; SILVA, 2014; COUTO, 2014). Uma das formas de estudar de maneira integrada e sintética essa poluição é verificar, também as suas concentrações nas águas superficiais que drenam toda a bacia hidrográfica, o que se torna uma avaliação precisa da qualidade do ecossistema estudado (VINCENTE-MARTORELL et al, 2009).

Essa avaliação deve observar tanto a ocorrência, quanto a concentração de metais presentes na água, haja vista que a poluição por metais pesados está associada tanto à forma dissolvida como à matéria particulada em suspensão na

coluna d'água. Na bacia de drenagem, as fontes de material particulado e dissolvido incluem materiais erodidos de solos, rochas, efluentes (domésticos, industriais e agrícolas) e deposição atmosférica (SILVA, 2005). Entretanto, a caracterização da natureza e a origem do particulado suspenso e do material coloidal são de extrema importância para a compreensão do papel potencial destes materiais no transporte de contaminantes (HILLIER, 2001). Sua importância, bem como a dos íons presentes na água, permite oferecer condições para que se caracterizem as contribuições naturais e antrópicas na área de estudo, bem como fornecer informações sobre os teores dos elementos químicos presentes, contribuindo como indicador nos diagnósticos de impactos ambientais causados na área.

Desta forma, esta pesquisa teve por objetivos analisar elementos químicos maiores e traço na água do rio Subaé, ao longo do seu curso, comparando-os com os limites máximos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 de 2005.

REVISÃO DE LITERATURA

O município de Santo Amaro e o Histórico de Contaminação

O município de Santo Amaro da Purificação – Bahia, está localizado a 72 km de Salvador, é hoje considerada como uma das cidades mais contaminadas no mundo por chumbo (MAZONI E MINAS, 2009). Nesta cidade houve intensa atividade de extração metalúrgica de chumbo entre os anos de 1956 e 1993, pela indústria de mineração e metalurgia – Plumbum Ltda, a qual produziu em suas atividades cerca de 11.000 e 32.000 toneladas de chumbo por ano, o que gerou, conseqüentemente, um passivo ambiental que vem sendo estudado desde a década de 70. Os resíduos gerados continham teores elevados de Si, Ca, Fe, Zn, Pb e S, assim como Cd, As, Sb, Co e Cr (MACHADO et al., 2003).

Com o encerramento das atividades em 1994, a Plumbum (antiga COBRAC), dispôs dos seus resíduos em terrenos, a céu aberto, a menos de 500 metros do rio Subaé e a menos de 10 km da Baía de Todos os Santos, sem que

medidas de proteção fossem tomadas, o que, com a ação do intemperismo e lixiviação, ocasionou a contaminação dos solos, das águas e dos sedimentos na área de depósito e no rio Subaé que margeia a área industrial da Plumbum. Para agravar a situação, a prefeitura de Santo Amaro, entre as décadas de 1960 e 1970, recebeu da Plumbum doações da escória de chumbo que foi utilizada como base para a pavimentação de ruas da cidade, jardins e pátios das escolas devido a sua característica granular e boa capacidade de suporte para pavimentação (MACHADO et al., 2004). Entretanto, o feito em questão, é considerado uma medida de contenção, visto que a impermeabilização promovida pelo asfalto ou pelo pavimento de paralelepípedo hoje existente diminui a infiltração das águas das chuvas no solo, reduz a lixiviação da escória, o espalhamento e o arraste de partículas de poluentes pelo vento (GEOAMB, 2002). Contudo, a recorrente necessidade de remover a pavimentação das ruas para trabalhos nas redes de abastecimento de água e de esgoto e eventuais correções de problemas nos mesmos acabam por expor a escória. Estima-se que existam cerca de 500.000 toneladas de escória depositadas na área da fábrica e na cidade de Santo Amaro (MACHADO et al., 2002).

Contaminação de solos e sedimentos

A palavra contaminação deriva do latim *contaminatio* e diz respeito à ação e ao efeito de contaminar. Faz referência à alteração nociva da pureza ou das condições normais de uma coisa ou de um meio por agentes químicos, físicos ou mesmo biológico. Segundo Alloway (1995), contaminação ocorre quando uma substância potencialmente perigosa ocorre no ambiente, em qualquer concentração, resultando ou não em efeitos danosos ao ambiente. Na prática, o termo em questão se refere a qualquer situação em que uma substância potencialmente tóxica ocorre em elevadas concentrações em um determinado meio natural. Logo, o solo como parte importante desse meio natural, desempenha um papel fundamental na sustentabilidade do ecossistema terrestre, por ser, além de habitat para diversos organismos, é base da cadeia alimentar, seja nos processos de crescimento de plantas, degradação da matéria orgânica e na reciclagem da biomassa microbiana (ALLOWAY, 1995). Uma vez contaminado, perde e/ou compromete essas funções nos ecossistemas, causando desequilíbrio ao geossistema (SOTCHAVA, 1978).

Um solo contaminado apresenta concentrações de determinado elemento químico acima do esperado em condições naturais (MCBRIDE, 1994). Essa contaminação advém da entrada de metais-traço no solo pela deposição de rejeitos industriais, fertilizantes e pesticidas e resíduos urbanos como compostos de lixo e lodo de esgoto, os quais sofrem transformações químicas liberando metais para a solução do solo e causando toxidez às plantas e organismos ali existentes, ou ainda adsorverem nas argilas ou são complexados à matéria orgânica, representando uma fonte poluidora potencial e importante via de exposição desses metais.

Os sedimentos, por sua vez, são parte integral e essencial da dinâmica de bacias hidrográficas, fornecendo informações sobre a qualidade da água e desempenhando papel importante na avaliação da poluição (BRADY, 1989), haja vista que permite detectar a presença de contaminantes inorgânicos e orgânicos adsorvidos neles (PANE & BRONDI, 2008).

Os sedimentos são constituídos por partículas minerais (areia, silte e argila) e orgânicas e, segundo Brady (1989), é na fração argila que os poluentes se agregam com maior facilidade devido à existência dos diferentes grupos de argilominerais com capacidades de troca iônica distintas. Segundo Licht (1998), a análise de sedimento de rios, lagos e lagoas é indicada quando há a necessidade de se investigar a poluição ambiental relacionada aos Metais traço e/ou substâncias tóxicas, uma vez que eles integram todos os processos que ocorrem no ecossistema aquático à montante da bacia hidrográfica. Pane & Brondi (2008), afirmam que os sedimentos, são responsáveis tanto pela turbidez dos corpos hídricos, como por apresentar alta capacidade de reter e acumular espécies químicas orgânicas, a exemplo dos metais. Segundo Förstner et al (1995), menos de 1% das substâncias que atingem o sistema aquático são dissolvidas em água, conseqüentemente, mais de 99% são estocadas no compartimento sedimentar.

Na cidade de Santo Amaro, trabalhos recentes, desta natureza, foram desenvolvidos com o intuito de se avaliar o solo e os sedimentos contaminados por metais-traço. Asevedo (2012) mapeou geoquimicamente os solos contaminados pelos metais-traço; Peixoto (2013) avaliou as perdas de solo e o transporte de metais por erosão hídrica; Silva (2014) e Couto (2014) avaliaram as concentrações

de metais nos sedimentos do Subaé e, Santos (2014) avaliou a influência do uso e da ocupação do solo quanto a qualidade da água.

Propriedades Geoquímicas da Água

Qualidade da água como indicador da qualidade do ecossistema

Para avaliar a qualidade de um ecossistema é preciso analisar a quantidade e qualidade dos fluxos continentais de água, sedimentos e seus constituintes químicos que são transportados pelos corpos d'água até o oceano. Como os rios representam a principal ligação entre o continente e o mar, são neles onde os principais ciclos biogeoquímicos ocorrem. Logo é a principal via de contaminação de áreas costeiras e estuarinas por poluentes gerados no continente.

Assim, é fundamental que, não somente o solo, mas também a água e os sedimentos em suspensão sejam investigados por pesquisa que venham avaliar a concentração e potencial tóxico de Metais contaminantes neste ambiente.

Avaliar os sedimentos permite conhecer os níveis de contaminação dos ecossistemas aquáticos, devido não só a sua capacidade em acumular elementos traço, mas também por serem reconhecidos como possíveis fontes de contaminação, uma vez que sobre determinadas condições ambientais, tal compartimento pode liberar espécies contaminantes.

A água por sua vez, tem uma estreita relação com a concentração desses elementos nos ecossistemas aquáticos, uma vez que é responsável pelo transporte, disponibilidade e dispersão dos mesmos nos diversos compartimentos deste ambiente. Uma vez adsorvido à partícula dos sedimentos, ao ser transportado por erosão laminar para os corpos d'água, o metal traço terá sua mobilidade e disponibilidade determinadas pelas condições físico-químicas da água.

Desta forma, entender a mobilidade química do Metal-traço na interface sedimento-água pode indicar níveis de contaminação e colaborar em planos de remediação.

Parâmetros Físicos e Químicos da Água

Potencial Hidrogeniônico (pH) – Parâmetro que determina o estado de acidez ($\text{pH} < 7$), neutralidade ($\text{pH} = 7$) ou alcalinidade ($\text{pH} > 7$) da água. (SPERLING, 1996). Segundo Gill (1996), é muito importante na avaliação da condição de um ecossistema aquático, por determinar ocorrência de dissolução, precipitação, oxidação e redução de várias substâncias. Suas variações podem contribuir para a solubilidade, mobilidade e precipitação de elementos químicos tóxicos como metais traço, além de poder exercer efeitos sobre as solubilidades de nutrientes.

Condutividade (CE) - Usado para determinar a concentração total de sais presentes nos solos e nas águas. É proporcional à concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas, com variação de acordo com a temperatura (SANTOS, 1997). Em águas com pH muito básico ou muito ácido o valor da condutividade é oriundo das altas concentrações de H^+ e ou OH^- (APHA,1998), sendo que quanto maior for à quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água.

Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) - Esta relacionado ao peso total dos constituintes sólidos presentes na água, sendo medidos em mg/L (SANTOS, 1997). São constituídos principalmente por argilominerais, siltes, matéria orgânica particulada (MOP), sais precipitados e outras substâncias. A quantidade de sólidos totais dissolvidos contidos nas águas pode diminuir por diluição (água de chuva) ou aumentar pela adição de despejos industriais.

Alcalinidade/Bicarbonato e Carbonato - A alcalinidade expressa a quantidade de íons presentes na água que podem neutralizar os ácidos. Os principais constituintes da alcalinidade são os bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e os hidróxidos (OH^-). Na água esses íons neutralizam os íons de hidrogênio, fazendo com que a água tenha capacidade de resistir a mudanças de pH provocadas pelo aumento da acidez (capacidade tampão). Segundo Bonumá (2006), esses íons podem chegar às águas superficiais por meio do intemperismo e dissolução de rochas e reação de CO_2 com a água (CO_2 resultante da atmosfera ou da decomposição de matéria orgânica), ou por fontes antropogênicas como despejos de efluentes industriais (SPERLING, 1996).

Sódio (Na⁺) – Considerado um dos elementos mais abundantes na Terra, uma vez que seus sais são altamente solúveis em água, sendo encontrado na forma iônica (Na⁺). O sódio costuma estar associado ao íon cloreto (CUSTODIO & LAMAS, 1976). Nas águas superficiais variam de 1000 µg /L até 10000 µg /L.

Potássio (K⁺) – É encontrado principalmente nos feldspatos potássicos, micas e leucitas, em rochas ígneas e metamórficas. Nas rochas sedimentares, altas concentrações de potássio podem ser encontradas nos minerais de carnalita e silvita, em evaporitos. Em águas naturais, ocorre em quantidades menores do que o sódio, devido á sua participação intensa em processos de troca iônica, além da facilidade de ser absorvido pelos minerais de argila. As concentrações de potássio nas águas doces estão geralmente no intervalo de 0,1 µg/g e 10 µg/g (CUSTODIO & LAMAS, 1976; SANTOS, 1997).

Cálcio (Ca²⁺) e Magnésio (Mg²⁺) - As fontes naturais do cálcio na crosta terrestre são os plagioclásios nas rochas ígneas e metamórficas, e os minerais de calcita, aragonita, dolomita nas rochas calcárias. Em águas doces, as concentrações de cálcio variam entre 10 µg/L e 250 µg/L (CUSTODIO & LAMAS, 1976; SANTOS, 1997).

O magnésio, por sua vez, é encontrado em olivinas, piroxênios, anfibólios e micas. Nas rochas sedimentares, o magnésio ocorre principalmente em rochas carbonatadas como nos dolomitos. Apresenta propriedades similares ao cálcio, porém é mais solúvel sendo mais difícil de precipitar. Suas concentrações variam entre 1 µg/L e 100 µg/L em águas doces (CUSTODIO & LAMAS, 1976; SANTOS, 1997).

Ferro (Fe) - Na água está presente em baixos teores (<300 µg/L), sendo resultado do intemperismo de rochas silicatadas, dos minerais óxidos e hidróxidos de Fe, como hematita, magnetita e goethita ou dos carbonatos de Fe, tais como os minerais siderita e ancerita (SANTOS, 1997). Nos sedimentos e no solo, apresenta-se na forma de Fe⁺³ (hidróxido férrico), devido aos processos de oxidação em contato com a atmosfera terrestre. Em seu estado ferroso, é instável na presença do oxigênio do ar, quando entra em contato com a água e é exposta ao oxigênio do ar, os íons ferrosos oxidam-se em íons férricos, tornando se imóveis e pouco solúveis

(SANTOS, 1997). De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, o nível permissível de ferro em águas de classes 1 e 2 é de 300 µg/L.

Cloretos (Cl⁻) - Ocorrem em todas as águas naturais, sendo oriundos de fontes naturais, sejam da dissolução de sais como cloreto de sódio e de outros minerais evaporíticos e da lixiviação de minerais ferromagnesianos, de rochas ígneas (SPERLING, 1996), sejam por fontes antropogênicas, sobretudo a partir da contaminação por esgoto doméstico.

As concentrações de cloreto para as águas doces são de 10 µg/g a 250 µg/g, (CUSTODIO & LAMAS, 1976), e que podem variar em função da disponibilidade de sais como NaCl, CaCl₂, MgCl₂.

Sulfatos (SO₄²⁻) - Encontra-se nas águas, como resultado da lixiviação da gipsita e anidrita. Podem ser produzidos como resultado final da oxidação dos sulfetos, principalmente da pirita. Os sulfatos também podem originar-se pela oxidação do enxofre presente nas rochas ou pelas descargas industriais (CETESB 2007, SANTOS, 1997).

Os teores de sulfato, assim como os teores de cloreto, estão relacionados, principalmente, ao lançamento de esgoto doméstico.

Série Nitrogenada – O nitrogênio pode ser encontrado nas águas sob a forma de nitrogênio orgânico, amoniacal, nitrito e nitrato. Suas fontes podem ser naturais – a partir da biofixação das bactérias e algas presentes nos corpos hídricos, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos corroborando a presença de nitrogênio orgânico nas águas e, por fontes antrópicas, através do despejo de esgoto sanitário e efluentes industriais, que lançam nas águas superficiais nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal, advindas da hidrólise da uréia na água. Quando descarregados nas águas naturais, conjuntamente com o fósforo e outros nutrientes presentes nos despejos, provocam o enriquecimento nutritivo do meio, tornando-o eutrofizado.

Fosfatos (PO_4^{3-}) - O fosfato pode ser proveniente do intemperismo de minerais (apatita), da decomposição de matéria orgânica do solo, de adubos a base de fósforo, ou de esgoto doméstico. Os compostos de fósforo podem estar nas águas sob as formas de ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico. Os ortofosfatos têm como origem os fertilizantes fosfatados utilizados na agricultura, os polifosfatos são provenientes de despejos de esgotos domésticos e de alguns despejos industriais. Segundo Esteves (1988), o fósforo tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial dos ecossistemas aquático.

Metais-traço no ambiente aquático

A introdução dos metais-traço nos ambientes aquáticos pode ser de maneira natural, por meio do aporte atmosférico (chuvas e deposição seca) ou pela liberação e transporte a partir da rocha matriz (PAULA, 2006; SEYLER; BOAVENTURA, 2008). De modo artificial, as fontes antropogênicas são diversas: esgoto doméstico, efluentes industriais, atividades agrícolas, e rejeitos de áreas de mineração e garimpos (GOMES; SATO, 2011; MORAES; JORDÃO, 2002). Os metais no solo são então naturalmente carregados de forma dissolvida ou particulada pelo escoamento de águas superficiais provenientes das chuvas até os rios. Os metais são então fixados nos sedimentos ou transportados pelo rio (MMA, 2001; MARTINS et al., 2010), desaguando-os no mar, e depositando-se no leito oceânico.

De acordo com um levantamento feito pelo Instituto Ingá na Bacia do rio Subaé (INGÁ, 2009), além da contaminação gerada pelas atividades da usina metalúrgica Plumbum, a contaminação se deu por meio de descarga de efluentes urbanos, os quais contém principalmente Cr, Cu, Pb, Zn, Mn e N; indústrias de beneficiamento de ferro e aço que geram como resíduos Cr e Zn; queima de combustíveis fósseis liberando Cu, Ni e Pb; fertilizantes (Cu, Fe, Mn, Ni e Zn) e depósitos de lixo industrial (Zn, Mn e Pb). É certo que cada elemento tem suas próprias fontes naturais e/ou antrópicas, responsáveis pela liberação e disponibilização desses elementos no meio ambiente.

Cádmio (Cd) - Encontra-se como elemento traço na biotita e é um elemento substituto frequente nos sulfatos (Andrews-Jones 1968). Sua fonte antrópica está relacionada aos efluentes industriais. Apresentam baixas concentrações em águas

naturais, geralmente entre 0,01 e 1 $\mu\text{g L}^{-1}$. É um metal que se acumula nos organismos aquáticos, inserindo-se na cadeia alimentar. O padrão de potabilidade fixado pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde é de 5 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Chumbo (Pb)– Esta presente em mais de 200 minerais, na sua maioria sulfetos. Os seus minerais mais importantes são o sulfeto de chumbo (galena), o carbonato de chumbo (cerussita), o sulfato de chumbo (anglesita), e o cloro fosfato de chumbo (piromorfita). Águas naturais raramente contêm mais que 5 $\mu\text{g/L}$ de chumbo, sendo que valores acima deste limite pode-se dizer que há contaminação natural ou antrópica, podendo ser proveniente de descargas de rejeitos industriais, de minas e fundições ou da dissolução de antigos encanamentos de chumbo (GREENBERG, 1992). O padrão de potabilidade para o chumbo estabelecido pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde é de 10 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Cobre (Cu) - Na crosta terrestre encontra-se na forma Cu^+ ou Cu^{2+} em alguns minerais formadores de rochas vulcânicas e sedimentares. Geralmente é encontrado nos minerais de olivinas, plagioclásios, anfibólios, biotita, entre outros (HEM, 1985). Ocorre naturalmente nas águas, e em concentrações inferiores a 20 $\mu\text{g/L}$. As fontes naturais de Cu para o meio ambiente incluem, como no caso de Zn, a desagregação de sulfetos, como também, óxidos e hidróxidos de Cu. Sua fonte antropogênica pode ser advinda da corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos, pela precipitação atmosférica próximo a indústrias, entre outras (CETESB, 2007). Os níveis de cobre permitidos para os rios de classes 1 e 2, segundo a Resolução CONAMA 357/2005, é de 9 $\mu\text{g L}^{-1}$, já para os rios de classe 3 é de 13 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Níquel (Ni) - Ocorre principalmente em rochas máficas e ultramáficas. Na superfície o níquel pode ser encontrado em minérios na forma de sulfeto de níquel, sendo disponibilizado no meio ambiente através dos processos de mineração e fundição do metal, fusão e modelagem de ligas, entre outras fontes. Este elemento é comumente observado em conjunto com o Cr, indicando assim a sua ligação com a ocorrência das rochas de xistos verdes, talco xistos, pedra sabão. Os níveis naturais do metal encontrados na água doce variam de 2 a 10 $\mu\text{g/L}$. Segundo a Resolução CONAMA

357/2005, os níveis de níquel permitidos em águas de rios de classes 1, 2 e 3, são de 25 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Zinco (Zn) – As fontes naturais do zinco estão associadas as mineralizações de sulfetos, destacando-se a blenda, e por processos antropogênicos, de combustão de madeira, incineração de resíduos, produção de ferro e aço, efluentes domésticos (CETESB, 2007).

Os limites estabelecidos pela CETESB (2007), para águas superficiais geralmente é menor que 10 $\mu\text{g/L}$

Cromo (Cr) - Encontrado em resíduos lateríticos que se desenvolvem sobre rochas ultramáficas (HEM, 1985), sendo mais abundante a cromita (FeCr_2O_4). Na forma trivalente o cromo é essencial ao metabolismo humano e, sua carência causam doenças patológicas renais, hepatopatias, doenças da microcirculação, hipertensão e mesmo obesidade; por sua vez, o cromo na forma hexavalente é tóxico e cancerígeno, caracterizando-se um perigo para o meio ambiente. Os limites máximos são estabelecidos basicamente em função do cromo hexavalente (CETESB, 2007). De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005 os níveis permissíveis de Cr para as classes 1, 2 e 3 é de 50 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Material Particulado em Suspensão

Adsorção e Transporte

Em ecossistemas aquáticos, a incorporação dos metais-traços está associada ao material particulado em suspensão e/ou dissolvidos na coluna d'água dos sistemas fluviais ou ainda por deposição atmosférica, estando sujeitos a inúmeros processos físicos, químicos e biológicos controlados pela hidrodinâmica fluvial e estuarina, que resultam na mudança da sua partição geoquímica, estabelecendo-se um equilíbrio entre as fases dissolvida e particulada (OLIVEIRA, 2012). Logo, o material particulado funciona como fonte de metais dissolvidos na coluna d'água, seja através da mobilização desses metais, bem como, adsorvendo-os no material particulado em suspensão (MPS), o qual controla a concentração desses metais, nos diversos compartimentos, através de forças eletrostáticas, ocorrendo na superfície dos coloides.

O material particulado pode concentrar a maior parte de elementos-traço presente em água natural sendo importante no transporte desses Metais no corpo hídrico, tanto na fase dissolvida, como na particulada, sendo influenciado pelo regime das estações de seca e chuvosa (FERNANDES, 2005). A fase particulada está associada às partículas em suspensão, que se deposita no leito do corpo hídrico, ou pode ser ressuspensionado, voltando a ser mobilizado para a coluna d'água.

A fase dissolvida, por sua vez, depende das condições de equilíbrio com a fase particulada, podendo receber contribuições importantes das águas intersticiais contaminadas por metais, sendo, transportada para a coluna d'água. Assim a análise de água e do material particulado em suspensão fornece informações sobre o conteúdo e transporte de Metais-traço ao longo de um corpo hídrico permitindo que a contaminação alcance local distante da região em estudo (FILHO et al., 1999; SANTOS et al., 2006).

Material Particulado em Suspensão x Erosão

No município de Santo Amaro dentre as formações geológicas existentes, destaca-se, o grupo Santo Amaro, composto por folhelhos cinza esverdeados a pretos, siltitos e arenitos (NASCIMENTO e TEIXEIRA, 1986). Predominam os Vertissolos originários de folhelhos esverdeados, intercalados com calcários argilosos a muito argilosos, com predominância de argilas do grupo da montmorilonita, com alta CTC. Em decorrência desses minerais e da pluviosidade elevada nesta região, esses solos ficam sujeitos aos movimentos de expansão e contração. Geralmente, esses solos apresentam baixa capacidade de infiltração, o que causa o aumento do escoamento superficial, levando à erosão do mesmo e ao transporte dos metais adsorvidos nas argilas até os cursos d'água (SANTANA & BARRONCAS, 2007).

Considerando que a área de estudo apresenta fortes precipitações e solos com baixa capacidade de infiltração, essas características favorecem a ocorrência de erosão laminar, que desagregam e deslocam através do escoamento superficial, partículas como silte, argila e matéria-orgânica até os corpos hídricos (GALETI, 1973). Subtende-se, então, que em períodos úmidos e durante os eventos pluviométricos de alta intensidade há um incremento no aporte do MPS,

principalmente transportadas pelo escoamento superficial, apresentando variações sazonais, sendo as suas maiores concentrações na estação de maior pluviosidade. Dito isso, Machado (2004), estimou que até 5 t/ha/ano de chumbo presente no solo da cidade de Santo Amaro foi transportada até os corpos hídricos através do escoamento superficial. Entretanto, Peixoto (2013), em sua pesquisa realizada na mesma área, determinou que a variabilidade espacial do transporte de chumbo e zinco por erosão hídrica laminar, avaliada numa área de 48 km² a partir da Plumbum, é de 11,5 ton ano⁻¹ (Pb) e 3,5 ton ano⁻¹ (Zn).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O rio Subaé, nasce próximo à cidade de Feira de Santana e tem sua foz na Baía de Todos os Santos (Figura 1). Seus principais afluentes são: margem direita - rios Sergi, Sergi Mirim, Pitanga ou Pitinga, rio da Serra e Piraúna (afluente do Sergi) e na margem esquerda – rio Subaezinho, rio Traripe, rio do Macaco (afluente do Traripe) e rio Canto do Muro. Apresenta descargas médias de 3,1 m³ s⁻¹ (LIMA & LESSA, 2001), com vazão significativa apenas nos meses de abril a julho e de outubro a dezembro, decorrentes das chuvas intensas neste período e, menores valores de vazão entre os meses de janeiro e fevereiro oriundas das altas temperaturas e baixos índices pluviométricos nestes meses. Nos pontos de coleta, localizados na cidade de Santo Amaro, as formações geológicas são constituídas por litologias sedimentares do Grupo Santo Amaro, incluindo arenitos argilosos, siltitos e argilitos, conglomerados ou brechas e folhelhos, bem como por litologias da Formação Barreiras, representado pelos sedimentos terciários (CPRM, 1997). Pode-se, ainda, observar unidades geológicas como o Complexo Ígneo-Metamórfico Caraíba-Paramirim, Grupos Brotas e Ilhas da Bacia do Recôncavo, Sedimentos Aluvionares e de Mangue do Quaternário (CPRM, 1997).

Apresenta relevo de tabuleiros costeiros, de topografia plana a suavemente acidentada, com altitudes que variam de 2 m a 300 m de altitude, submetidos à dissecação intensa e uniforme, sendo verdadeiros modelados de dissecação

homogênea (EMBRAPA, 2000). Os solos são oriundos das rochas sedimentares da Bacia do Recôncavo (arenitos, folhelhos e siltitos) e dos depósitos quaternários fluvio-marinhos e são classificados como: Vertissolos e Cambissolos são solos de textura argilosos a muito argilosos, sendo as argilas deste, pertencente ao grupo das montmorilonitas (ANJOS, 2003). O clima da região é enquadrado como Af, segundo Koppen, ou seja, clima tropical úmido a subúmido (Tropical). Além da pluviometria elevada, o município também conta com elevadas temperaturas que chegam a ultrapassar em média os 26°C e evapotranspiração que chegam a atingir em média os 1.328 mm ano⁻¹ (ASEVEDO, 2013). As médias pluviométricas variam em torno de 1000 a 1600 mm ano⁻¹, sendo que no ano de 2014 o mês mais chuvoso foi julho (média de 160 mm). O enquadramento para as águas do Rio Subaé no trecho que compreende a pesquisa, foi estabelecido de acordo com a Resolução CONERH N° 48 de 08 de maio de 2009, sendo de Classe 2.

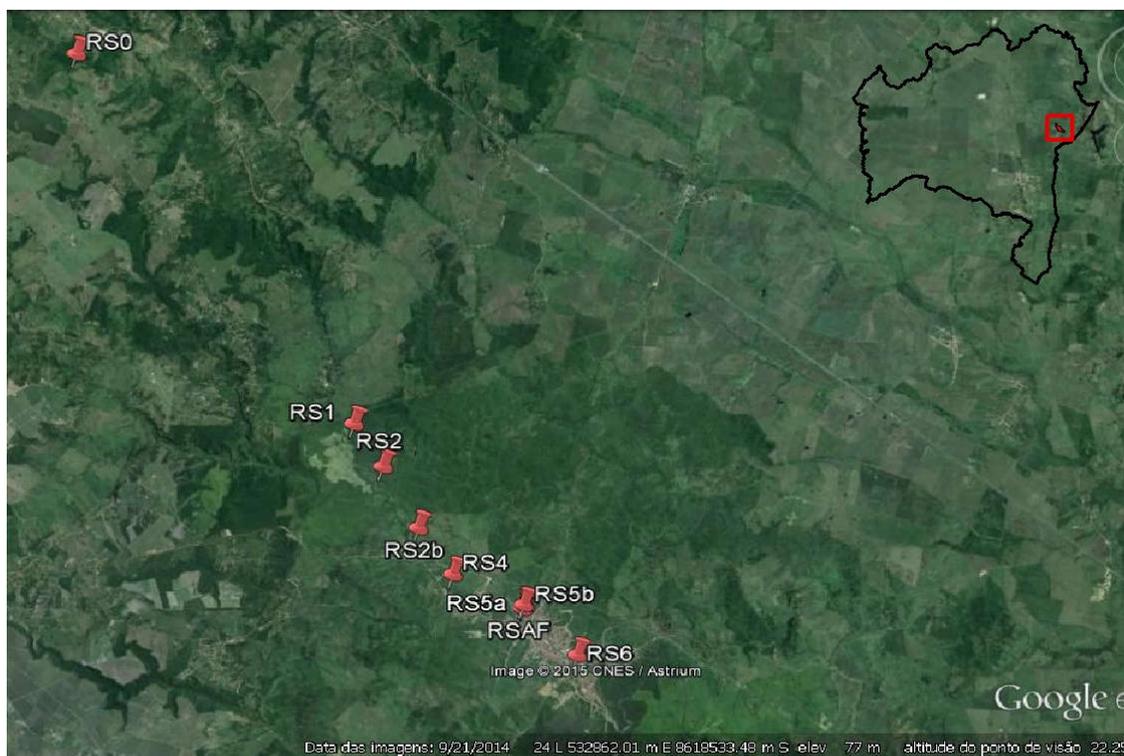


Figura 1 - Mapa localização área de estudo
Fonte: Dados da Pesquisa

Coleta das amostras

Para caracterização geoquímica da água superficial do rio Subaé foram escolhidos 08 pontos de monitoramento (Quadro 1) ao longo do curso do rio Subaé e 01 Afluente (Figura 1). Foram realizadas 06 coletas durante o ano de 2014, em datas definidas da maneira a obter um intervalo de dois meses entre cada coleta, sendo o dia específico da coleta determinado em função do coeficiente de maré, devido à influência marinha no rio em Santo Amaro. Foi escolhido o dia do mês com coeficiente mais alto, e a coleta foi realizada no momento da baixa para pré-maré para evitar ao máximo a influência do mar na composição química do rio, haja vista que, a atuação das marés na circulação do estuário é maior em áreas com altura de maré entre 2 e 4 metros (mesotidal) e principalmente a partir de 4m (macrotidal). Isto porque, na maré alta há uma elevação do nível do mar que gera corrente de enchente para o interior do estuário, aumentando a salinidade do mesmo, já em estuários microtidais (altura de marés < 2m) a influência das marés na circulação é pequena (Möller, 1996). Assim, foi observado que a maré na região durante a realização das coletas foi determinada como mesotidial, com média de altura em torno de 2.7m (Quadro 2).

Vale ressaltar que a análise do afluente nesta pesquisa foi importante, uma vez que o mesmo drena a área da fábrica, distante da mesma a 500 metros, recebendo possivelmente metais por processos erosivos.

Quadro 1 - Identificação dos Pontos Amostrados ao longo do rio Subaé, na cidade de Santo Amaro-BA

Pontos	Coordenadas		Descrição dos pontos de amostragem
	Longitude (UTM - WGS84)	Latitude (UTM - WGS84)	
RS0	521723E	8625782S	Próximo ao Km 8 da rodovia Ba 084
RS1	527597E	8617304S	Próximo ao Km 21 da rodovia Ba 084
RS2	528201E	8616318S	Oliveira dos Campinhos, após fábrica da Penha, ponte sobre ele que dá acesso à comunidade Subaé
RS2b	528959E	8614904S	Localiza-se embaixo de uma ponte de concreto que fica sobre o rio Subaé na entrada da cidade de Santo Amaro da Purificação para quem a acessa pela BA 084
RS4	529696E	8613836S	200 m a jusante da antiga fábrica de beneficiamento de Pb, PLUMBUM).
RS5a	531209E	8613134S	1500 m a jusante da antiga fábrica de Pb, PLUMBUM (antes de um efluente contaminado).
RS5b	531244E	8613114S	1500 m a jusante da antiga fábrica de Pb, PLUMBUM (após confluência de um efluente contaminado).
RS6	532554E	8611976S	Rua do Estaleiro (Frente da Antiga Fábrica Tarzan)
RSAF	531184E	8613052S	Afluente contaminado, a aproximadamente 1500m a jusante da fábrica PLUMBUM (Rua Barão de Sergi - centro Santo Amaro)

Quadro 2 – Características das condições de maré nas seis coletas do rio Subaé

Data da coleta	Coefficiente de maré no dia da coleta	(amplitude, em metros)
28/02/2014	107	2,9
30/04/2014	89	2,8
30/06/2014	71	2,2
26/08/2014	85	2,6
25/10/2014	90	2,7
23/12/2014	98	2,9

Foram utilizadas garrafas de polietileno de 500 mL previamente descontaminadas com solução de ácido nítrico (HNO_3^-) a 10% (v/v) e enxaguadas com água deionizada. Durante a amostragem os recipientes foram lavados três vezes com a própria água do rio . As coletas seguiram as padronizações descritas no *Standard Methods for Water and Wastewater Examination* (APHA, 2005), especialmente quanto aos cuidados com preservação e transporte, as quais foram acondicionadas em caixa térmica com gelo até o Laboratório de Geoquímica (UFRB, Cruz das Almas).



(RS0)



(RS1)



(RS2)



(RS2b)



(RS4)



(RS5a)



(RS5b)



(RSAf)



(RS6)

Figura 2 – Pontos de Coleta ao longo do rio Subaé, Santo Amaro-BA.

Análises químicas das amostras

Parâmetros físico-químicos

A partir das amostras coletadas, foram analisados os parâmetros químicos pH (EMBRAPA, 2011), condutividade a 25°C pelo método eletrométrico (EPA 2510-B) e alcalinidade pelo método titulométrico (APHA 2320 B).

Análises de íons

Foram extraídas alíquotas de 60 mL de cada amostra para serem filtradas em membrana de celulose de 0,45 µm, sendo 30 mL congelados (para análises de cátions e ânions) e 30 mL acidificado com HNO₃⁻ concentrado (para análise de metais-traço). A acidificação até pH=2 é fundamental para manter as espécies metálicas dissolvidas (APHA, 2012).

A análise de cátions e ânions foi realizada pelos métodos EPA 300-0 E ASTM D6919-09, no Laboratoire PROTEE - Université du Sud Toulon-Var – França.

As análises de metais-traço foram realizadas num espectrofotômetro de emissão atômica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP-AES), realizado no Laboratório de Estudos do Petróleo – LEPETRO/UFBA, seguindo o método SM-3120B, com limites de detecção de 1 µg L⁻¹ para Cd e 10 µg L⁻¹ para Pb, Zn, Cu e Ni.

Os resultados foram submetidos à análise estatística através da média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variância e a correlação de Pearson utilizando o através do programa *Statsoft. Inc. (2002) – STATISTICA* versão 7.0 para unificar as possíveis relações dos metais traço entre si e a relação destes com parâmetros químicos.

Análises de Metais

Fração Dissolvida

As análises de cádmio, zinco, cobre, chumbo, alumínio, bário, cobalto, cromo, ferro, potássio, níquel, manganês e vanádio foram realizadas pelo Método

SM3120B (APHA, 1998) no Laboratório LEPETRO – Universidade Federal da Bahia– Salvador-Bahia. Fez-se a leitura no espectrômetro de Plasma e traçou-se a curva de calibração. A seguir, mediu-se uma alíquota de 60 mL da amostra da água a ser analisada, que foi colocada no aparelho. Realizou-se a leitura e calculou-se a concentração do elemento na amostra, através da curva de calibração. Por este método, o limite de quantificação foi de 1 µg/L para o cádmio; 10 µg/L para zinco, cobre, chumbo, alumínio, manganês e bário; 20 µg/L para cobalto, cromo e níquel e, 100 µg/L para ferro, potássio e vanádio.

Material Particulado em Suspensão

Com relação a análise de metais no MPS, a concentração de chumbo, zinco, cobre e níquel de todas as amostras coletadas foram determinadas por EDX (*Energy-dispersive X-ray spectroscopy*) num espectrômetro *Shimadzu* EDX8000, em triplicata, utilizando o método de quantificação.

Para isso, procedeu-se inicialmente a preparação da amostra a qual consiste na filtração das amostras de água utilizando um Kit de filtração com bomba a vácuo. Os filtros utilizados foram da marca Millipore de acetato de celulose, com 0,45µm, sendo pesados em uma balança com precisão de 0,0001 g, obtendo-se o peso inicial de cada filtro. A amostragem do material em suspensão foi feita em triplicata, sendo filtrados cerca de 60 ml de amostra de água/sedimento para cada filtro. No laboratório, os filtros foram postos devidamente acondicionados para secagem sendo então pesados obtendo-se o peso final.

Após a pesagem final dos filtros, os mesmos foram encapsulados para a leitura. A fim de avaliar a precisão e a exatidão do método, analisou-se, em paralelo às amostras coletadas, o material de referência 2709a San Joaquin.

Todas estas análises foram realizadas no laboratório de Geoquímica, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

Para melhor interpretação dos resultados da análise química da água, foram gerados gráficos no *excel* com os dados da pluviometria registrados no ano de 2014 – período da realização das coletas na cidade de Santo Amaro – BA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando a Figura 3 é possível concluir que os meses de amostragem estão caracterizados por baixo índice pluviométrico em relação à média dos últimos 15 anos variando de 41mm (outubro) a 105mm (junho).

É importante mencionar que no mês de abril/2014 o valor da precipitação no município de Santo Amaro-BA ficou abaixo dos 60% da média dos últimos 15 anos.

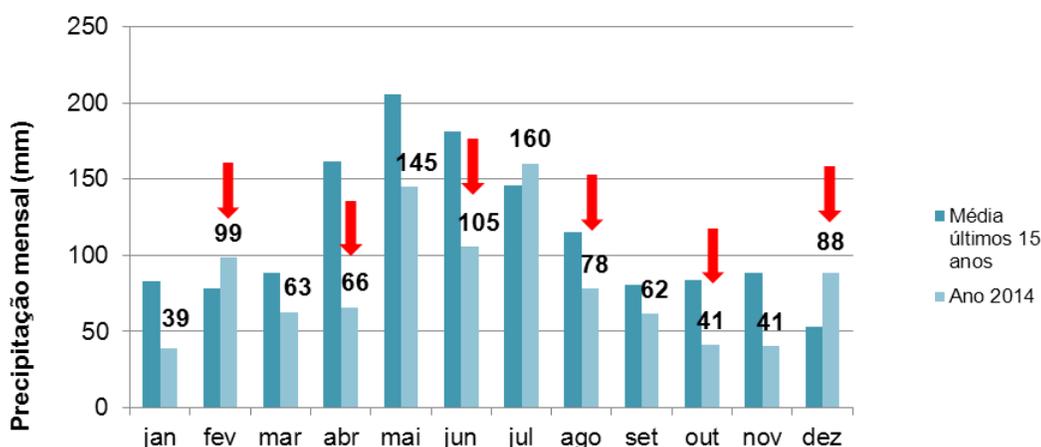


Figura 3 – Média do índice pluviométrico dos últimos 15 anos e de 2014 - Santo Amaro-BA
Fonte: Adaptado de Proclima¹

Vale mencionar que, apesar da bacia apresentar baixo potencial para ter enchentes, foi registrado enchente no ano de 2015². Isto é explicado tanto pelos dados de precipitação diária, reflexo da intensidade de chuvas nas semanas das enchentes, como pelas características do solo (rasos, de baixa infiltração e umidade) as quais favorecem o escoamento superficial e, principalmente pela posição altimétrica da cidade em relação à calha do rio (vários pontos da cidade encontram-se abaixo da planície de inundação) e em relação ao nível do mar, uma vez que o estuário começa na zona urbana da cidade de Santo Amaro, o que reduz a vazão do rio.

¹ http://proclima.cptec.inpe.br/balanco_hidrico/balancohidrico.shtml. Acesso 10/02/2015.

² Dados disponíveis no apêndice

Com base nos índices pluviométricos registrados nas semanas e nos meses das coletas, ficou constatado que a precipitação é um fator que influencia diretamente na concentração de íons presentes nas águas superficiais. Nota-se que há uma similaridade entre os valores médios dos sólidos totais dissolvidos e as precipitações mensal e semanal de cada coleta (Figura 4).

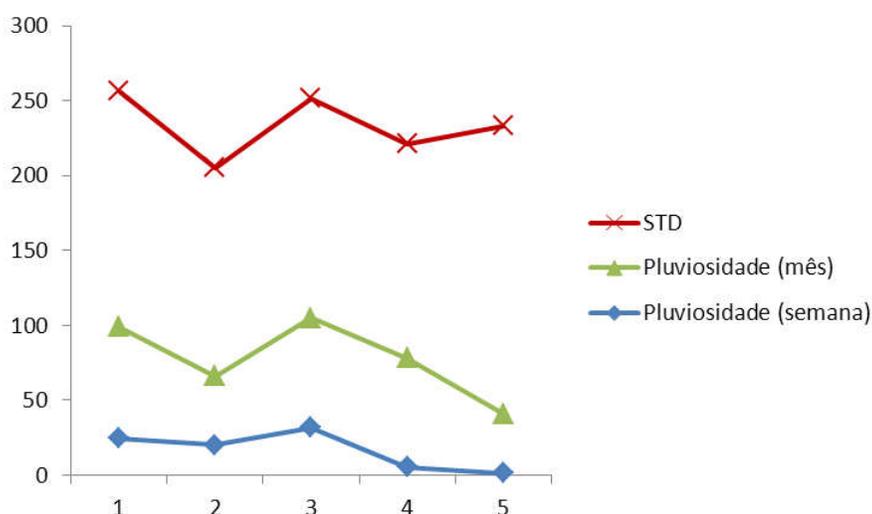


Figura 4 - Comparação entre Sólidos Totais Dissolvidos e Pluviosidade (Mensal e Semanal) referentes às coletas de água no rio Subaé, na cidade de Santo Amaro – BA

Dos parâmetros físico-químicos

Com base no teste de Tukey foi possível identificar os fatores que influenciaram os elementos estudados, conforme Tabelas de 1 a 15.

Na Tabela 1, pode-se afirmar que a água do rio foi praticamente neutra, não sendo alterado nem pelos pontos, nem pela estação climática, apresentando, portanto um pH médio de 7,48, valor dentro da faixa de proteção da vida aquática, preconizadas pela Legislação Federal (Resolução CONAMA no 357/05) para a Classe 2, como é enquadrado o rio Subaé (BA).

A condutividade elétrica (CE), como era de se esperar, apresentou relação direta com os sólidos totais dissolvidos STD. Estes dois parâmetros apesar de terem apresentado pouca variação sazonal, mostrando que não foram influenciados pelos períodos seco e chuvoso.

A alcalinidade apresentou valor médio de 403,2 mg/L (Tabela 3). Esta alcalinidade é devido aos bicarbonatos, já que alcalinidades relativas a hidróxidos e carbonatos não foram encontradas. Sabe-se que a alcalinidade nas águas superficiais raramente excedem os 500 mg de $\text{CaCO}_3/\text{L}^{-1}$ (BITTENCOURT; HINDI, 2000) e que valores menores de 24 mg/L, apresentam baixa capacidade de tamponamento e, assim, são suscetíveis às mudanças de pH, o que não ocorreu (CHAPMAM; KIMSTACK, 1992). Logo, elevados níveis deste parâmetro podem ser atribuídos a inúmeras fontes, desde rochas calcárias, (ABRIL e FRANKIGNOULLE, 2001), até influência das atividades antrópicas. Alguns autores ressaltam que esta influência se dá principalmente em função do descarte de águas residuais tratadas ou não tratadas em corpos aquáticos naturais (TCHOBANOGLOUS e BURTON, 1991; VERBANCK et al., 1994).

Cloreto, sulfato e nitrato, identificados nas Tabelas 4,5 e 7, apresentam valores de concentração menores que os permitidos para a Classe 2, segundo a Resolução do CONAMA 357/05, que é de 250 mg/L, 250 mg/L e 10 mg/L, respectivamente. Sendo que os dois primeiros não sofreram influência dos pontos, nem das coletas. O nitrato, por sua vez sofreu influência dos pontos de coleta, uma vez que em diversos pontos de coleta foram observados lançamento de efluentes doméstico no leito do rio.

Os valores de fosfato descritos na Tabela 10 apresentaram variações em seus valores, dos quais se destacam os pontos RS0 e RS1, que mostraram valores muito acima do permitido para a Classe 2 desta resolução, que é de 0,05 mg/L em todas as coletas realizadas, o que pode ser explicado pela quantidade de matéria orgânica presente no leito do rio e entrono, bem como pela presença de plantações e pastagem.

Tanto o sódio quanto ao potássio, sofreram influência dos pontos, apresentando respectivamente valor médio de 359mg/L e 31,7mg/L (conforme Tabelas 11 e 12), estando muito acima do valor máximo permitido pelo CONAMA

que é de 200mg/L para sódio e inferior a 10mg/L para potássio. Em relação ao sódio, este pode ser justificado pela proximidade do estuário e por estar associado ao cloreto, já o potássio é justificado pelas descargas industriais e de áreas agrícolas observadas na área de estudo.

Na análise dos resultados de água cabe destacar os elementos (Ca), (K), (Mg) e (Na) que além da contribuição geogênica pode ter sua origem no uso do solo da bacia (Tabela 13 e 14), os mesmos não sofreram influência dos pontos e nem dos períodos das coletas, apresentando valores médio de 51,2 mg/L para cálcio e de 15,4mg/L para magnésio, estando dentro dos valores máximos permitidos para águas naturais que é de 10 a 100mg/L para cálcio e 1 a 40mg/L para magnésio.

Tabela 1 – Análise do Teste de Tukey - pH (UpH)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	7,14	7,40	7,87	8,32	7,56	7,70	7,67 a
RS1	7,30	6,99	7,98	8,25	7,71	7,20	7,57 a
RS2	7,61	7,22	7,81	8,25	7,67	7,20	7,63 a
RS2b	7,54	7,16	7,69	8,02	7,54	7,10	7,51 a
RS4	7,35	7,13	7,54	7,93	7,50	6,80	7,38 a
RS5a	7,44	7,70	7,69	7,82	7,41	6,80	7,48 a
RS5b	7,36	7,09	7,51	7,69	7,36	7,60	7,44 a
RS6	7,27	6,26	7,65	7,58	7,46	7,40	7,27 a
RSAf	7,31	7,12	7,76	7,45	7,63	6,90	7,36 a
MEDIA	7,37 bcd	7,12 d	7,72 ab	7,92 a	7,54 bc	7,19 cd	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%

Tabela 2 - Análise do Teste de Tukey - Condutividade Elétrica (µS/cm)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	786	454	673	512	672	919	651 a
RS1	556	226	572	427	438	720	462 ab
RS2	259	687	n.d.	292	236	159	287 b
RS2b	216	164	353	258	n.d.	258	242 b
RS4	277	240	351	333	265	165	264 b
RS5a	n.d.	239	375	339	293	602	351 ab
RS5b	266	249	344	324	300	194	275 b
RS6	810	454	367	419	789	169	443 ab
RSAf	252	311	261	360	295	217	279 b
MEDIA	372 a	306 a	395 a	356 a	373 a	299 a	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%

Tabela 3 - Análise do Teste de Tukey - HCO₃⁻ (em µmol/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	2676	2526	2238	2495	3666	4106	2951 a
RS1	2289	828	3009	2052	2659	3806	2441 ab
RS2	1586	2089	<i>n.d.</i>	1892	968	745	1456 bc
RS2b	1457	1242	2077	1735	<i>n.d.</i>	1499	1602 bc
RS4	1749	632	379	2	1823	592	863 c
RS5a	<i>n.d.</i>	1724	1603	1901	1451	511	1438 bc
RS5b	1197	1844	1691	2109	1362	831	1506 bc
RS6	1069	1250	2360	2764	1686	1196	1721 abc
RSAf	1197	1662	1278	1996	2511	1320	1661 bc
MEDIA	1652 a	1533 a	1829 a	1883 a	2016 a	1623 a	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%

Tabela 4 - Análise do Teste de Tukey - Cl⁻ (em µmol/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	3326	1682	3053	2355	2981	4146	2815 a
RS1	1849	658	2393	1544	1544	2356	1593 ab
RS2	801	2628	<i>n.d.</i>	959	683	601	963 ab
RS2b	650	465	1211	753	<i>n.d.</i>	637	706 b
RS4	826	648	1201	955	732	838	850 b
RS5a	<i>n.d.</i>	664	1253	950	745	5330	1257 ab
RS5b	692	623	975	988	761	837	801 b
RS6	4678	1915	1259	1333	4831	107	1408 ab
RSAf	548	592	506	561	474	450	519 b
MEDIA	1213 a	906 a	1302 a	1065 a	1146 a	957 a	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%

Tabela 5 - Análise do Teste de Tukey - SO₄²⁻ (em µmol/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	231	179	131	81	55	170	127 a
RS1	208	104	162	120	106	189	143 a
RS2	123	318	<i>n.d.</i>	98	81	104	126 a
RS2b	99	84	114	91	<i>n.d.</i>	113	100 a
RS4	142	142	123	119	99	142	127 a
RS5a	<i>n.d.</i>	159	125	120	94	519	163 a
RS5b	119	174	104	121	96	145	124 a
RS6	325	219	127	131	277	80	172 a
RSAf	105	192	43	55	52	88	78 a
MEDIA	155 a	163 a	110 a	101 a	94 a	145 a	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%

Tabela 6 - Análise do Teste de Tukey – F⁻ (em µmol/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	12,93	10,50	14,62	13,01	11,83	12,89	12,63 a
RS1	9,44	6,68	12,88	12,40	8,11	7,99	9,58 ab
RS2	6,98	9,37	<i>n.d.</i>	6,96	6,69	4,30	6,86 ab
RS2b	1,40	1,50	7,05	8,73	<i>n.d.</i>	3,02	4,34 b
RS4	8,75	8,05	7,99	8,44	8,05	1,87	7,19 ab
RS5a	<i>n.d.</i>	6,68	3,87	12,32	3,38	5,92	6,43 ab
RS5b	2,44	3,24	11,36	6,47	2,00	2,28	4,63 b
RS6	11,66	5,43	7,72	13,31	7,55	6,30	8,66 ab
RSAf	4,45	7,39	3,65	6,25	9,75	0,86	5,39 b
MEDIA	7,26 a	6,54 a	8,64 a	9,76 a	7,17 a	5,05 a	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%

Tabela 4 - Análise do Teste de Tukey – NO₃⁻ (em µmol/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	5,78	11,54	38,72	42,54	11,17	9,14	14,96 a
RS1	19,57	14,13	35,02	45,60	16,87	13,98	21,69 a
RS2	16,30	4,05	<i>n.d.</i>	38,24	14,03	10,88	13,1 a
RS2b	16,82	20,82	20,83	30,87	<i>n.d.</i>	9,00	18,25 a
RS4	55,04	24,92	25,45	24,93	23,21	12,81	25,24 a
RS5a	<i>n.d.</i>	24,45	23,43	28,72	19,20	18,32	22,52 a
RS5b	18,15	16,38	22,49	49,00	13,52	8,55	18,32 a
RS6	50,23	26,45	25,02	25,69	25,27	2,21	19,05 a
RSAf	19,81	20,72	15,01	35,96	30,65	28,97	24,12 a
MEDIA	20,47 abc	16,16 bc	24,78 ab	34,77 a	18,26 abc	10,54 c	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%

Tabela 8 - Análise do Teste de Tukey – NH₄⁺ (em µmol/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	62,19	11,95	23,50	37,49	6,78	152,86	29,64 a
RS1	28,13	17,26	3,88	7,63	3,40	273,74	15,41 a
RS2	8,73	51,08	<i>n.d.</i>	1,37	12,90	22,32	11,19 a
RS2b	9,05	8,12	7,52	6,66	<i>n.d.</i>	30,57	10,24 a
RS4	3,83	18,21	<i>n.d.</i>	7,80	9,80	37,08	11,46 a
RS5a	<i>n.d.</i>	2,47	7,21	13,24	2,54	519,83	12,54 a
RS5b	<i>n.d.</i>	8,25	21,60	0,12	1,23	18,73	3,48 a
RS6	18,92	29,88	2,49	12,20	2,80	142,22	13,77 a
RSAf	25,05	11,07	21,49	<i>n.d.</i>	7,33	63,47	19,44 a
MEDIA	15,85 ab	12,98 b	9,23 b	5,02 b	4,56 b	76,81 a	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%

Tabela 9 - Análise do Teste de Tukey – NO₂⁻ (em µmol/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	12,31	2,79	11,29	n.d.	n.d.	n.d.	7,29
RS1	n.d.	2,32	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2,32
RS2	n.d.	n.d.	<i>n.d.</i>	n.d.	n.d.	n.d.	<i>n.d.</i>
RS2b	3,21	n.d.	n.d.	n.d.	<i>n.d.</i>	n.d.	3,21
RS4	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<i>n.d.</i>
RS5a	<i>n.d.</i>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<i>n.d.</i>
RS5b	4,35	3,57	n.d.	n.d.	3,42	n.d.	3,76
RS6	n.d.	6,94	n.d.	n.d.	n.d.	2,77	4,39
RSAf	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<i>n.d.</i>
MEDIA	5,56	3,56	11,29	<i>n.d.</i>	3,42	2,77	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%

Tabela 50 - Análise do Teste de Tukey – PO₄³⁻ (em µmol/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	5,90	5,26	26,58	24,56	18,38	27,55	14,74 a
RS1	6,99	n.d.	21,76	9,89	7,96	19,02	11,79 a
RS2	n.d.	5,06	n.d.	5,27	n.d.	n.d.	5,16 a
RS2b	6,02	5,77	7,61	n.d.	n.d.	n.d.	6,42 a
RS4	n.d.	n.d.	7,15	n.d.	n.d.	n.d.	7,15 a
RS5a	<i>n.d.</i>	n.d.	5,93	n.d.	n.d.	17,06	10,06 a
RS5b	n.d.	n.d.	n.d.	3,43	n.d.	n.d.	3,43 a
RS6	n.d.	n.d.	5,06	n.d.	n.d.	n.d.	5,06 a
RSAf	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	<i>n.d.</i>
MEDIA	6,29 a	5,35 a	9,91 a	8,14 a	12,09 a	20,76 a	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%

Tabela 61 - Análise do Teste de Tukey – Na⁺ (em µmol/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	4233	2681	3350	2688	3488	4840	3463 a
RS1	2721	843	2932	1948	2069	3434	2129 ab
RS2	1156	3107	<i>n.d.</i>	1357	894	615	1218 bc
RS2b	970	702	1681	1096	<i>n.d.</i>	901	1025 bc
RS4	1159	787	789	560	1034	654	805 c
RS5a	<i>n.d.</i>	973	1615	1364	1025	4103	1552 abc
RS5b	766	833	796	1407	1039	820	921 bc
RS6	4322	1825	1717	2269	4896	437	2009 ab
RSAf	757	731	785	1139	897	592	800 c
MEDIA	1573 a	1173 a	1476 a	1407 a	1537 a	1202 a	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%

Tabela 12 - Análise do Teste de Tukey – K⁺ (em µmol/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	427	244	363	277	277	384	322 a
RS1	258	115	399	172	175	277	215 ab
RS2	130	418	<i>n.d.</i>	120	70	42	114 abc
RS2b	120	91	180	96	<i>n.d.</i>	63	104 abc
RS4	139	117	107	84	84	48	92 abc
RS5a	<i>n.d.</i>	150	167	139	74	130	127 abc
RS5b	72	120	131	120	77	1	47 c
RS6	226	158	184	122	207	53	144 abc
RSAf	84	114	57	97	47	31	65 bc
MEDIA	155 a	151 a	168 a	128 a	106 a	52 a	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%.

Tabela 73 - Análise do Teste de Tukey – Ca²⁺ (em µmol/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	310	396	576	638	916	1594	635 a
RS1	391	159	735	500	660	1283	518 a
RS2	388	370	<i>n.d.</i>	465	188	467	358 a
RS2b	368	358	467	439	<i>n.d.</i>	776	462 a
RS4	471	180	251	148	470	491	300 a
RS5a	<i>n.d.</i>	493	316	375	324	733	425 a
RS5b	365	580	568	519	279	570	464 a
RS6	409	383	538	517	439	475	457 a
RSAf	177	537	114	411	605	746	356 a
MEDIA	348 b	354 b	391 ab	419 ab	435 ab	723 a	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%.

Tabela 8 - Análise do Teste de Tukey – Mg²⁺ (em µmol/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	610	451	427	449	638	1435	604 a
RS1	421	216	535	410	460	1064	463 ab
RS2	299	551	<i>n.d.</i>	358	247	307	339 ab
RS2b	259	203	391	323	<i>n.d.</i>	467	315 ab
RS4	347	164	251	139	364	346	251 b
RS5a	<i>n.d.</i>	319	374	441	335	907	438 ab
RS5b	297	364	420	428	336	401	371 ab
RS6	572	445	480	491	596	269	461 ab
RSAf	385	373	403	331	488	434	399 ab
MEDIA	382 a	319 a	402 a	356 a	414 a	528 a	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%.

Tabela 95 - Análise do Teste de Tukey – Na/(Na+Ca)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	0,89	0,80	0,77	0,71	0,69	0,78	0,77 a
RS1	0,80	0,75	0,70	0,69	0,64	0,75	0,72 ab
RS2	0,63	0,83	<i>n.d.</i>	0,63	0,73	0,60	0,68 ab
RS2b	0,60	0,53	0,67	0,59	<i>n.d.</i>	0,57	0,59 ab
RS4	0,59	0,72	0,64	0,68	0,56	0,60	0,63 ab
RS5a	<i>n.d.</i>	0,53	0,75	0,68	0,64	0,87	0,68 ab
RS5b	0,55	0,45	0,45	0,61	0,68	0,62	0,55 b
RS6	0,86	0,73	0,65	0,72	0,86	0,51	0,71 ab
RSAf	0,71	0,44	0,80	0,61	0,46	0,48	0,57 b
MEDIA	0,69 a	0,62 a	0,67 a	0,66 a	0,65 a	0,63	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%.

Todos os dados anteriormente mostrados refletem a participação de fontes naturais e antrópicas no rio Subaé, os quais adicionam direta ou indiretamente substâncias, alterando as suas características físicas e químicas. Considerando os trabalhos de (Pacheco e Van der Weijden, 1996) foi calculado o índice de química inorgânica (ICI) para determinar percentualmente as contribuições relativas de Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- e PO_4^{3-} que é derivado de todas as fontes, excluindo erosão química das rochas.

Além disso, a partir da técnica de desenvolvida por Pacheco (1998), que leva em conta a Análise de Correspondência (CA) foi possível identificar as áreas onde a poluição é dominada pela agricultura e/ou efluentes domésticos, e áreas onde a contaminação é influenciada pelo intemperismo.

Observa-se na Figura 5 que nos pontos extremos de coleta (RS0, RS4 e RS6), as fontes naturais foram responsáveis por mais de 50% da média dos íons presentes nas amostras de água, respectivamente, 52.6%, 63.4% e 60.6%. Nos demais pontos, seus percentuais médios de contribuição de íons foram oriundas de fontes antrópicas, a saber: RS1 – 52.0%, RS2 – 52.8%, RS2b – 61.9%, rs5A – 58.3% e RS5b – 59.4.

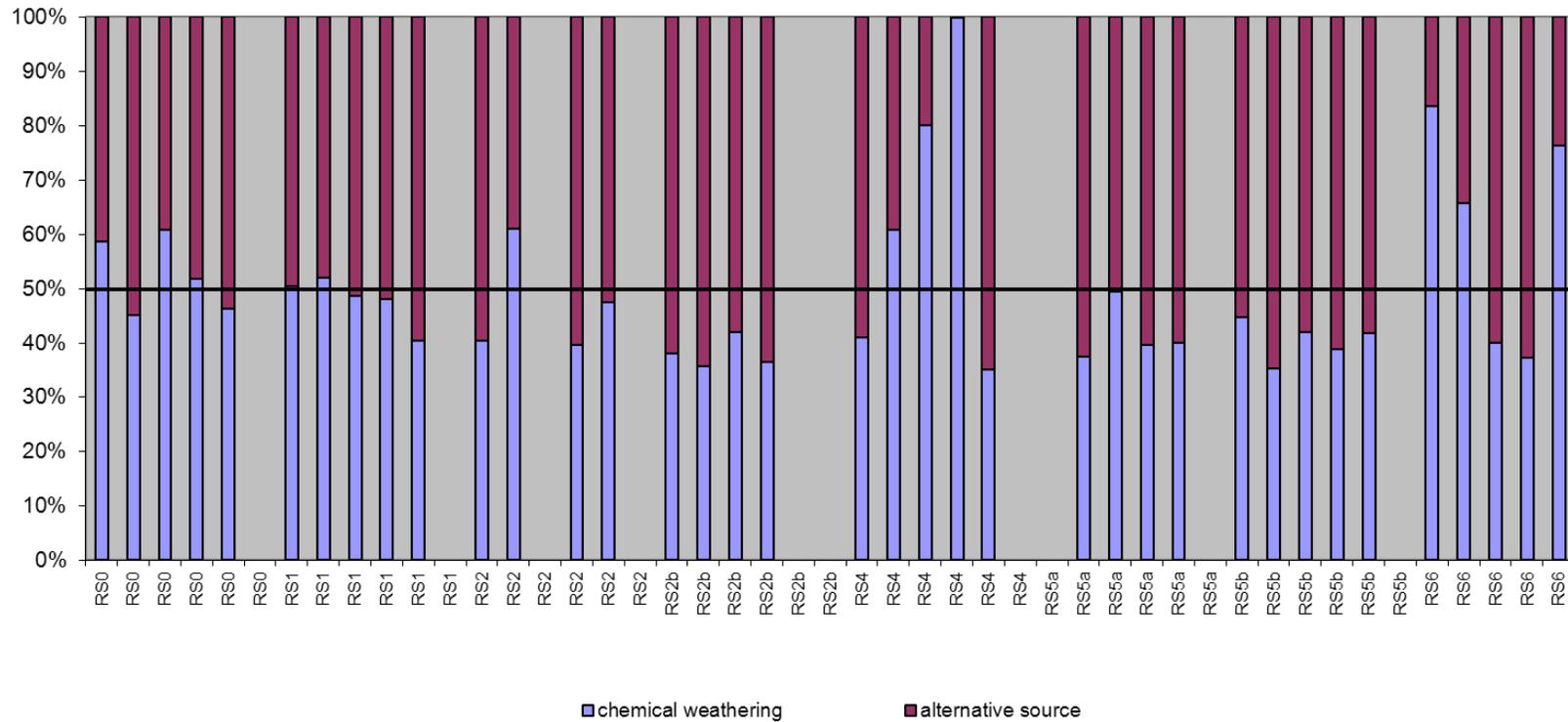


Figura 5 - Distribuição percentual das fontes (natural e antrópica) de íons nos pontos de coleta

A análise estatística de correlação foi realizada a partir dos resultados obtidos. O aumento na concentração de bicarbonato e dos metais alcalinos Na, K, Ca e Mg contribui para a variação do pH das águas, também justificando a correlação direta entre STD e pH (Tabela 16).

Suas águas apresentaram altos valores de TDS, 100-481 mg/L⁻¹. No geral, os valores de condutividade elétrica estão muito acima do limite superior esperado para águas naturais, que é de 100 µS/cm (Hermes & Silva, 2004). O ponto RS6, por exemplo, apresentou um valor significativo de condutividade, de 810 µS/cm, isto se explica, pela proximidade com o estuário, sob a influência da água do mar. Todavia, o ponto RS2b apresentou os menores valores de condutividade elétrica. CE apresentou correlação positiva com TDS ($r = 0,95$, $p < 0,05$).

Percebe-se na que o TDS apresentou correlação positiva com todos os elementos envolvidos. O bicarbonato, por sua vez apresentou correlação positiva com F⁻, Cl⁻ e PO₄³⁻, não apresentando correlação positiva com os demais elementos. O cloreto e o sódio estão correlacionados positivamente ($r = 0,96$, $p < 0,05$), e segundo Li (2008), suas contribuições para a hidroquímica é mostrada pela correlação entre o Na e o TDS ($r = 0,93$, $p < 0,05$). Para Huizenga (2011), elevadas concentrações de cloro, são advindas primeiramente pelo solo salino e pela salinização da água subterrânea, resultantes da ação antrópica, oriunda dos processos de irrigação e/ou remoção da vegetação natural e, natural, causada pela evaporação, intrusão da água salgada e aerossóis do mar. Potássio mostra correlação positiva com Na⁺ ($r = 0,83$, $p < 0,05$) e com o bicarbonato ($r = 0,86$, $p < 0,05$).

Tabela 16 - Matriz de correlação de Pearson da composição química do rio Subaé -Ba

	T°	pH	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	TSD	CE
T°	1,000															
pH	0,188	1,000														
F ⁻	0,032	0,210	1,000													
Cl ⁻	0,031	-0,033	0,465	1,000												
NO ₂ ⁻	-0,072	-0,246	0,273	0,406	1,000											
NO ₃ ⁻	0,136	0,309	0,433	0,271	0,051	1,000										
PO ₄ ³⁻	-0,140	0,413	0,408	0,456	0,314	0,261	1,000									
SO ₄ ²⁻	-0,180	-0,383	0,358	0,712*	0,344**	0,227	0,025	1,000								
HCO ₃ ⁻	0,004	0,185	0,521	0,432	0,289	0,287	0,534	0,255	1,000							
Na ⁺	0,034	0,001	0,512	0,964*	0,436	0,246	0,497*	0,687**	0,806*	1,000						
NH ₄ ⁺	-0,203	-0,264	0,378	0,429	0,533	-0,120	0,234	0,473	0,231	0,464	1,000					
K ⁺	-0,214	0,023	0,552	0,764	0,529	0,168	0,681	0,639	0,863*	0,833*	0,616	1,000				
Mg ²⁺	-0,001	-0,011	0,558	0,726	0,381	0,357	0,374	0,602	0,832*	0,803	0,409	0,706	1,000			
Ca ²⁺	-0,011	0,198	0,489	0,412	0,168	0,470	0,549	0,248	0,646	0,487	-0,001	0,513	0,728*	1,000		
TSD	0,003	0,134	0,610	0,912*	0,416	0,437**	0,550	0,689	0,680	0,934	0,408	0,821	0,874*	0,652	1,000	
CE	0,006	-0,041	0,600	0,943	0,493	0,303**	0,492	0,735	0,601	0,956*	0,516	0,849	0,848*	0,525	0,952*	1,000

* Significância a 5%

** Significância a 1%

Composição iônica

Os diagramas ternários de cátions e ânions (Figura 6) mostram variações na composição química das águas de superfície, que é dominado por HCO₃⁻ e Na⁺ + K⁺

Na faixa de pH que ocorre no contexto estudado, próximo à neutralidade, há o predomínio do íon bicarbonato (207,9 mg/L em média). Conforme Bittencourt et al. (2003) os bicarbonatos podem ter sido gerados por decomposição do ácido carbônico ou como produto da hidrólise dos silicatos.

Quanto aos ânions, o bicarbonato foi o íon mais abundante, com médias que variaram de 55,0-163,2 mg/L, tendo no ponto RS0 seu valor médio mais expressivo. O cloreto foi o segundo ânion mais abundante com média entre 19,0-99,5 mg/L. A concentração de Cl⁻ apresenta teor médio de 43,8 mg/L, variando de 16,8-171,5 mg/L. O teor médio em SO₄²⁻ é de 11,1 mg/L, variando de 4,1-30,5 mg/L.

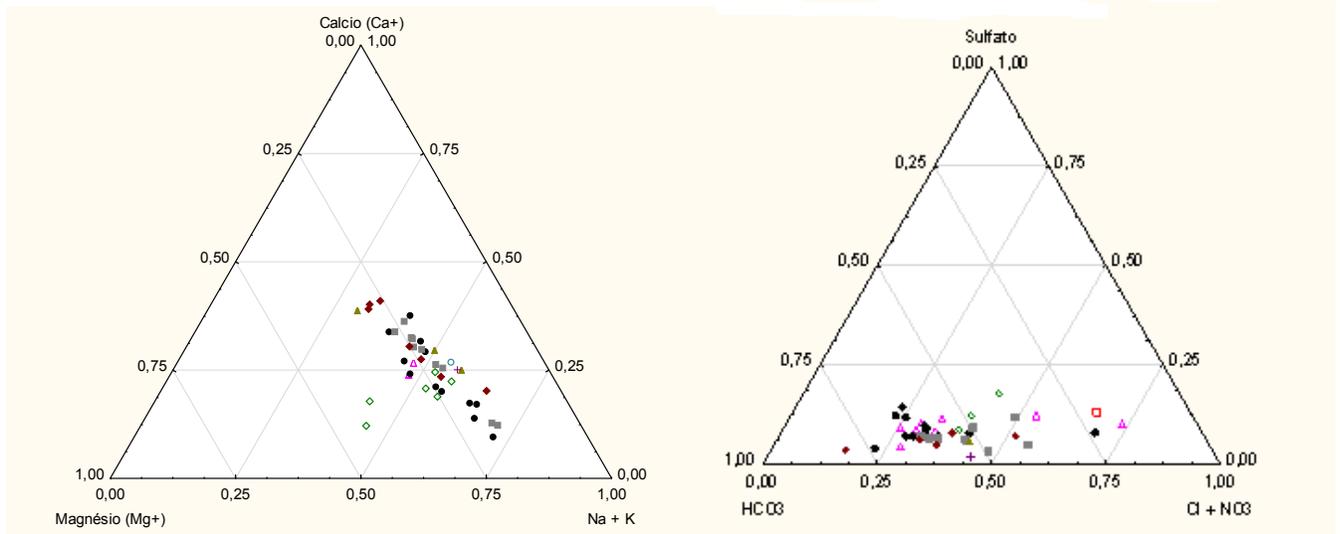


Figura 6 - Diagrama Ternário da composição de cátions e ânions

Para a determinação do intemperismo químico responsável pela composição química da água, utilizou-se o diagrama de Gibbs (1970), conforme descrito por Li (2008), relacionando a média do TDS com o teor de $Na/(Na+Ca)$, mostrado no Figura 7, a qual revela que a água do rio Subaé é caracterizada por uma alta proporção de $Na/(Na+Ca)$, sob um TDS, também alto (481 mg/L), levando a afirmar que o intemperismo que ocorre na área é oriundo da resistência de evaporitos e silicatos.

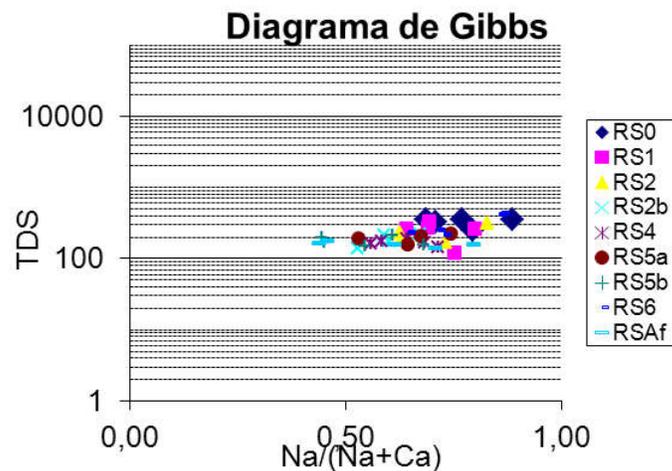


Figura 7 - Diagrama de Gibbs para o rio Subaé - BA

Observaram-se também correlações entre as razões Ca/Na vs. HCO₃⁻/Na (rs= 0,72 n= 42), mostrando que a montante da fábrica sob o domínio de silicatos, o valor esta relacionado a uso de adubos e, a jusante da fábrica sob o domínio dos evaporitos, seu valor se explica pelo efeito do estuário. Quanto às razões Ca/Na vs. Mg/Na (r=0,78 n=42), nota-se que as contribuições estão acima da zona de evaporitos (Figura 8).

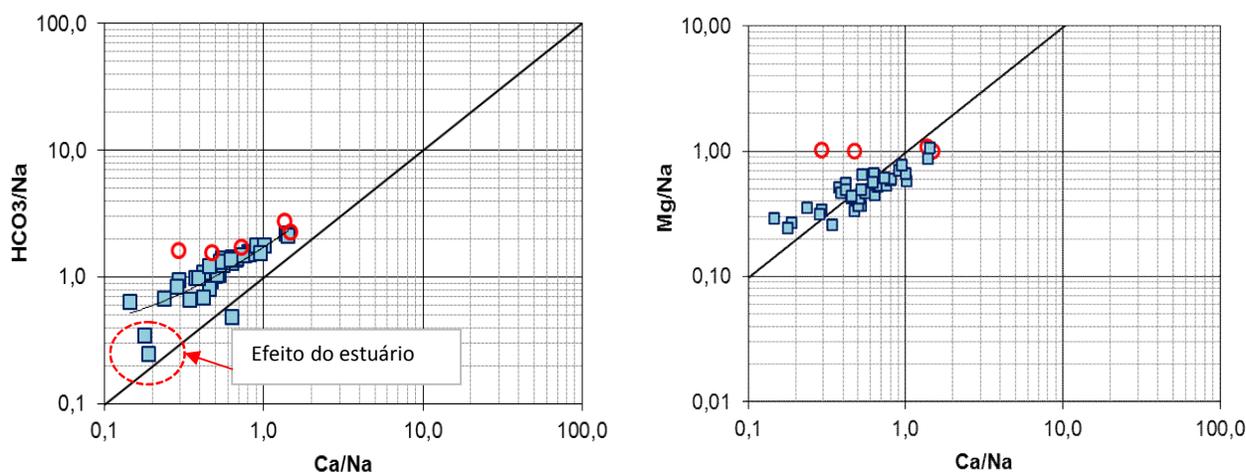


Figura 8 - Diagramas de razões molares de Na normalizado na fase dissolvida do rio Subaé - Ba

As contribuições intempéricas relacionadas a carbonatos e silicatos na constituição química da água do rio Subaé foi representada pelo digrama mostrado nas Figuras 9A e 9B das razões $[\text{Na}^+ + \text{K}^+]/[\text{HCO}_3^-]$ vs. $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-]$ (HAN e LIU, 2004). Segundo Buccianti (2014) na quantidade de $[\text{Na}^+ + \text{K}^+]$ em mEq/L se subtrai o Cl⁻, por está relacionado com o Na⁺ na proporção de 1:1 e, na quantidade de $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]$, em mEq/L, subtrai-se a quantidade de SO₄²⁻, por estar relacionado aos cátions na proporção também de 1:1. Assim, como as razões $[\text{Na}^+ + \text{K}^+]/[\text{HCO}_3^-]$ e $[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]/[\text{HCO}_3^-]$ foram maior que 1, logo, as amostras de água estão concentradas na faixa que predominam os íons $(\text{Ca}_2^+ + \text{Mg}_2^+ + \text{Na}^+ + \text{K}^+)/[\text{HCO}_3^-]$, originados da dissolução de minerais silicatados. Pode-se afirmar que neste ambiente há uma contribuição antropogênica, significativa, podendo ser derivada de fertilizantes agrícolas, esgotos urbanos, entre outros. Nota-se ainda uma parcela afetada pelo estuário.

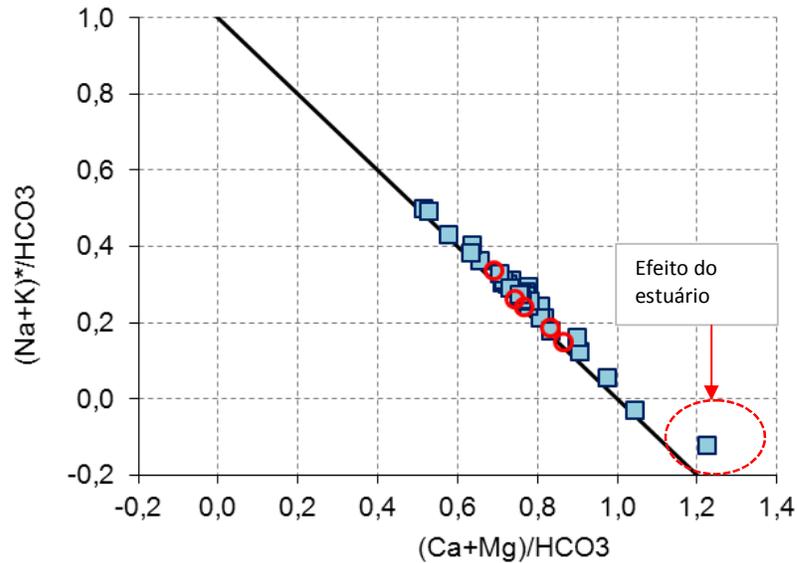


Figura 9 – A - Diagrama binário entre razões equivalentes $[Na^+ + K^+]/[HCO_3^-]$ vs. $[Ca^{2+} + Mg^{2+}]/[HCO_3^-]$

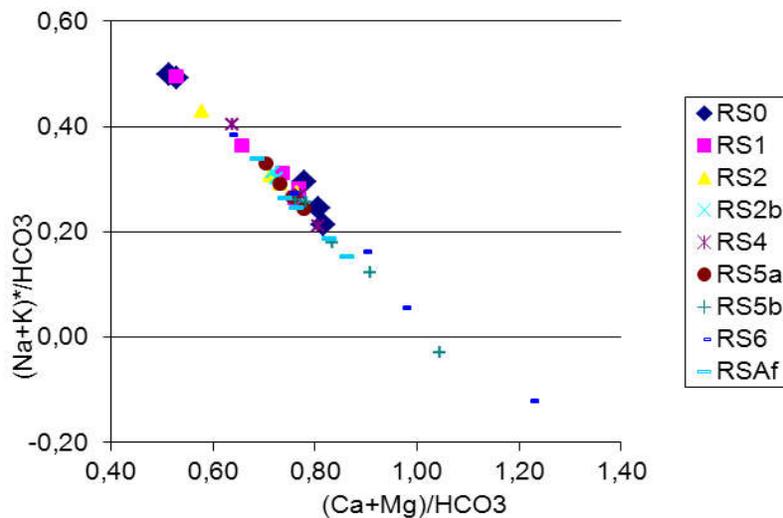


Figura 9 B - Diagrama binário entre razões equivalentes $[Na^+ + K^+]/[HCO_3^-]$ vs. $[Ca^{2+} + Mg^{2+}]/[HCO_3^-]$

Quanto à determinação do tipo de intemperismo atuante nos pontos de coleta, buscou-se verificar as proporções molares de NO_3^- , Na^+ e Cl^- , com intuito de se averiguar se essas contribuições são resultados dos componentes agrícolas (A.C.) ou de efluentes comuns (C.E.). Desta forma, estimou-se as razões molares de

$\text{NO}_3^-/\text{Na}^+$ e Cl^-/Na^+ . Para contribuições de origem A.C, a relação $\text{NO}_3^-/\text{Na}^+ = 10$ e $\text{Cl}^-/\text{Na}^+ =$ entre 3,5 e 5,5. Para contribuições de C.E., $\text{NO}_3^-/\text{Na}^+ = 0,1$ e $\text{Cl}^-/\text{Na}^+ =$ entre 0,6 e 1,1. Como se observa na Figura 10, as baixas razões $\text{NO}_3^-/\text{Na}^+$ e Cl^-/Na^+ sugerem que as contribuições antropogênicas no rio Subaé, indicando que a principal fonte desses íons nas águas do rio, é oriunda da entrada de efluentes comuns (CE). Vale ressaltar que fertilizantes a base de nitrogênio orgânico ou de nitrogênio amoniacal, são fontes potencial de nitrato, que é muito solúvel e altamente móvel, sendo transportado facilmente pelas águas superficiais (BUCCIANTI, 2014).

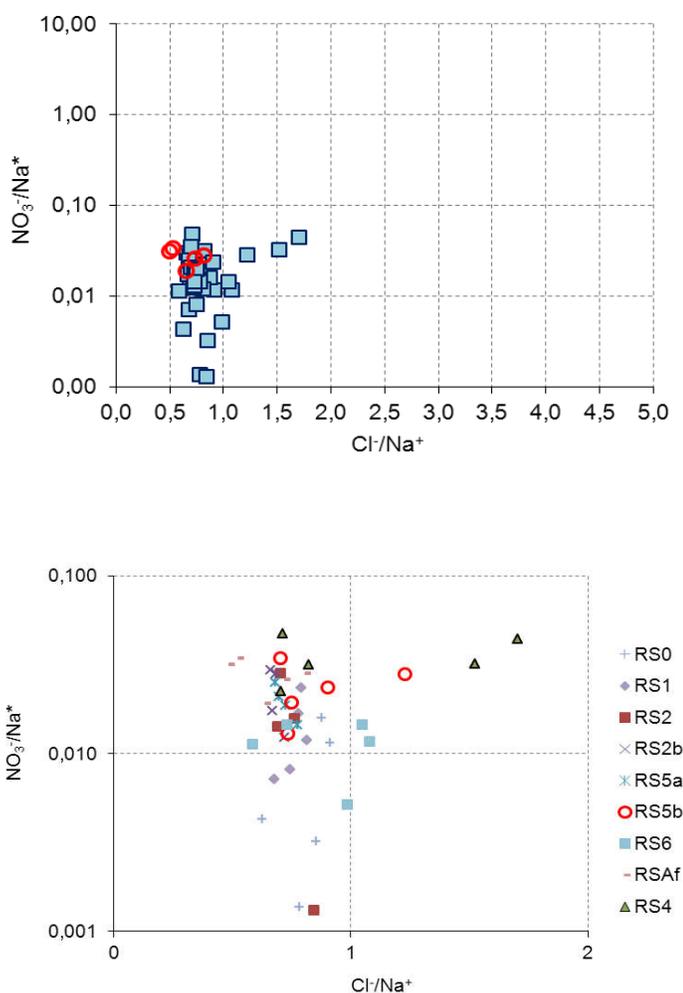


Figura 10 - Digrama de $\text{NO}_3^-/\text{Na}^+$ vs. Cl^-/Na^+ para contribuições de efluentes comuns (C.E.) e componentes agricultura (A.C.)

Em relação às contribuições relativas dos compostos de nitrogênio nas águas do rio Subaé, também foram avaliadas através do NO_2^- , NO_3^- e NH_4^+ , através do diagrama ternário (Figura 11). Observando que a maioria das amostras continham maiores concentrações de NO_3^- , isto porque é a forma mais estável desse elemento e, apenas 2 amostra apresentaram valores superiores de NH_4^+ em relação as demais, indicando que o processo de oxidação está incompleto.

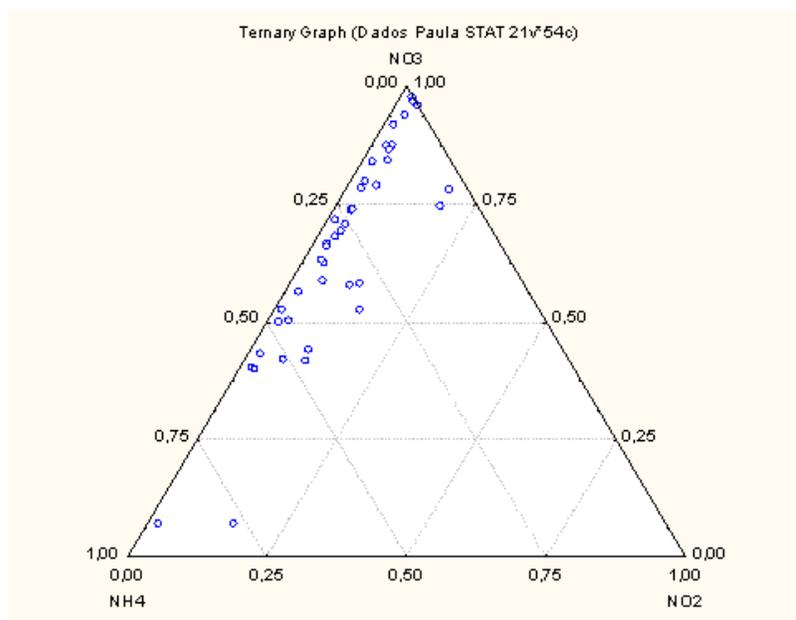


Figura 11 - Diagrama ternário das espécies de nitrogênio

Utilizando-se os valores médios obtidos para os principais cátions e ânions discutidos neste estudo, foi possível classificar quimicamente a água do rio Subaé a partir do diagrama de Piper (1944), elaborado no *software Qualigraf*. De acordo com a Figura 12, as águas fluviais podem ser classificadas como bicarbonatadas e mistas e bicarbonatadas, em relação aos cátions e ânions, respectivamente.

O diagrama cátions e ânions mostram variações na composição química das águas superficiais que é dominada Na^+ e HCO_3^- . Para os cátions, observa-se que a maior parte (52,4%) encontra-se na classe de águas mistas, enquanto 47,6% foram classificados como sódicos. Resultados semelhantes foram obtidos por Frota Júnior (2006), que encontrou predomínio de águas mistas quanto aos cátions na análise da bacia do rio Curu - CE. Com relação aos ânions, verificou-se que 71,4% das águas

se apresentam como bicarbonatadas, 16,7% cloretadas e apenas 11,9% correspondendo a cinco amostras, como mistas.

Na classificação geral, 50% das águas são águas de composição bicarbonatada cálcica. A solubilidade do Ca^{2+} em águas naturais está relacionada à presença de espécies carbônicas dissolvidas, tais como H_2CO_3 , HCO_3^- e CO_3^{2-} . Sabe-se que a presença dominante de um destes compostos está ligada ao potencial hidrogeniônico (pH). Na faixa de valores de pH observada, próxima à neutralidade, predomina o HCO_3^- , gerado por decomposição do H_2CO_3 ou por hidrólise de silicatos. Daí a natureza cálcica das águas bicarbonatadas estudadas.

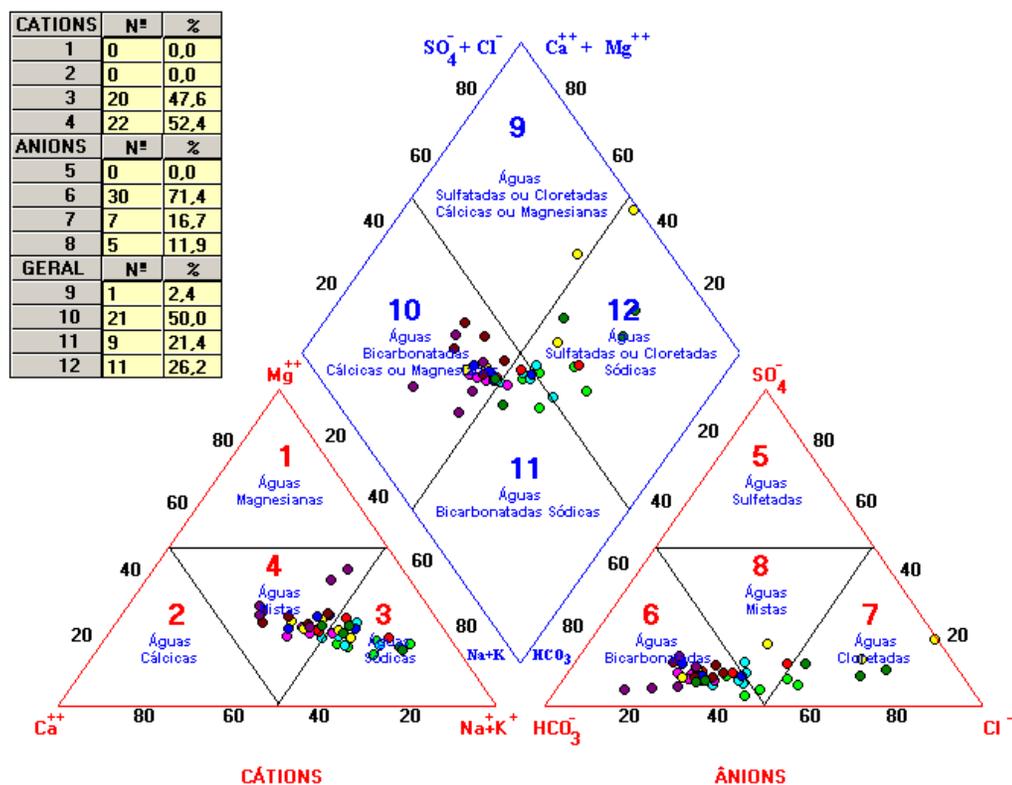


Figura 12 - Diagrama de Piper apresentando a classificação da água do rio Subaé nos 09 pontos de coleta

Metais traço metálicos dissolvidos

A partir das análises feitas, observou-se na Tabela 17 que as concentrações da maioria dos metais nas amostras de água do rio Subaé e afluente, não apresentaram valores significativos, estando abaixo dos valores recomendados para águas de classe 2, segundo a resolução Nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Os resultados revelaram também que os níveis de contaminação por Fe, apresentou média geral de 440µg/L, com valores mínimo e máximo de 250-670 µg/L, respectivamente, e, que apesar de mostrar uma amplitude significativa, sua variância foi de apenas 38 µg/L.

Tabela 17 - Concentrações dos metais-traço da área estudada classificada por coleta, em µg L⁻¹

Amostra	Coleta	Cádmio (Cd) µg/L	Zinco (Zn) µg/L	Cobre (Cu) µg/L	Chumbo (Pb) µg/L	Alumínio (Al) µg/L	Bário (Ba) µg/L	Cobalto (Co) µg/L	Cromo (Cr) µg/L	Ferro (Fe) µg/L	Potássio (K) µg/L	Níquel (Ni) µg/L	Manganês (Mg) µg/L	Vanádio (V) µg/L
		LQ 1	LQ 10	LQ 10	LQ 10	LQ 100	LQ 100	LQ 20	LQ 20	LQ 100	LQ 100	LQ 20	LQ 0,01	LQ 100
RS0	1	< 1	< 10	< 10	< 10	< 10	111,8	< 20	< 20	597,2	7481	< 20	31,1	< 100
RS1							102,7			431,2	5235		35,9	
RS2							423,7			1907	14,7			
RS2b							461,8			1812	19,5			
RS4							314,9			1971	< 10			
RS5a							425,8			1874	27,1			
RS5b							321,5			1599	39,2			
RSAf							245,9			3877	30,1			
RS6							253,3			1376	50,6			
RS0	2	< 1	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 20	< 20	290,7	6976	< 20	21,6	< 100
RS1						< 10	114,6			179,2	3742		< 10	
RS2						116	490			1809	12,3			
RS2b						< 10	475,3			1777	11,2			
RS4						168	527,7			1899	13,8			
RS5a						158	508,5			2023	20,2			
RS5b						126	407,4			2066	29,3			
RSAf						< 10	341,3			2987	34,4			
RS6						145	367,9			1975	28,4			
RS0	3	< 1	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 20	< 20	525,5	6901	< 20	< 10	< 100
RS1										437,2	5079		10,7	
RS2										679,8	2612			
RS2b										674,8	2679			
RS4										640,9	2544		< 10	
RS5a										628,7	2555			
RS5b										316,6	1991			
RSAf										410,6	2431			
RS6										198	987,6			

Tabela 17 – (cont.) Concentrações dos metais-traço da área estudada classificada por coleta, em $\mu\text{g L}^{-1}$

Amostra	Coleta	Cádmio (Cd) $\mu\text{g/L}$	Zinco (Zn) $\mu\text{g/L}$	Cobre (Cu) $\mu\text{g/L}$	Chumbo (Pb) $\mu\text{g/L}$	Alumínio (Al) $\mu\text{g/L}$	Bário (Ba) $\mu\text{g/L}$	Cobalto (Co) $\mu\text{g/L}$	Cromo (Cr) $\mu\text{g/L}$	Ferro (Fe) $\mu\text{g/L}$	Potássio (K) $\mu\text{g/L}$	Níquel (Ni) $\mu\text{g/L}$	Manganês (Mg) $\mu\text{g/L}$	Vanádio (V) $\mu\text{g/L}$
		LQ 1	LQ 10	LQ 10	LQ 10	LQ 100	LQ 100	LQ 20	LQ 20	LQ 100	LQ 100	LQ 20	LQ 0,01	LQ 100
RS0	4	< 1	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 20	< 20	658	4420	< 20	14,6	< 100
RS1										517,6	3071		26,3	
RS2										769,9	1670		20,3	
RS2b										800,9	1687		23,9	
RS4										817,7	1713		29,5	
RS5a										831,4	1747		44	
RS5b										913,4	1848		52,8	
RSAf										613,1	1917		30	
RS6										107,2	744,9		20,5	
RS0										5	< 1		< 10	
RS1	353,6	2871	20,5											
RS2	544	1172	14,8											
RS2b	561,3	1236	20,5											
RS4	549,5	1196	24,1											
RS5a	507	1232	35,4											
RS5b	557,3	1211	44,7											
RSAf	220,1	3632	23,4											
RS6	149	626,4	22,7											
RS0	6	< 1	< 10	< 10	< 10	< 10	113,5	< 20	< 20			205,5		5004
RS1							205,3			3294	18,9			
RS2							296,3			1304	< 10			
RS2b							294,7			1333	12,9			
RS4							297,9			1401	12,8			
RS5a							326			1360	25,9			
RS5b							313			1365	31,6			
RSAf							126,9			4614	13,5			
RS6							159,6			655,9	22,4			
*V.M.P.							1			10	180	20	10	100

*VMP – Valor Máximo Permitido (CONAMA 357/2005)

Os dados contidos nas Figuras 18 a 21 permitem observar que não há diferença significativa nas concentrações de Pb_{MP} mg L^{-1} , Zn_{MP} mg L^{-1} e Ni_{MP} mg L^{-1} , nas águas do rio Subaé, por apresentarem valores abaixo do limite estabelecidos pelos órgãos de controle. Entretanto, o resultado obtido para Cu_{MP} mg L^{-1} apresentou valores acima de $0,025 \text{ mg L}^{-1}$ e conforme mostrado na Tabela 20, pode-se observar que os pontos de coleta foram fatores que influenciaram nesses valores, tendo a precipitação, o escoamento e despejo de efluentes como as principais fontes de aporte deste metal para as águas do Subaé. Segundo Davis (2001), o escoamento superficial representa uma das mais importantes fontes de poluição para corpos aquáticos superficiais, especialmente em áreas urbanizadas.

Tabela 18 - Análise do Teste de Tukey – Pb_{MP} (mg/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	n.d	n.d	0,010	0,042	0,007	0,012	0,014 a
RS1	n.d	n.d	0,030	0,040	0,016	0,001	0,012 a
RS2	n.d	n.d	0,002	0,025	0,020	0,029	0,013 a
RS2b	n.d	n.d	0,003	0,015	0,035	0,007	0,01 a
RS4	n.d	n.d	0,014	0,022	0,022	0,012	0,017 a
RS5a	n.d	n.d	0,015	0,089	0,006	0,042	0,024 a
RS5b	n.d	n.d	0,013	0,024	0,020	0,001	0,009 a
RS6	n.d	n.d	0,019	0,037	0,006	0,006	0,013 a
RSAf	n.d	n.d	0,004	0,019	0,005	0,007	0,007 a
MEDIA	n.d	n.d	0,009 b	0,03 a	0,012 ab	0,007 b	

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, considerando o valor nominal de 5% de significância.

Tabela 19 - Análise do Teste de Tukey – Zn_{MP} (mg/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	n.d	n.d	0,041	0,097	0,037	0,062	0,055 a
RS1	n.d	n.d	0,107	0,187	0,251	0,031	0,111 a
RS2	n.d	n.d	0,075	0,155	0,124	0,131	0,117 a
RS2b	n.d	n.d	0,084	0,151	0,112	0,074	0,101 a
RS4	n.d	n.d	0,114	0,130	0,093	0,145	0,119 a
RS5a	n.d	n.d	0,139	0,376	0,049	0,281	0,164 a
RS5b	n.d	n.d	0,065	0,172	0,073	0,341	0,129 a
RS6	n.d	n.d	0,046	0,147	0,078	0,081	0,081 a
RSAf	n.d	n.d	0,106	0,088	0,044	0,097	0,079 a
MEDIA	n.d	n.d	0,08 a	0,153 a	0,081 a	0,108 a	

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, considerando o valor nominal de 5% de significância.

Tabela 20- Análise do Teste de Tukey – Cu_{MP} (mg/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	n.d	n.d	0,061	0,238	0,032	0,126	0,087 a
RS1	n.d	n.d	0,252	0,341	0,289	0,051	0,189 a
RS2	n.d	n.d	0,158	0,328	0,344	0,207	0,246 a
RS2b	n.d	n.d	0,115	0,151	0,165	0,105	0,132 a
RS4	n.d	n.d	0,257	0,213	0,318	0,195	0,241 a
RS5a	n.d	n.d	0,162	0,197	0,075	0,132	0,133 a
RS5b	n.d	n.d	0,035	0,146	0,083	0,128	0,086 a
RS6	n.d	n.d	0,127	0,238	0,264	0,117	0,175 a
RSAf	n.d	n.d	0,099	0,114	0,122	0,155	0,121 a
MEDIA	n.d	n.d	0,12 a	0,206 a	0,148 a	0,126 a	

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, considerando o valor nominal de 5% de significância.

Tabela 21 - Análise do Teste de Tukey – Ni_{MP} (mg/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	<i>MEDIA</i>
RS0	n.d	n.d	0,099	0,459	0,056	0,180	0,146 a
RS1	n.d	n.d	0,270	0,242	0,289	0,055	0,179 a
RS2	n.d	n.d	0,107	0,366	0,416	0,153	0,223 a
RS2b	n.d	n.d	0,163	0,211	0,256	0,118	0,179 a
RS4	n.d	n.d	0,319	0,147	0,227	0,125	0,191 a
RS5a	n.d	n.d	0,325	0,357	0,111	0,158	0,212 a
RS5b	n.d	n.d	0,047	0,235	0,146	0,217	0,137 a
RS6	n.d	n.d	0,051	0,209	0,216	0,070	0,113 a
RSAf	n.d	n.d	0,171	0,171	0,120	0,136	0,148 a
<i>MEDIA</i>	n.d	n.d	0,139 a	0,25 a	0,176 a	0,125 a	

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, considerando o valor nominal de 5% de significância.

Metais traço metálicos particulados

O metal-traço no estuário está sujeito a inúmeros processos de associação, de maneira que esse elemento é controlado pela hidrodinâmica estuarina resultante do encontro de águas doces com águas marinhas, distribuindo-se em duas fases: dissolvida e particulada.

Na avaliação dos teores de metais (Pb, Cu, Zn e Ni) no material particulado em suspensão do Subaé, foi possível determinar os teores de metais presentes neste ambiente. Independente do ponto de coleta ou mesmo do dia da coleta, os valores de metais-traço obtidos no MPS, não apresentaram níveis significativos que possam ser considerados nocivos (Tabela 27). O que se percebe é que as concentrações desses metais no material particulado, foram muito menores que os valores do VPM estabelecido pelo CONAMA para metais em águas de classe 2, podendo afirmar que a concentração de material particulado em suspensão (MPS) foi baixa durante todo o experimento, com valores abaixo de 10 µg/L, não comprometendo a saúde da população.

Tabela 22 - Concentração média de metais-traço em $\mu\text{g L}^{-1}$ e MPS em mg L^{-1}

Amostra	Pb	Zn	Ni	Cu	MPS
	$\mu\text{g L}^{-1}$				mg L^{-1}
RS0	0,02	0,06	0,20	0,11	52
RS1	0,02	0,14	0,21	0,23	63
RS2	0,02	0,12	0,26	0,26	63
RS2b	0,02	0,11	0,19	0,13	48
RS4	0,02	0,12	0,21	0,25	55
RS5a	0,04	0,21	0,24	0,14	61
RS5b	0,01	0,16	0,16	0,10	58
RS6	0,02	0,09	0,14	0,19	48
RSAF	0,01	0,08	0,15	0,12	50
Média	0,02	0,12	0,20	0,17	55
Desvio padrão	0,01	0,05	0,04	0,06	6
Coefficiente de variação	0,43	0,38	0,21	0,36	0
Mínimo	0,01	0,06	0,14	0,10	48
Máximo	0,04	0,21	0,26	0,26	63
Valor LQM-UFBA	10	10	20	20	-
*V.M.P.	30	180	25	20	-
**VI	10	5000	20	2000	-

*V.M.P. – Valor Máximo Permitido ($\mu\text{g L}^{-1}$) pela resolução 357/05 CONAMA

**V.I. – Valor de Intervenção ($\mu\text{g L}^{-1}$) – CETESB (2005)

Pode-se observar através do teste de Tukey, que os não houve diferenças significativas em relação aos períodos e aos pontos de coletas para o MPS, bem como para os elementos metálicos Pb, Zn e Ni. Entretanto, as concentrações de Cu apresentou influência com relação aos pontos de coleta, mostrando o mínimo de $1,56\text{mg kg}^{-1}$ no ponto de coleta RS5b e máximo de $4,55\text{mg kg}^{-1}$ no ponto RS4, apresentando uma média de concentração de $3,0\text{mg kg}^{-1}$. Não foram observadas diferenças tão significativas entre o período seco e úmido, e as médias foram bastante semelhantes em julho, agosto, outubro e dezembro (Tabelas 23 a 27) .

Tabela 23 - Análise do Teste de Tukey – MPS (em µmol/L)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	n.d	n.d	25	100	28	53	44 a
RS1	n.d	n.d	75	87	77	13	51 a
RS2	n.d	n.d	45	72	85	48	60 a
RS2b	n.d	n.d	47	50	57	38	47 a
RS4	n.d	n.d	60	45	73	40	53 a
RS5a	n.d	n.d	75	87	33	48	57 a
RS5b	n.d	n.d	57	67	45	52	55 a
RS6	n.d	n.d	45	57	62	28	46 a
RSAf	n.d	n.d	40	40	50	68	48 a
MEDIA	n.d	n.d	50 ab	64 a	53 ab	40 b	

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, considerando o valor nominal de 5% de significância

Tabela 24 - Análise do Teste de Tukey – Pb_{MP} (mg/kg de MP)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	n.d	n.d	0,403	0,422	0,256	0,228	0,316 a
RS1	n.d	n.d	0,401	0,456	0,207	0,092	0,243 a
RS2	n.d	n.d	0,041	0,350	0,231	0,601	0,211 a
RS2b	n.d	n.d	0,068	0,306	0,605	0,186	0,22 a
RS4	n.d	n.d	0,233	0,485	0,304	0,289	0,316 a
RS5a	n.d	n.d	0,203	1,024	0,169	0,877	0,419 a
RS5b	n.d	n.d	0,222	0,350	0,454	0,020	0,163 a
RS6	n.d	n.d	0,418	0,641	0,098	0,220	0,276 a
RSAf	n.d	n.d	0,094	0,462	0,098	0,102	0,144 a
MEDIA	n.d	n.d	0,179 a	0,467 a	0,228 a	0,186 a	

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, considerando o valor nominal de 5% de significância

Tabela 25 - Análise do Teste de Tukey – Zn_{MP} (mg/kg de MP)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	n.d	n.d	1,62	0,97	1,33	1,17	1,25 a
RS1	n.d	n.d	1,42	2,15	3,25	2,37	2,2 a
RS2	n.d	n.d	1,68	2,15	1,46	2,73	1,94 a
RS2b	n.d	n.d	1,78	3,02	1,97	1,94	2,13 a
RS4	n.d	n.d	1,90	2,88	1,28	3,63	2,24 a
RS5a	n.d	n.d	1,85	4,32	1,49	5,84	2,89 a
RS5b	n.d	n.d	1,14	2,57	1,62	6,55	2,36 a
RS6	n.d	n.d	1,03	2,57	1,25	2,88	1,76 a
RSAf	n.d	n.d	2,64	2,19	0,87	1,42	1,64 a
MEDIA	n.d	n.d	1,62 ab	2,38 ab	1,51 b	2,73 a	

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, considerando o valor nominal de 5% de significância.

Tabela 26 - Análise do Teste de Tukey – Cu_{MP} (mg/kg de MP)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	n.d	n.d	2,42	2,38	1,14	2,38	1,99 cd
RS1	n.d	n.d	3,36	3,92	3,75	3,91	3,73 abc
RS2	n.d	n.d	3,51	4,56	4,04	4,30	4,08 ab
RS2b	n.d	n.d	2,44	3,02	2,90	2,76	2,77 abcd
RS4	n.d	n.d	4,28	4,74	4,36	4,88	4,55 a
RS5a	n.d	n.d	2,16	2,26	2,26	2,76	2,35 bcd
RS5b	n.d	n.d	0,61	2,18	1,83	2,45	1,56 d
RS6	n.d	n.d	2,82	4,17	4,26	4,17	3,8 ab
RSAf	n.d	n.d	2,48	2,85	2,44	2,28	2,51 abcd
MEDIA	n.d	n.d	2,41 a	3,2 a	2,76 a	3,2 a	

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey, considerando o valor nominal de 5% de significância.

Tabela 27- Análise do Teste de Tukey – Ni_{MP} (mg/kg de MP)

	fev/14	abr/14	jun/14	ago/14	out/14	dez/14	MEDIA
RS0	n.d	n.d	3,95	4,59	1,98	3,40	3,33 a
RS1	n.d	n.d	3,60	2,78	3,75	4,23	3,55 a
RS2	n.d	n.d	2,37	5,09	4,90	3,18	3,7 a
RS2b	n.d	n.d	3,48	4,22	4,48	3,09	3,78 a
RS4	n.d	n.d	5,32	3,27	3,12	3,13	3,61 a
RS5a	n.d	n.d	4,33	4,10	3,37	3,29	3,74 a
RS5b	n.d	n.d	0,83	3,51	3,25	4,17	2,51 a
RS6	n.d	n.d	1,13	3,67	3,48	2,51	2,46 a
RSAf	n.d	n.d	4,26	4,28	2,40	2,00	3,06 a
MEDIA	n.d	n.d	2,81 a	3,89 a	3,3 a	3,15 a	

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste de Tukey a 1%.

Com base nos resultados obtidos nas análises do MPS para as concentrações de metais, pode-se afirmar que, comparando-os com os valores-guias VP (valor de prevenção) e VI (valor de intervenção) e os valores-guias PEC (*probable effect concentration*) e TEC (*threshold effect concentration*) apresentados na Tabela 28, os metais analisados apresentaram teores muito abaixo dos valores de prevenção e intervenção e com os valores-guias TEC e PEC, não se configurando ameaça à comunidade biológica.

Tabela 28 - Concentração média de metais-traço em mg kg⁻¹ de sedimentos

Amostra	Pb	Zn	Ni	Cu
	mg kg _{sedimento} ⁻¹			
RS0	0,33	1,27	3,48	2,08
RS1	0,29	2,30	3,59	3,74
RS2	0,31	2,00	3,88	4,10
RS2b	0,29	2,18	3,82	2,78
RS4	0,33	2,42	3,71	4,56
RS5a	0,57	3,37	3,77	2,36
RS5b	0,26	2,97	2,94	1,77
RS6	0,34	1,93	2,70	3,86
RSAF	0,19	1,78	3,24	2,51
Média	0,32	2,25	3,46	3,08
Desvio padrão	0,10	0,63	0,42	1,00
Coefficiente de variação	0,32	0,28	0,12	0,32
Mínimo	0,19	1,27	2,70	1,77
Máximo	0,57	3,37	3,88	4,56
Valor LQM-UFBA	0,01	0,01	0,02	0,02
VR	17	60	13	35
VP	72	300	30	60
TEC	36	120	23	32
PEC	128	459	49	150

VI – Valor de Intervenção (mg kg⁻¹) - VP – Valor de Prevenção (mg kg⁻¹) - TEC - Concentração de efeito limiar (mg kg⁻¹) - PEC – Concentração de efeito provável (mg kg⁻¹)
Fonte: CETESB (2005) e MacDonald et al, 2000

Considerando a área da bacia hidrográfica do rio Subaé e os valores das concentrações médias dos íons obtidos no ponto RS6, foi possível calcular o transporte desses elementos que estão sendo carregados pelo rio Subaé até a Baía de Todos os Santos. Ao compararmos os valores de fluxos de Pb obtido no rio Subaé, com os valores médios dos fluxos dos rios Eygoutier (NICOLAU, 2012), rio Rhône (OLLIVIER et al., 2011), rio Po (TANKÉRE et al., 2000) e rio Axios (KARAGEORGIS et al., 2003) observa-se que os resultados encontrados nesses rios do Norte do Mediterrâneo apresentaram valores mais alto do que o encontrado no rio Subaé, os quais foram, respectivamente de 3,4 kg/km²/ano, 3,6 kg/km²/ano, 3,8 kg/km²/ano e 2,4 kg/km²/ano. Por outro lado, o Cu no rio Subaé foi encontrado fluxo de 30,8 kg/km²/ano, valor alto em comparação aos rios do Norte do Mediterrâneo de 3,8 kg/km²/ano, 4,4 kg/km²/ano, 5,0 kg/km²/ano e 1,5 kg/km²/ano

Da mesma forma, comparamos os resultados com o estudo de Lacerda (1987), o qual também fez uma estimativa do fluxo anual de contaminantes para a Baía de Sepetiba, obtendo 9,5 t/ano (Zn), 2,7 t/ano (Pb) e 1,8 t/ano (Cu), valores mais elevados do que os obtidos por nossa pesquisa, que foram de 8,0 t/ano (Zn), 1,3 t/ano (Pb) e, revelando um valor considerável para Cu (17,2 t/ano) e para bicarbonatos, este, reflexo do despejo de efluentes *in natura* no rio Subaé (Tabela 29).

Tabela 29 - Fluxos transportados pelo rio Subaé até a Baía de Todos os Santos

Transporte de:	(kg/km ² /ano)	t/ano
F ⁻	30,6	17,1
Cl ⁻	14743,3	8244,9
NO ₂ ⁻	56,4	31,5
NO ₃ ⁻	320,6	179,3
PO ₄ ³⁻	84,8	47,4
SO ₄ ²⁻	3404,4	1903,9
HCO ₃ ⁻	19656,8	10992,6
Na ⁺	11114,7	6215,7
NH ₄ ⁺	27,4	15,3
K ⁺	1209,6	676,4
Mg ²⁺	2203,0	1232,0
Ca ²⁺	3208,7	1794,4
MP	8108,1	4534,3
Pbp	2,2	1,3
Znp	14,3	8,0
Nip	19,9	11,1
Cup	30,8	17,2
Vazão média anual (m³/s)		3,1

CONCLUSÕES

As análises realizadas nas águas do rio Subaé permitiram classificá-las como doce na maior parte do seu percurso, apresentando-se salobra na região próxima ao seu estuário. Elas apresentaram pH neutro, variando entre 7,2 e 7,7. Apesar de apresentar um valor alto de TDS (481mg L), o mesmo ficou abaixo do limite máximo permissível para os padrão de potabilidade da OMS (1000mg L). Da relação entre TDS e $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$, obteve-se altos valores, os quais revelaram que o intemperismo que ocorre na área é oriundo da resistência de evaporitos e silicatos.

Ainda foi possível concluir que as variações das principais composições de íons indicaram impactos antropogênicos, especialmente por NO_3 e PO_4^{3-} , provavelmente advindos do uso de fertilizantes e adubos, além de efluentes domésticos não tratados.

No tocante as concentrações de metais-traço analisadas nas amostras de água do rio Subaé e afluente, não foram detectados valores significativos, que possam adquirir potencial de contaminação, estando, assim, abaixo dos valores recomendados para águas de classe 2, segundo a resolução N° 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRIL, Gwenaël; FRANKIGNOULLE, Michel. Nitrogen–alkalinity interactions in the highly polluted Scheldt basin (Belgium). **Water research**, v. 35, n. 3, p. 844-850, 2001.

ALLOWAY, B. J. **Heavy Metals in Soils**. Blackie: Chapman & Hall, New York, 1995. 139p.

ALMEIDA, V. C.; LENZI, E.; FAVERO, L. O. B.; LUCHESE, E. B. (1998). **Avaliação do teor de alguns metais e de nutrientes de lodos de estações de tratamento de esgoto de Maringá**. Acta Scientiarum 20(4): 419-425.

ANDREWS-JONES, D. A. 1968. **The Application of Geochemical Techniques to Mineral Exploration**. **Mineral Industries Bull.**, Colorado School of Mines Research Foundation, Inc. Nov. Vol 11, No 6, 84p. Traduzido por Tomaz A. M. Lobato, SUREG/BE

ASEVEDO, L. P. **Mapeamento geoquímico de solos contaminados por metais (Pb, Zn, As e Cu), Santo Amaro da Purificação**. Dissertação (Mestrado em Solos e Qualidade de Ecossistemas), UFRB, Cruz das Almas BA, 93 f, 2012.

BITTENCOURT, André Virmond Lima; ROSA FILHO, Ernani Francisco da; HINDI, Eduardo Chemas; BUCHMANN FILHO, Antonio Carlos. A Influência dos Basaltos e de Misturas com Águas de Aquíferos Sotopostos Nas Águas Subterrâneas Do Sistema Aquífero Serra- Geral na Bacia do Rio Piquiri, Paraná – BR. **Rev. Águas Subterrâneas**. n. 17, p. 67-75. Maio 2003.

BONUMÁ, N. B. **Avaliação da qualidade da água sob impacto da atividade de implantação de garimpo no município de São Martinho da Serra**. 2006. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFSM/RS, 2006.

CETESB - **Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental**, (2007) <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/Rios/variaveis.asp>>. Acesso em 05 maio 2015.

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução do CONAMA N° 357 de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res357.pdf>>. Acesso em: 07/0/2015

CONERH – Resolução N° 48 de 08 de maio de 2009 - Enquadramento Transitório da Bacia do Rio Subaé, dos Rios Subaezinho, Subaé, Traripe, Riacho da Pitanga e Rio Canto do Muro. Disponível em http://www.meioambiente.ba.gov.br/legislacao/RESOLUCAOCONERH/resoluc_o_coner48.pdf. Acesso em 03/05/2015.

COUTO. C. F. **Contaminação por indústria metalúrgica dos sedimentos do rio Subaé no município**

de Santo Amaro, Bahia. TCC. (Graduação em Engenharia Sanitária - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Bahia). No prelo
CUSTODIO E., LAMAS M. R. 1976. **Hidrologia subterrânea.** Ediciones Omega, Barcelona, 1157 pp

EMBRAPA. **Estudo de correlação de solos para fins de classificação nas regiões do recôncavo baiano e microrregião de Irecê-Bahia** / Tony Jarbas Ferreira Cunha... [et al.] ... **CD-ROM** - (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa; n. 9). ISSN 1517-5219, 2000.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Liminologia.** 2 ed. Rio de Janeiro. Editora Interferência Ltda, 1998. 602 p.

GEOAMB. **Atividades mitigadoras do problema da contaminação por chumbo em Santo Amaro da Purificação – BA:** Projeto de remoção da escória de chumbo da zona urbana de Santo Amaro da Purificação. Salvador, 2002. Disponível em: <www.geamb.eng.ufba.br>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2015.

GILL, R. **Chemical Fundamentals of Geology.** Chapman and Hall, 1996. 290p.

GOMES, M. V. T.; SATO, Y. **Avaliação da contaminação por metais pesados em peixes do Rio São Francisco à jusante da represa de Três Marias, Minas Gerais, Brasil.** Revista Saúde e Ambiente, v. 6, n. 1, p. 24-30, 2011.

GREENBERG, A.E.; CLESCERI, L.S.; EATON A.D. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 18 ed. Ed. American Public Health Association, 1992.

HAN, G., LIU, C.Q., 2004. Water geochemistry controlled by carbonate dissolution: a study of the river waters draining karst-dominated terrain, Guizhou Province, China. **Chem. Geol.** 204, 1–21.

HEM J. D. **Study and interpretation of chemical characteristics of natural water.** 3 ed. Alexandria, United States: Geological Survey - Water-Supply Paper 2254. 1985. 263p.

HERMES L.C. & Silva A. de S. 2004. **Avaliação da qualidade das águas: manual prático.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 55p.

HILLIER, S. 2001. Particulate composition and origin of suspended sediment in the R. Don, Aberdeenshire, UK. **The Science of the Total Environment**, vol.265, p.281-293

HUIZENGA, Jan Marten. Characterisation of the inorganic chemistry of surface waters in South Africa. **Water SA**, v. 37, n. 3, p. 401-410, 2011.

INGÁ. 2009. Instituto de Gestão das águas e clima. Bacias Hidrográficas. Disponível em: www.inga.ba.gov.br. Acesso em: 15 nov. 2014.

KARAGEORGIS, A.P., NIKOLAIDIS, N.P., KARAMANOS, H., SKOULIKIDIS, N., 2003. Water and sediment quality assessment of the Axios River and its coastal environment. **Continental Shelf Research** 23 (17e19), 1929e1944.

LACERDA, L. D.; PFEIFFER, W. C.; FISZMAN, M. Heavy metal distribution, availability and fate in Sepetiba Bay, SE Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 65, p. 163-173, 1987.

LI, Siyue; ZHANG, Quanfa. Geochemistry of the upper Han River basin, China, 1: Spatial distribution of major ion compositions and their controlling factors. **Applied Geochemistry**, v. 23, n. 12, p. 3535-3544, 2008.

LICHT, O. A. B. **Prospecção Geoquímica: princípios, técnicas e métodos**. CRPM: Rio de Janeiro, 1998

LIMA, G. M. P. & LESSA, G. C.. The fresh-water discharge in Todos os Santos Bay (BA) and its significance to the general water circulation. **Revista Pesquisas em Geociências**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-RS, v. 28, n. 2, p. 85-97, 2001.

MACDONALD, D. D.; INGERSOLL, C. G.; BERGER, T. A. Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. **Arch. Environ. Contam. Toxicol**, n. 39, p. 20-31, 2000.

MACHADO, S. L.; BOTELHO, M. A. B.; CAVALCANTE, R. F.; AMPARO, N. S. Contaminação por metais pesados em Santo Amaro da Purificação - BA - Uso de métodos geofísicos em geotecnia ambiental. . **V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental - REGEO**, Porto Alegre, 2002

MACHADO, S. L.; RIBEIRO, L. D.; KIPERSTOK, A.; BOTELHO, M. A. B.; CARVALHO, M. DE F. Diagnóstico da contaminação por metais pesados em Santo Amaro - BA. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. (140-155), Abr/jun, 2004

MACHADO, S. L.; SAMPAIO, M. P.; CARVALHO, M. DE F. Contaminação por metais pesados em Santo Amaro da Purificação - BA - Modelagem numérica do transporte de poluentes. . **V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental - REGEO**, Porto Alegre, 2003

MARTINS, C. R.; SILVA, L. A.; ANDRADE, J. B. Sulfetos: por que nem todos são insolúveis?. **Química Nova**, v. 33, n. 10, p. 2283-2286, 2010.

MAZONI, Patrícia; MINAS, Raul. Poluição por chumbo em Santo Amaro da Purificação. Brasília: **Instituto para o Desenvolvimento Ambiental**, v. 8, 2009.

McBRIDE, M.D. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994.406p

METHOD ASTM D6919-09. Ion chromatography as a reference method for determination of inorganic ions in water and wastewater. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v. 36, n. 2, p. 107-127, 2006.

METHOD EPA 300.0. Determination of inorganic anions by ion chromatography. **US Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH**, 1993.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Plano Nacional de Recursos Hídricos: Documento de Introdução**. Brasília: MMA, 2001

MOLLER, Osmar O. et al. The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 3, p. 335-351, 1996.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista Saúde Pública**, v. 36, n. 3, p. 370-374, 2002.

NICOLAU, R. et al. Base flow and stormwater net fluxes of carbon and trace metals to the Mediterranean sea by an urbanized small river. **Water research**, v. 46, n. 20, p. 6625-6637, 2012.

OLIVEIRA, R. C. B. **Investigação do comportamento geoquímico de metais-traços em solos e sedimentos da bacia inferior do rio jaguaribe, nordeste do brasil**. Fortaleza: UFCE, 2012

OLLIVIER, P., RADAKOVITCH, O., HAMELIN, B., 2011. Major and trace elements partition and fluxes in the Rhone River. **Chemical Geology** 285 (1e4), 15e31.

PACHECO, F. A. L. Application of correspondence analysis in the assessment of groundwater chemistry. **Mathematical Geology**, v. 30, n. 2, p. 129-161, 1998.

PACHECO, Fernando; WEIJDEN, Cornelis H. Contributions of Water Rock Interactions to the Composition of Groundwater in Areas with a Sizeable Anthropogenic Input: A Case Study of the Waters of the Fundão Area, Central Portugal. **Water Resources Research**, v. 32, n. 12, p. 3553-3570, 1996.

PANE, J. S.; BRONDI, S. H. G. Análise química de sedimentos de represas da Embrapa Pecuária Sudeste. In: Congresso de Iniciação Científica, 16.,2008, São Carlos.**Anais de Eventos da UFSCar**, v.4, 2008, p.1010. Disponível em: <<http://ict2008.nit.ufscar.br/cic/uploads/C28/C28-062.pdf>>. Acesso em: 30 JUNHO 2014.

PAULA, M. Inimigo invisível: metais pesados e a saúde humana. **Tchê-Química**, v. 3, n. 6, p. 37-44, 2006.

PEIXOTO, J. S. **Estimativa das perdas de solo e do transporte de chumbo e zinco por erosão hídrica no entorno da cidade de Santo Amaro da Purificação, Bahia**. Cruz das Almas: UFRB, 2013.

PETERSEN, Maria das Neves Morant Braid. **Chumbo e Cádmio em alimentos de origem vegetal do município de Santo Amaro-BA**. 1982. 138f. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1982.

PIPER, A.M. (1944) A graphic procedure in the geochemical interpretation of wateranalyses. **Trans. Amer./Geophysical Union**, 25:914-928.

PONTES, E. de M. **Monitoração de chumbo em amostras ambientais e estudos de retenção de cádmio, chumbo, cobre e zinco nos solos luvissolo crômico e neossolo regolítico**. 2009. 85f. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada)-Universidade do Estado da Bahia, Salvador, 2009.

QUEIROZ, AF de S.; CELINO, J. J. **Avaliação de Ambientes na Baía de Todos os Santos: Aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos**. Salvador: EDUFBA, 2008.

SANTANA, G. P.; BARRONCAS, P. S. R. Estudo de metais pesados (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus – (AM). **Acta Amazonica**, v. 57, n. 1, p. 111 - 118, 2007.

SANTOS, A. C. **Noções de Hidrogeoquímica**. In: FEITOSA, F. A. C ; MANOEL FILHO, J. (Coord). Hidrogeologia conceitos e aplicações. Fortaleza: CPRM, 1997. p. 81-108.

SANTOS D. M., Bossini J. A. T., Preussler K. H., Vasconcelos E. C., Carvalho Neto F. S.; Carvalho-Filho M. A. S. 2006. Avaliação de Metais Pesados na Baía de Paranaguá, PR, Brasil, sob Influência das Atividades Antrópicas J. Braz. **Soc. Ecotoxicol.**, v. 1, n. 2, p. 157-160.

SANTOS, Leila Thaise Santana de Oliveira; DE JESUS, Taise Bomfim; NOLASCO, Marjorie Cseko. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade das águas superficiais do rio Subaé, Bahia. **Geographia Opportuno Tempore**, v. 1, n. 1, p. 68-79, 2014.

SEYLER, P. T.; BOAVENTURA, G. R.. **Distribution and partition of trace metals in the Amazon basin**. Hydrological Processes, v. 17, p. 1345–1361, 2003.

SILVA, G. S. Estudo geoquímico de sedimentos fluviais e estuarinos do rio subaé-BA. Dissertação. (Mestrado em Solos e qualidade de ecossistemas - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Bahia). No prelo

SILVA, A. P. Avaliação das informações sobre a exposição dos trabalhadores das empresas SHELL, CYANAMID E BASF a compostos químicos – Paulínia/SP: relatório final. São Paulo: **AMBIOS**, 2005.

SOTCHAVA, V. B. Por uma teoria de classificação de geossistema da vida terrestre. São Paulo, Instituto de Geografia USP. 23p. (**Biogeografia, 14**).

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e do tratamento de esgoto**. 2 ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243p.

TAVARES, T. M.; CARVALHO, F. M. avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do Recôncavo Baiano. **Química Nova**, v. 15, n. 2, p. 147-155, 1992.

TANKÉRE, S.P.C., PRICE, N.B., STATHAM, P.J., 2000. Mass balance of trace metals in the Adriatic Sea. **Journal of Marine Systems** 25 (3e4), 269e286.

TCHOBANOGLIOUS, George; BURTON, Franklin L. Wastewater engineering. **Management**, v. 7, p. 1-4, 1991.

TEIXEIRA, M. C. P. **Qualidade de vida em saúde de ex-trabalhadores do chumbo**.2009. 72 f. Dissertação (Mestrado em Saúde, Ambiente e Trabalho)-Programa de Pós-Graduação em Saúde, Ambiente e Trabalho, Faculdade de Medicina da BahiaUniversidade Federal da Bahia, Salvador, 2009

VERBANCK, Michel; VANDERBORGHT, Jean-Pierre; WOLLAST, Roland. Major ion content of urban wastewater: assessment of per capita loading. **Research Journal of the Water Pollution Control Federation**, p. 1722-1728, 1989.

VICENTE-MARTORELL JJ, Galindo-Ria M.D, García-Vargas M, Castro M.D.G. (2009). **Bioavailability of heavy metals monitoring water, sediments and fish species from a polluted estuary**. J. Hazard. Mater. 162:823-836.

ZENTNER, L.E. et al. Relationships of blood lead to calcium, iron, and vitamin C intakes in Brazilian pregnant women. **Clinical Nutrition**, v.27, p.100-04, 2008.

ZENTNER, L.E; RONDÓ, P.H. Lead contamination among pregnant brazilian women living near a lead smelter. **International Journal of Gynecology and Obstetrics**, v.87, n.2, p.147-48, 2004.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização morfométrica da bacia do rio Subaé permitiu avaliar a dinâmica hidrogeomorfológica atuante nesta unidade ambiental como favorável à manutenção de seu potencial hídrico e sustentável. Todavia, por saber que na bacia são desenvolvidas ações antropogênicas impactantes, suas condições hídricas poderão ao longo do tempo ser alteradas se essas atividades não se adotarem um manejo adequado aos seus recursos.

Os resultados obtidos deixam claro que a bacia hidrográfica do rio Subaé é um sistema de extrema importância para o município de Santo Amaro e para a região do recôncavo baiano, e que pode ser perfeitamente administrado de forma a se manter suas características físicas, bióticas e antrópicas dentro dos padrões de sustentabilidade.

Embora tenha sido palco de contaminação por metais na referida cidade, suas águas ainda preservam seus padrões dentro do aceitável do ponto de vista da legislação vigente, embora continue sofrendo com lançamento *in natura* de efluentes domésticos e agrícolas.

Como ficaram constatados nesta pesquisa, segundo o CONAMA os metais presentes na água ainda não alcançaram níveis que precisem de intervenção, mas se não forem adotadas por parte da população ações de preservação desse ecossistema, os níveis de metais poderão crescer de forma que se tenha mais um recurso altamente poluído, afetando toda e qualquer vida ali existente.

APÊNDICE

