



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOQUÍMICA:
PETRÓLEO E MEIO AMBIENTE - POSPETRO**



ANTONIO BOMFIM DA SILVA RAMOS JUNIOR

**HIDROQUÍMICA DO RIO SÃO PAULO, RECÔNCAVO
BAIANO**

**SALVADOR
2012**

ANTONIO BOMFIM DA SILVA RAMOS JUNIOR

HIDROQUÍMICA DO RIO SÃO PAULO, RECÔNCAVO
BAIANO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio ambiente - POSPETRO, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Geoquímica do Petróleo e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Jerônimo Moreira Cruz.

Salvador
2012

Cxxx Ramos Junior, Antonio Bomfim da Silva,
Hidroquímica do rio São Paulo, recôncavo baiano. / Antonio Bomfim da
Silva Ramos Junior. – Salvador, 2012.

FICHA CATALOGRÁFICA

CDU:XXXXXXXXX

Antonio Bomfim da Silva Ramos Junior

HIDROQUÍMICA DO RIO SÃO PAULO, RECÔNCAVO BAIANO

Dissertação apresentada ao programa de Pós Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente – POSPETRO, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do grau de Mestre.

Banca examinadora

Prof. Dr. Manoel Jerônimo Moreira Cruz (Orientador)
Doutor em Geologia pelo Université Pierre ; Marie Curie, Paris VI., França.
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Sérgio Augusto de Moraes Nascimento
Doutor em Geologia pela Universidade Federal da Bahia, Brasil.
Universidade Federal da Bahia

Dr. Paulo Henrique Prates Maia
Doutor em Geologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal da Bahia.
Instituto de Gestão das Águas e Clima (INGÁ)

Defesa Pública: 12/03/2012

Salvador - Bahia
Fevereiro/2012

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre se empenharam para me proporcionar uma boa educação e que sempre me incentivaram na busca dos meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e toda a minha família pelo apoio e incentivo a todo o momento....

À Luciane Cristina Burgos Costa (futura esposa) pela paciência, carinho e dedicação, além de ser meu braço direito, estando ao meu lado em todos os momentos me incentivando e ajudando. E toda a sua família

Ao meu orientador, Prof. Dr. Manoel Jerônimo Moreira Cruz, pela totalidade dos conhecimentos, ensinamentos e amizade.

Aos coordenadores do POSPETRO – Olívia e Antônio Fernando ...

A todos os professores do POSPETRO em especial Karina Garcia e Joil Celino que sempre fez eu perceber as coisas.

À excelentíssima professora Mônica Cunha, por todo o ensinamento, dedicação e paciência, realmente incrível, sem ela seria quase impossível.

Aos meus amigos geoquímicos do POSPETRO, Elisângela, Olga, Ana Carolina, Cláudia, Joana, Tainã, Ícaro, Alexandre, Alex, Consuelo, Márcio, Rose e todos os outros, pela troca de conhecimento, experiências e amizade ...

Aos estudantes de graduação, Luana Maia, Roberto Gomes, Ana Paula

Aos colegas e amigos doutorando em geologia, Manoel Vítor e Rodrigo Alves, pela constante troca de informações, pelo coleguismo e amizade.

Ao técnico e amigo pessoal Elinaldo Sales, por toda a ajuda concedida.

Aos técnicos do NEA Sara, Marcos, Jorge e em especial Gisele, sempre presentes e eficientes nas horas em que precisei.

À Valdinea , Cícero , Naná , Raolina, Ricardo, pelo suporte e amizade....

Aos professores Sérgio Nascimento e Maria das Graças Korn, e em especial Paulo Mafalda pelas contribuições..

À professora Magda Berreta e todo o pessoal do LABDEA, na Escola Politécnica, pela força em algumas análises.

À química Margareth, ao estudante de graduação Felipe e a doutoranda Carolina Stolfi da UNICAMP, pela disponibilidade de informações para desenvolvimento de metodologia...

Ao CNPq pelo financiamento do projeto que viabilizou a presente pesquisa.

Muito obrigado a todos vocês!

“Eu andarei vestido e armado com as armas de São Jorge para que meus inimigos, tendo pés não me alcancem, tendo mãos não me peguem, tendo olhos não me vejam, e nem em pensamentos eles possam me fazer mal. Armas de fogo o meu corpo não alcançarão, facas e lanças se quebrem sem o meu corpo tocar, cordas e correntes se arrebentem sem o meu corpo amarrar. Jesus Cristo, me proteja e me defenda com o poder de sua santa e divina graça, Virgem de Nazaré, me cubra com o seu manto sagrado e divino, protegendo-me em todas as minhas dores e aflições, e Deus, com sua divina misericórdia e grande poder, seja meu defensor contra as maldades e perseguições dos meu inimigos. Glorioso São Jorge, em nome de Deus, estenda-me o seu escudo e as suas poderosas armas, defendendo-me com a sua força e com a sua grandeza, e que debaixo das patas de seu fiel ginete meus inimigos fiquem humildes e submissos a vós. Assim seja com o poder de Deus, de Jesus e da falange do Divino Espírito Santo”.

(Oração de São Jorge)

RAMOS JUNIOR, Antonio Bomfim da Silva. **Hidroquímica do rio São Paulo, recôncavo baiano**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 2012.

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido em três campanhas amostrais no rio São Paulo, município de Candeias, recôncavo baiano, situado na porção Norte da Baía de Todos os Santos. As duas primeiras campanhas (período seco e período chuvoso) amostradas em trinta pontos ao longo do rio, objetivou caracterizar a variabilidade espaço temporal de parâmetros físico-químicos e metais pesados, já a terceira campanha (período intermediário) amostrada em dez pontos ao longo do rio, teve por finalidade determinar o índice de qualidade das águas. Os resultados comprovaram a existência de diferenças sazonais significativas nos parâmetros físico-químicos e metais determinados, sendo que o período seco apresentou as maiores médias quando comparado ao período chuvoso. Além do mais, o Alumínio apresentou concentrações acima do padrão CONAMA 357/05. O Índice de Qualidade de Água (IQA) apresentou uma boa adequação para avaliar a qualidade das águas do rio São Paulo-BA e sua aplicação mostrou que as águas enquadraram-se em classes que vão de regular a boa, havendo uma significativa variabilidade espacial. Contudo, o IQA expressa uma condição ambiental momentânea, mas pode ser utilizado para implementação de políticas de gerenciamentos dos Recursos Hídricos. Entretanto, o período seco foi caracterizado pelo predomínio de massa d'água com elevados valores de Al, temperatura, cloreto e oxigênio dissolvido. Já o período chuvoso caracterizado por maiores potenciais de oxi-redução e turbidez, estabelecendo correlação negativa com a temperatura, sólidos totais dissolvido, e pH. Enfim, a análise do IQA destacou os coliformes termotolerantes, o Oxigênio Dissolvido Saturado e a Turbidez, como os mais representativos na classificação dos Índices de Qualidades das Águas, evidenciando uma tendência de melhora de qualidade a medida que se aproxima a desembocadura do rio.

Palavras-chaves: Parâmetros físico-químicos, metais pesados, sazonal, ecossistema, Índice de Qualidade de Água, Rio São Paulo, Hidroquímica.

RAMOS JUNIOR, Antonio Bomfim da Silva. **Hidroquímica do rio São Paulo, recôncavo baiano**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 2012.

ABSTRACT

This study was conducted at three field campaigns in the São Paulo municipality of Candeias, Bahia hollow, located in northern portion of the Bay of All Saints. The first two campaigns (dry and rainy season) in thirty sampled points along the river, aimed at characterizing the spatio temporal physico-chemical parameters and heavy metals, already the third year (interim period) sampled at ten points along the river, aimed at determining the level of water quality. The results confirmed the existence of significant seasonal differences in physico-chemical parameters and certain metals, and the dry period had the highest average when compared to the rainy season. Furthermore, the aluminum had concentrations above CONAMA 357/05. The Water Quality Index (IQA) showed a good fit to assess the quality of the waters of São Paulo, Bahia and its application showed that the waters fall into classes ranging from regular to good, there is a significant spatial variability. However, the IQA expressed a momentary environmental condition, but can be used to implement policies managements of Water Resources. However, the dry period was characterized by the predominance of water mass with high values of Al, temperature, chloride and dissolved oxygen. Since the rainy season characterized by higher oxidation-reduction potential and turbidity, establishing a negative correlation with temperature, total dissolved solids, and pH. Finally, the analysis highlighted the IQA fecal coliform, saturated dissolved oxygen and Turbidity, as the most representative indices in classification of qualities of the waters, showing a trend of improvement of quality as it approaches the mouth of the river.

Keywords: Physico-chemical parameters, heavy metals, seasonal, ecosystem, Water quality index (IQA), River São Paulo, Hydrochemical.

LISTA DE SIGLAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
BTS	Baía de Todos os Santos
COL	Coliformes
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
FOS	Fósforo
GPS	Global Positioning System
ICP OES	Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado
IQA	Índice de Qualidade das Águas
LDM	Limite de Detecção do Método
LTDA	Limitada
NFS	National Foudation Sanitation
NIT	Nitrato
NTU	Unidade Nefelométrica de Turbidez
OD	Oxigênio Dissolvido
ORP	Potencial de Oxi-Redução
PCA	Análise das Componentes Principais
pH	Potencial Hidrogeniônico
PTS	Pontos
TDS	Sólidos Totais Dissolvido
TEM	Temperatura
TUR	Turbidez
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UTM	Unidade Transversa de Mercator
VAR	Variáveis

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E METAIS PESADOS NO RIO SÃO PAULO, MUNICÍPIO DE CANDEIAS, BAHIA.	14
3. ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO SÃO PAULO, CANDEIAS, BAHIA, BRASIL.....	38
4. CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS	58
APÊNDICES.....	63
ANEXOS.....	69

1. INTRODUÇÃO

As reservas hídricas do planeta Terra são estimadas em 1.400 milhões de km³, desse total apenas 2,7% são de água doce constituindo rios, lagos e água subterrâneas, praticamente 1% de neve e geleiras permanentes e apenas 0,0005% de vapor d'água na atmosfera. Excluindo-se a água contida nas calotas polares e nos aquíferos, a humanidade conta com um pouco mais de 2.000km³ das águas dos rios para suprir suas demandas. No Brasil 3,3% dos recursos hídricos se encontram no nordeste (LEMES, 2001; REBOUÇAS et al., 2002).

Para Tundisi (2003) a água é o componente mais importante para a sobrevivência da vida no planeta. É o bem natural mais valioso de qualquer nação. A água cobre cerca de 70% da superfície da terra e as propriedades desse líquido e de seu vapor controlam as condições climáticas, tornando possível a vida na terra. A vida, todas as atividades do homem, a sua saúde e bem estar, como também o desenvolvimento e o progresso das regiões dependem dos recursos hídricos.

Assim, o desenvolvimento mundial, com ampliação acentuada das atividades econômicas, tem levado a água a um cenário de escassez, decorrente do consumo crescente, dos múltiplos usos, da poluição e, evidentemente, do desperdício. Tudo isso leva a imaginar a água como um recurso finito e estratégico, e o seu uso inteligente é mais que necessário. A água tem sido tratada, erroneamente, como um recurso ilimitado, que é fornecido o mais barato possível e em qualquer quantidade é preciso tratar a água como um bem valioso e evitar o gasto desnecessário (FONSECA, 1999).

Nas últimas décadas, de modo cada vez mais crescente, a humanidade tem despertado para a evidência de que a natureza impõe limites a sua exploração e transformação econômica, bem como à utilização dos recursos naturais. A questão ambiental tem tido um destaque cada vez maior nas discussões sobre alternativas de desenvolvimento. A ciência e os mais avançados recursos científicos de medição e descoberta da natureza evidenciam o acelerado processo de degradação da qualidade do meio ambiente, antecipando riscos potenciais a médio e longo prazo e

demonstrando o nível de degradação já alcançado na economia industrial e, principalmente, nos centros populacionais mais importantes (KENNISH, 2002).

A Baía de Todos os Santos é uma região que abriga diversos tipos de ecossistemas, mas com inúmeras atividades industriais no entorno, como a indústria têxtil, atividades petrolíferas e petroquímicas. Essas atividades agregam valores econômicos para a sociedade, mas em contrapartida contribui para a deterioração do meio ambiente (QUEIROZ ; CELINO, 2008). Essa degradação pode, no futuro próximo, vir a causar prejuízos diretos para a biota dessa região e de regiões próximas, atingindo direta ou indiretamente os seres humanos.

Miranda et al. (2002) argumentam que somente nos últimos cinquenta anos o estudo do ambiente estuarino, o qual comporta ecossistemas muito vulneráveis à influência antrópica, passou a ser pesquisado mais intensamente. O conhecimento científico produzido com a finalidade de compreender como esses complexos sistemas funcionam, é de fundamental importância para o manejo dos ecossistemas costeiros, considerando que, a poluição das águas é um dos principais problemas que acometem o estuário, a partir do lançamento de esgotos domésticos e industriais sem tratamento.

Um importante ecossistema que sofre com essas atividades são os manguezais, zonas costeiras que servem de transição entre ambientes terrestres e marinhos, onde haja ao encontro de águas do mar, com vegetação formada por poucas espécies de vegetais, mas caracteriza-se por uma grande produtividade primária devido ao acúmulo de matéria orgânica, fazendo com que seja um respeitável segmento da cadeia alimentar (RODRIGUES ; FARRAPEIRA, 2008). Os manguezais são fontes naturais de recursos, onde as populações ribeirinhas encontram nestes sítios os seus meios de sobrevivência. As atividades antrópicas lançam diversos poluentes industriais nessa região, os quais podemos destacar a presença de metais pesados, elementos de alta densidade com potenciais riscos ao meio ambiente e muitos deles venenosos a espécie humana (PEKEI et al., 2004). As contaminações por metais pesados nesses ambientes são crônicas e persistem por longos períodos (OTERO et al., 2008).

Os reservatórios naturais vêm sendo depositários de uma variedade de subprodutos, provenientes da atividade antrópica. A presença de elementos

potencialmente tóxicos é responsável por efeitos adversos sobre o ambiente, com repercussões na saúde pública e na economia. A introdução de metais nos sistemas aquáticos ocorre naturalmente através de processos geoquímicos, no intemperismo e, a contribuição atribuída à atividade humana é um reflexo de sua ampla utilização pela indústria (YABE et al., 1998).

Segundo REBOUÇAS (1999), o aumento do consumo, níveis de poluição crescentes e falta de gerenciamento dos recursos hídricos contribuem para aumentar a escassez de água em várias partes do mundo. E de acordo com a Comissão Mundial da água para o século XXI, mais de 50 % dos principais rios do mundo estão contaminados, pondo em risco a saúde humana e dos ecossistemas (IPS, 1999).

Uma avaliação do problema de água de uma dada região já não pode restringir-se a um simples balanço entre demandas e potenciais, mas deve abranger suas inter-relações geoambientais e sócio culturais, em especial respeitando as condições de conservação dos recursos naturais em geral, e da água, em particular, de uso e ocupação do território, tanto urbano como rural, tentando alcançar e garantir a qualidade do desenvolvimento sustentado (REBOUÇAS et. al., 2006). O Mesmo autor adverte que, o problema é mais grave nos países em desenvolvimento devido a falta de sistemas adequados de monitoramento e controle, atingindo muitos rios e lagos próximos aos grandes centros urbanos e regiões costeiras. Isso significa que, se no futuro padrões de qualidades mais rígidas não forem adotadas, algumas fontes de água, em uso hoje, não poderão mais ser utilizadas.

O rio São Paulo, localizado no município de Candeias, que integra a região metropolitana de Salvador, no Recôncavo baiano, porção interna superior da Baía de Todos os Santos a exemplo de tantos outros se encontra inserido nesta problemática de degradação ambiental. Apesar de ostentar importância ambiental e social, este rio é submetido a agressões constantes, principalmente, por estar circundada por inúmeras atividades industriais e margeada por diversos municípios e pequenos povoados, que tem provocado diversos impactos ambientais.

Neste contexto, o presente trabalho tem como finalidade a caracterização hidroquímica do rio São Paulo, estabelecer o índice de qualidade das águas, analisado por krigagem ordinária; e determinar a variabilidade espacial e

temporal de parâmetros físico-químicos e das concentrações de metais pesados. Desta forma possibilitará a definição de estratégias de controle da qualidade das águas para a preservação e conservação ambiental, além de possibilitar propor medidas mitigatórias adequadas ao saneamento e a sustentabilidade.

A presente dissertação está dividida em capítulos e estruturada na forma artigos científicos. O primeiro capítulo é a introdução, na qual é realizada uma abordagem a respeito dos temas do trabalho, são apresentadas as justificativas para o desenvolvimento do mesmo, bem como uma discussão sobre introdução de metais nos sistemas aquáticos, processos geoquímicos e a contribuição antrópica para a degradação ambiental.

Os artigos gerados nesta pesquisa foram: **Variabilidade espaço-temporal de parâmetros físico-químicos e metais pesados nas águas do rio São Paulo, município de Candeias, Bahia**, apresentado de acordo as normas de submissão da revista Geociências/UNESP, e **Índice de Qualidade das Águas do rio São Paulo, Candeias, Bahia**, apresentado de acordo as normas de submissão da revista BJUST: Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology (Cartas de submissões em anexo I e II), correspondentes aos capítulos 2 e 3, onde são apresentados as características da região estudadas, os principais impactos causados às águas superficiais, as metodologias utilizadas e os resultados obtidos, assim como as devidas discussões e conclusões.

No capítulo 4, Conclusão, são feitas as considerações finais sobre o trabalho desenvolvido, assim sugestões e perspectivas para trabalhos futuros referente a temática estudada.

Após, seguem as Referências com a lista de toda a base bibliográfica citada na dissertação, os Apêndices onde estão disponíveis os dados que não foram inclusos no corpo da dissertação, e os Anexos com as cartas de submissão dos artigos científicos e as diretrizes editoriais impostas pelas revistas aos autores.

Foram submetidos e apresentados resumos no XII Congresso Brasileiro de Geoquímica/III Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul, Gramado-RS e no XXIV Simpósio de Geologia do Nordeste, Aracajú-SE. (Ver apêndices I e II).

2. VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E METAIS PESADOS NO RIO SÃO PAULO, MUNICÍPIO DE CANDEIAS, BAHIA.

Artigo submetido à revista Geociências/UNESP.

Antonio Bomfim da Silva RAMOS JUNIOR¹
Manoel Jerônimo Moreira CRUZ²

1 – Mestrando em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente (POSPETRO), Instituto de Geociências- Universidade Federal da Bahia (IGEO - UFBA). Rua Barão de Geremoabo S/N, Campus Ondina, CEP 40170-115 – Salvador-Ba- bomfilhojr@yahoo.com.br

2 – Doutor em Geologia. Professor associado III – Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Rua Barão de Geremoabo S/N, Campus Ondina, CEP 40170-115 – Salvador-Ba- jeronimo@ufba.com.br

INTRODUÇÃO
ÁREA DE ESTUDO
MATERIAIS E MÉTODOS
 Amostragem
 Análises químicas
 Integração dos dados
RESULTADOS E DISCUSSÃO
CONCLUSÃO
AGRADECIMENTOS
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Resumo- O presente trabalho demonstra a importância da análise das concentrações de metais pesados e parâmetros físico-químicos nas águas do rio São Paulo, município de Candeias, Bahia, possibilitando o modelamento de estratégias de controle e que podem trazer contribuições para a preservação e conservação desse ecossistema e outros relacionados. A amostragem foi realizada em dois períodos (seco/chuvoso) sendo coletadas amostras em 30 pontos, ao longo do rio São Paulo. Os resultados demonstraram que as variáveis, de modo geral, tiveram diferenças significativas ou extremamente significativas indicando elevada diferença entre o período seco e chuvoso. Além do mais, o Alumínio apresentou altas concentrações, estando acima do CONAMA 357/05. Entretanto, existe de forma bem caracterizada uma variabilidade espacial dos parâmetros físico-químicos e do Al nos pontos amostrados.

Palavras chaves- Parâmetros físico-químicos, metais pesados, sazonal, ecossistema

Abstract- This work demonstrates the importance of analyzing the concentrations of heavy metals and physico-chemical parameters in São Paulo river, Candeias municipality, Bahia, enabling the modeling and control of the strategies that can bring contributions to the preservation and conservation of this and other related ecosystems. The sampling was conducted in two periods (dry / rainy) in which were sampled 30 points along São Paulo river. The results showed that the variables, in general, had significant or extremely significant differences between the dry and rainy periods. Furthermore, the aluminum concentrations were high, above the CONAMA 357/05. However, there is a well characterized form of spatial variability of physico-chemical parameters and Al in the sampled points.

Keywords- Physico-chemical parameters, heavy metals, seasonal, ecosystem

INTRODUÇÃO

A água é o componente mais importante para a sobrevivência da vida no planeta. É o bem natural mais valioso de qualquer nação. A água cobre cerca de 70% da superfície da terra e as propriedades desse líquido e de seu vapor controlam as condições climáticas, tornando possível a vida na terra. A vida, todas as atividades do homem, a sua saúde e bem estar, como também o desenvolvimento e o progresso das regiões dependem dos recursos hídricos (Tundisi, 2003).

Nas últimas décadas, de modo cada vez mais crescente, a humanidade tem despertado para a evidência de que a natureza impõe limites a sua exploração, transformação, bem como à utilização dos recursos naturais. A questão ambiental tem tido um destaque cada vez maior nas discussões sobre alternativas de desenvolvimento. A ciência e os mais avançados recursos científicos de medição e descoberta da natureza evidenciam o acelerado processo de degradação da qualidade do meio ambiente, antecipando riscos potenciais a médio e longo prazo e demonstrando o nível de degradação já alcançado na economia industrial e, principalmente, nos centros populacionais mais importantes (Kennish, 2002).

A qualidade da água é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem. Geralmente a qualidade de uma determinada água é função do uso e

ocupação do solo na bacia hidrográfica, dependente do clima e do solo da região, da vegetação circundante, dos ecossistemas aquáticos dependentes da influência do homem. Portanto sofre variações temporais e espaciais em decorrência de processos internos e externos ao corpo de água (Sperling, 1996; Rodriguez, 2001).

Miranda et al. (2002) argumentam que somente nos últimos cinquenta anos o estudo do ambiente estuarino, o qual comporta ecossistemas muito vulneráveis à influência do homem, passou a ser pesquisado mais intensamente. O conhecimento científico com o objetivo de compreender como esses complexos sistemas funcionam, é de fundamental importância para o manejo dos ecossistemas costeiros, além do que, a poluição hídrica é um dos principais problemas que acometem o estuário, oriundas do lançamento de esgotos domésticos e industriais no seu principal afluente.

A Baía de Todos os Santos (BTS) é uma região que abriga diversos tipos de ecossistemas onde se pode encontrar uma biodiversidade de fauna e flora. Contudo, as inúmeras atividades industriais que acarretam valores econômicos para a sociedade, em contrapartida vem contribuindo para a deterioração do meio ambiente (Queiroz ; Celino, 2008). Essa degradação pode, no futuro próximo, vir a causar prejuízos diretos para a biota dessa região e de regiões próximas, atingindo direta ou indiretamente os seres humanos.

Um importantíssimo ecossistema que sofre com essas atividades são os manguezais, zonas costeiras que servem de transição entre ambientes terrestres e marinhos, onde há o encontro de águas do mar, com vegetação formada por poucas espécies de vegetais, mas caracteriza-se por uma grande produtividade primária devido ao acúmulo de matéria orgânica, fazendo com que seja um respeitável segmento da cadeia alimentar (Rodrigues ; Farrapeira, 2008). Os manguezais são fontes naturais de recursos, onde as populações ribeirinhas encontram nestes sítios os seus meios de sobrevivência. As atividades antrópicas lançam diversos poluentes industriais nessa região, os quais podemos destacar a presença de metais pesados, elementos de alta densidade com potenciais riscos ao meio ambiente e muitos deles nocivos à espécie humana (Pekei et al., 2004). As contaminações por metais pesados nesses ambientes são crônicas e persistem por longos períodos (Otero et al., 2008).

A identificação desses metais e o conhecimento do comportamento e impactos gerados por esses elementos são de extrema importância para preservar e conservar o ecossistema manguezal e suas regiões próximas. Parâmetros como biodisponibilidade, mobilidade, especiação, destino e a determinação de valores orientadores são algumas variáveis que podem ajudar a entender esse ecossistema (Hatje, 2009).

É importante salientar que fatores como pluviosidade, temperatura, regime de marés, por exemplo, exercem um forte controle sobre a distribuição e concentração dos metais no ecossistema. Por isso um estudo sazonal (seco e chuvoso) é importante neste tipo de trabalho (Nizoli ; Luiz-Silva, 2009).

A dinâmica abrange as mudanças das variáveis no tempo e no espaço, enquanto o espaço incorpora também as características do sistema (solo, cobertura vegetal, oceano, etc...) que apresentam poucas variações em curtos espaços de tempo, definindo-se como processos extremamente não lineares. Conseqüentemente, o conhecimento da forma de representação de variáveis e parâmetros em escalas diferentes e de como estabelecer as funções de transferência entre essas escalas surgem como questões importantes (Mendondo et al., 2004).

Vale ressaltar que os processos hidrológicos apresentam também propriedades e características que variam com as escalas espaço-temporais em consequência da grande heterogeneidade observada tanto no sistema quanto nos processos estudados, sendo, portanto, necessário conhecer essas variações temporais e espaciais do regime hidrológico para se obter uma melhor caracterização da área de estudo, possibilitando verificar como o ambiente está se comportando sob a influência de atividades antrópicas e dessa forma propor medidas mitigatórias. Entretanto, o presente trabalho vem demonstrando a importância da análise das concentrações de metais pesados e parâmetros físico-químicos em águas superficiais, possibilitando o modelamento de estratégias de controle e que podem trazer contribuições para a preservação e conservação desse ecossistema e muitos outros relacionados.

ÁREA DE ESTUDO

A Bahia, o maior estado da região nordeste, abrange uma área de 561.026 km², e possui a maior extensão costeira do Brasil, com cerca de 1.200 km de costa atlântica. Nesse estado se encontra o estuário do rio São Paulo, localizado no município de Candeias, que integra a região metropolitana de Salvador, no Recôncavo baiano, porção interna superior da BTS (Fig. 1). O município de Candeias fica a 46,1 km da capital do estado da Bahia, Salvador. Limita-se com São Francisco do Conde a oeste, Simões Filho a sudeste, São Sebastião do Passe ao norte e Salvador ao sul. Além da sede, possui os aglomerados de Passagens dos Teixeiras, Passe e o povoado de Caboto, no litoral (Bahia, 1994).

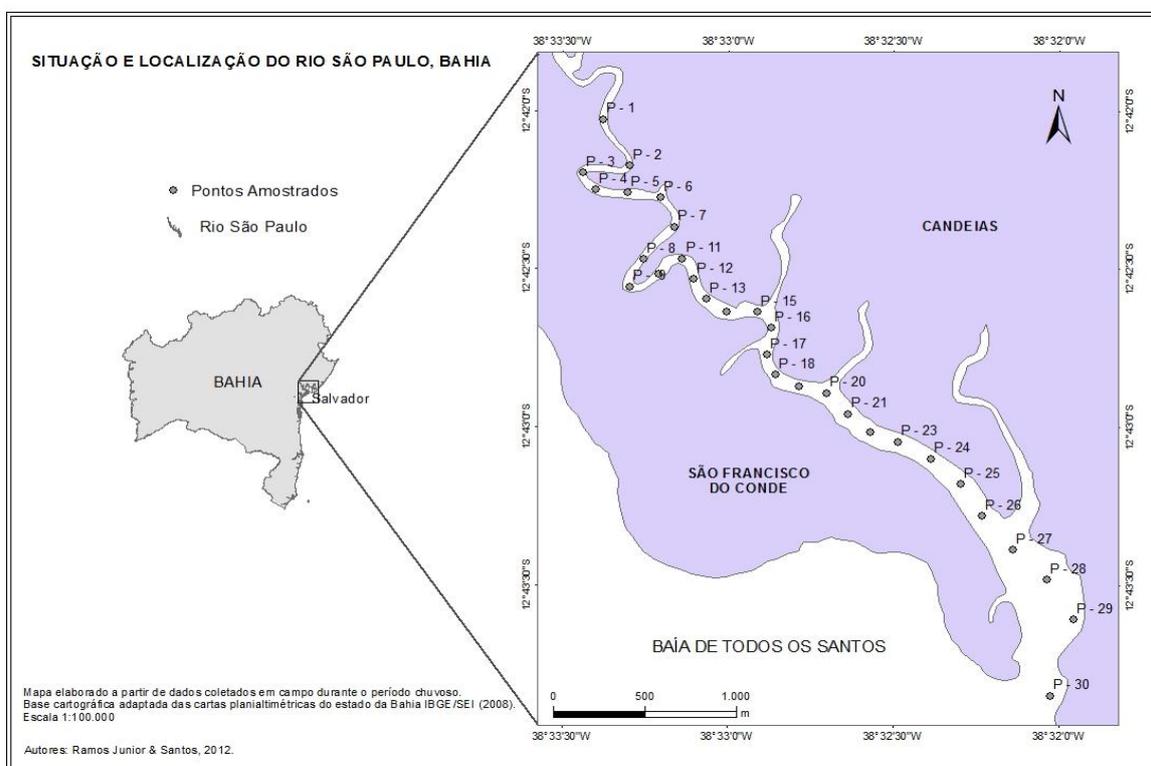


FIGURA 1. Mapa de situação e localização do rio São Paulo, Candeias, Bahia, com os 30 pontos amostrados.

A bacia hidrográfica do rio São Paulo limita-se ao norte (N) com a bacia do rio Joanes, ao Sul (S) com a BTS, ao leste (E) com as bacias dos rios Bonessu, Petecada e Jacarenga, e a oeste (W) com as bacias dos rios Paramirim e Mataripe. Apresenta uma área de drenagem de 37 km², vazão

média de $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, uma extensão total de 17 km, sendo que 9 km do seu curso médio são margeados por manchas de manguezais. Deságua na BTS no sentido norte-sul, abrangendo os municípios de São Francisco e Candeias, os povoados de Querente, Dendê e Caboto. O Rio São Paulo não é tributário de nenhum outro rio, nem possui grande afluente (Bahia, 2000).

A caracterização hidrogeológica para os terrenos em estudo demonstra que dois domínios podem ser individualizados para a referida região: o domínio dos sedimentos recentes, que envolve os aluviões e coluviões, com permeabilidade média elevada, abundante alimentação e espessura de até dez metros; e o macro domínio das rochas sedimentares cretáceas, subdividido em domínio das formações Barreiras, Marizal, São Sebastião e Ilhas, que apresenta uma permeabilidade variável de média a alta, recarga abundante, fluxo rápido e espessura de até 100 m, 300 m e 500 m, respectivamente (Bahia, 1994).

O clima da área em estudo é do tipo úmido, caracterizado pela constante umidade, sem uma estação seca bem definida com a precipitação em torno de 300 mm/mês entre abril a julho. Já entre os meses de janeiro, fevereiro e março as chuvas são menos intensas, com uma precipitação que fica em torno de 125 mm/mês. A temperatura média anual fica em torno de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (Kirimurê, 2011).

Entre as principais atividades econômicas desenvolvidas nesta região podem-se destacar as atividades industriais. São exemplos de complexos industriais a Refinaria Landolfo Alves de Mataripe – Complexo petrolífero, Fábricas de Asfalto, o Pólo petroquímico de Camaçari. Já foram registrados casos de derrames de óleo decorrentes de vazamentos, além de contribuições industriais e efluentes domésticos dos municípios em torno da região (Jesus, 2011).

MATERIAL E MÉTODOS

Amostragem

Foi realizado um planejamento prévio ao processo amostral, com a finalidade de dispor dos materiais a serem utilizados, sendo efetuado em diferentes etapas:

Inicialmente houve a lavagem e a descontaminação das vidrarias e dos frascos de polietileno a serem utilizados, seguindo a orientação do Guia e Preservação de amostras de água (São Paulo, 1988) e do APHA (1995) onde todos os materiais foram deixados no banho com detergente a 5% por 24h, posteriormente enxaguados com água destilada, concluindo assim o processo de limpeza. Para descontaminação, os materiais foram deixados no banho com HCl a 10%, posteriormente enxaguadas 3 vezes com água destilada e 3 vezes com água deionizada, finalizando a descontaminação.

Elaboração de uma ficha de campo contendo: local, coordenadas geográficas (UTM), data, hora e resultados dos parâmetros considerados não conservativos, temperatura (°C), salinidade, potencial hidrogeniônico (pH), potencial de oxi-redução (mV), condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), oxigênio dissolvido (mg/L), turbidez (NTU), oxigênio dissolvido saturado (%), cloreto (mg/L) e sólidos totais dissolvidos (STD).

O equipamento utilizado para determinação dos parâmetros considerados não conservativos (sonda multiparâmetro / Manta 2) foi devidamente verificado e calibrado seguindo as especificações da Eureka Environmental Engineering, 2008.

Para definição e análise do local a ser amostrado, inicialmente foram utilizados fotografias, imagens de satélites, além de mapas topográficos e hidrológicos e levantamento de bibliografias básicas e específicas sobre a região do Rio São Paulo, BA. Além do mais, foram consultados trabalhos de diagnósticos e monitoramento da região com ênfase em qualidade ambiental, em bibliotecas da UFBA e com pesquisadores ligados à área, porém a escolha dos trinta pontos foi realmente definida em campo, levando em consideração as condições de navegabilidade do rio São Paulo e, sobretudo, de áreas que representam as influências urbanas e industriais, permitindo uma melhor avaliação da qualidade ambiental das águas.

O processo de amostragem foi realizado em duas campanhas englobando os meses de janeiro/2011(seco) e maio/2011 (chuvoso), sempre na preamar.

Foram coletados amostras em 30 pontos, ao longo do rio São Paulo (Fig. 1) com análises pontuais dos parâmetros não-conservativos medidos *in situ*, onde em cada ponto foi coletado uma amostra de 500 mL de água tomada por

imersão dos frascos de polietileno devidamente etiquetados à aproximadamente 20 cm da superfície.

Para locomoção de um ponto de amostragem para outro, no interior do rio, foi utilizado um barco motorizado. Além do mais, as coordenadas de cada ponto amostral foram obtidas utilizando um GPS (Global Positioning System) da marca GARMIM, com precisão de 10 m, que também auxiliou na definição dos intervalos entre os pontos.

Todas as amostras coletadas foram devidamente identificadas, acidificadas com 1 mL ácido nítrico (HNO_3), acondicionadas em uma caixa térmica com gelo e conduzidas ao laboratório do Departamento de Geoquímica do Instituto de Geociências da UFBA para a determinação dos seguintes metais pesados: Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Zinco (Zn), Níquel (Ni) e Alumínio (Al).

Análises químicas

No laboratório foram utilizadas as técnicas mais difundidas, cientificamente, para determinação de metais pesados, englobando técnicas para tratamentos preliminares de amostras, conforme descrito em APHA (1995).

Após retirar as amostras do refrigerador, efetuou-se o processo de filtração por bomba a vácuo e em seguida o processo de digestão para liberação dos metais supracitados na forma atômica ou iônica. Para o processo de digestão, uma alíquota de 100 mL da amostra bruta foi transferida para um béquer de teflon de 200 mL e, em capela de exaustão adicionou-se 5 mL de HNO_3 65% P.A. Esta amostra foi submetida a aquecimento inferior a 70°C , em placa de aquecimento, por 3 horas.

Após resfriamento, as amostras foram transferidas para balões volumétricos de 100 mL (descontaminados) e levados a volume com água ultra pura. Estas foram transferidas para frascos de polietileno devidamente etiquetados, e encaminhadas para análise.

Os padrões para obtenção das curvas analíticas foram preparados utilizando água do mar sintética, preparada no próprio laboratório, conforme Tabela 1, de forma a representar a salinidade encontrada nas amostras e

corrigir interferências de matriz na análise por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES). Para o controle de qualidade dos resultados analíticos, um terço das amostras foi duplicado e leituras de brancos e padrões de controle da calibração do instrumento foram realizadas.

TABELA 1. Composição da água do mar sintética, referência ASTM D1141-90

COMPONENTE	CONCENTRAÇÃO (g/L)
NaCl	24,53
MgCl ₂	5,2
Na ₂ SO ₄	4,09
CaCl ₂	1,16
KCl	0,695
NaHCO ₃	0,201
KBr	0,101
H ₃ BO ₃	0,027
SrCl ₂	0,025
NaF	0,003

Segundo Nolte (2003), o ICP OES possui boa sensibilidade, faz medições precisas e exatas, proporcionando baixos limites de detecção (LDs), sendo essas características essenciais para a obtenção de resultados satisfatórios nas determinações analíticas efetuadas.

Integração dos dados

Após a determinação dos metais pesados e obtenção dos dados, os mesmos foram integrados aos parâmetros físico-químicos e comparados com os valores de referência estabelecidos pelos principais órgãos vigentes, e demais trabalhos desenvolvidos na mesma área, resultando em diferentes etapas de desenvolvimento:

- tabulação dos dados em planilhas utilizando-se o software Microsoft Excel, versão 2010;
- enquadramento dos corpos d'água;

- verificação das diferenças significativas entre os períodos estudados (seco/chuvoso), realizando a comparação entre as médias (ou medianas), através do software Graph Pad Instat_[DATASET.1SD] (1998);
- elaboração dos Box-plots no Microsoft Excel, versão 2010, a partir dos dados obtidos no Graph Pad Instat_[DATASET.1SD];
- realização de análise multivariada empregando a Análise de Componentes Principais (PCA), que permite hierarquizar os fatores responsáveis pela variância dos dados e sintetizar as principais tendências através da sua representação gráfica em um número reduzido de planos fatoriais (componentes ou eixos), através do software STATISTICA 7.0; (Statistica, 2004).
- exportação da matriz de dados para o software ArcGIS 9.3, definição dos semivariogramas e confecção dos mapas por Krigagem Ordinária;
- interpretação e descrição dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A salinidade é definida como a quantidade total de sais inorgânicos dissolvidos contidos na água do mar, quando todos os brometos e iodetos são trocados por uma quantidade equivalente de óxidos, e toda matéria orgânica oxidada (Chester,1990 ; Silva, 2004).

Veiga (2003) revela que o aumento da salinidade dos corpos d'água leva a uma competição entre cátions dissolvidos e íons metálicos adsorvidos, e resulta em uma parcial substituição dos íons metálicos. Foi demonstrado que o decréscimo na concentração de íons metálicos, na interface rio-mar, é causado por processos de misturas das partículas do rio poluído com sedimentos marinhos, mais do que pela solubilização ou desabsorção.

A Resolução 375/05 do CONAMA (Brasil, 2005) dispõe sobre as diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de águas superficiais, e classifica as águas do território brasileiro, de acordo com sua salinidade na

qual define que águas com salinidade superior 0,5% e inferior a 30% são classificadas como águas salobras.

Os valores registrados para salinidade variaram de 9,50 a 30,10 % nos dois períodos analisados, classificando as águas do rio São Paulo como salobras e enquadrando-as na classe 2 de acordo com a Resolução citada, possibilitando a comparação e descrição dos demais parâmetros.

O pH é a expressão numérica da acidez ou da alcalinidade relativa de um sistema aquoso, e se refere à atividade dos íons hidrogênio (H⁺) e hidroxila (OH⁻) em escala logarítmica; desse modo, a variação de uma unidade de pH representa um aumento ou diminuição de dez vezes da concentração dos íons hidrogênio (Carvalho,1995).

Os valores de pH da água do rio São Paulo oscilaram de 6,9 a 8,1 entre os dois períodos analisados, estando dentro da faixa referenciada pela Resolução 357/05 do CONAMA (Fig. 2). É possível verificar uma maior alcalinidade a jusante do rio.

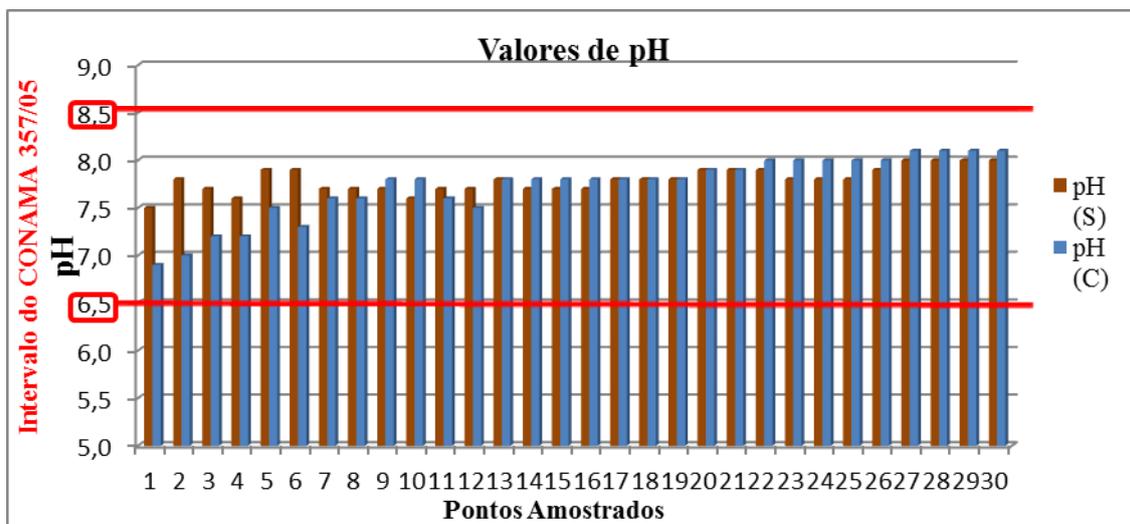


FIGURA 2. Valores de pH nos períodos seco (S) e chuvoso (C), com valor de referência do CONAMA, ao longo dos 30 pontos amostrados.

Segundo Silva (2004), as medições de pH são importantes em estudos ambientais envolvendo as águas naturais. O pH, por exemplo, é importante na geoquímica do sistema CO₂, e atua como indicador dos processos envolvendo a produção e a respiração biológica no equilíbrio ácido-base. As taxas das reações químicas são também dependentes do pH, que é também uma

variável importante para descrever a especiação dos metais em sistemas aquáticos.

As perdas dos níveis naturais de oxigênio dissolvido em um corpo hídrico são atribuídas ao consumo pela decomposição da matéria orgânica (oxidação), perda para atmosfera, respiração dos organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos (Bahia, 2000).

Os valores registrados para oxigênio dissolvido nas águas estudadas nos dois períodos amostrais foram superiores a 4 mg/L O₂, estando todos os pontos amostrais dentro do limite estabelecido pela Resolução 357/05 do CONAMA(Fig. 3).

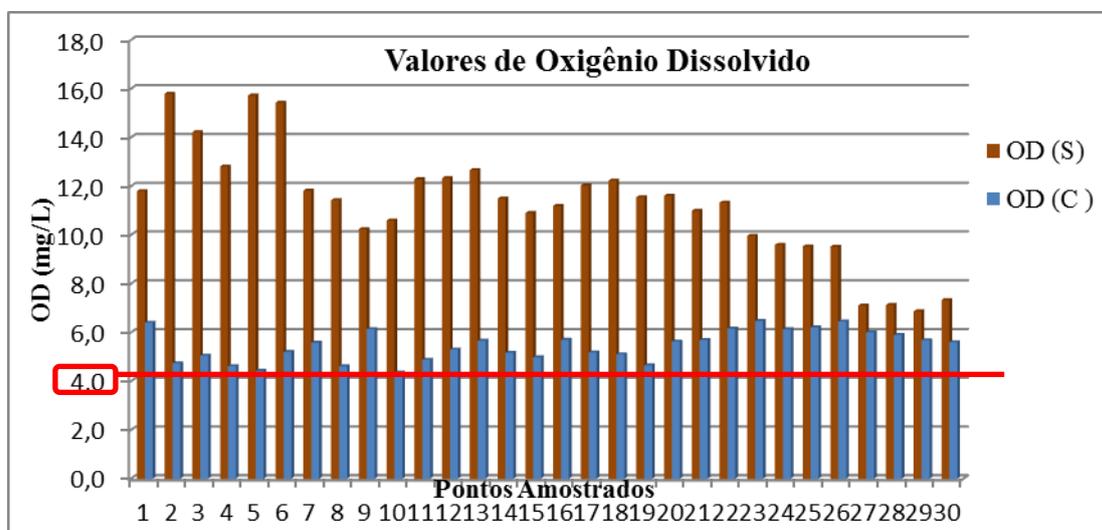


FIGURA 3. Valores de Oxigênio Dissolvido nos períodos (S) e (C), com valor de referência do CONAMA, ao longo dos 30 pontos amostrados.

A análise de teor de oxigênio dissolvido pode fornecer informações a respeito da forma de degradação da matéria orgânica presente na água, determinando se o processo é aeróbico ou anaeróbico. Isto é de grande importância, uma vez que os produtos obtidos por degradação aeróbica são inócuos, enquanto que a degradação por processo anaeróbico, além de ser mais lenta, gera compostos mais nocivos, como gás sulfídrico e metano (Oliveira, 2000).

A Resolução 357/05 do CONAMA (Brasil, 2005) não estabelece limite para os demais parâmetros amostrados em águas superficiais salobras, classe 2.

As temperaturas registradas entre os pontos amostrais no período seco e chuvoso com máxima de 29, 97°C, nas águas no rio São Paulo se assemelha com valores obtidos por Bahia (2002), Carvalho (2007) e Milazzo (2011) ao estudarem a mesma área.

A temperatura influencia os processos biológicos, reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água e também outros processos, como solubilidade dos gases dissolvidos. A solubilidade dos gases decresce e a dos sais cresce com o aumento da temperatura da água, enquanto a maior parte dos organismos possui faixas determinadas de temperatura adequadas para sua reprodução (Britto, 2003). A temperatura no período seco é superior ao período chuvoso na área estudada.

Turbidez é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar certa quantidade de água, conferindo-lhe uma aparência turva. A turbidez ocorre devido à presença de sólidos em suspensão, que pode ser de origem natural, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) ou antropogênica (despejos domésticos e industriais, microrganismos e erosão) (Sperling, 1996; São Paulo, 2003). O resultado médio de turbidez foi de 7,84 NTU no período seco e 14,29 NTU no período chuvoso (Fig. 4), sendo superior aos resultados obtidos por Bahia (2002) de 6,3 NTU e Carvalho (2007) de 7,6 NTU, ao estudarem a mesma região. Cabe ressaltar que no período chuvoso obteve-se uma maior turbidez por conta do aumento dos índices pluviométricos e por consequência maiores taxas de lixiviação. O resultado acima de 10 NTU pode interferir no processo de fotossíntese, pois dificulta a passagem da luz solar (Batalha ; Parlato, 1977).

O ORP (Potencial de oxi-redução) expressa a capacidade intrínseca de espécies químicas presentes em uma solução de agirem como agentes oxidantes ou redutores de outras espécies químicas (Romanoski ; Benabou, 2003). Os resultados encontrados para ORP nas águas do rio São Paulo, com valor máximo de 98,0 mV entre os dois períodos estudados (Fig. 4), apresentam um decréscimo nesse potencial à medida que tende para a desembocadura do rio, onde aumenta a alcalinidade, demonstrando uma forte interação com o pH. O ORP é um parâmetro muito importante na delimitação das condições de oxi-redução do meio, pois uma boa parte das reações observadas na natureza (25°C e atm de pressão) envolvem processos de

oxidação e redução. Para valores positivos de potencial redox o ambiente é oxidante (Santos Júnior, 2005).

Os cloretos ocorrem em todas as águas naturais e podem ser resultado do contato da água com depósitos minerais e com a água do mar, da poluição por esgotos (domésticos e industriais) ou do retorno de águas utilizadas em irrigação agrícola. Em geral, quantidades razoáveis não são prejudiciais à saúde, mas transmitem à água um sabor salgado, repulsivo (Tucci, 2001). O aumento do teor de cloretos na água indica a presença de esgotos, por causa da excreção do cloreto na urina, ou por despejos industriais, acelerando os processos de corrosão em tubulações de aço e de alumínio, além de alterar o sabor da água (Philippi et al., 2004). Os valores de cloreto encontrados nas águas do rio São Paulo, com concentração média de 14.062,00 mg/L no período seco (Fig. 4), quando confrontados com valores obtidos por Bahia (2002), com média de 15.131,50 mg/L se apresentam bastante próximos. Os maiores valores foram encontrados próximos à zona estuarina. Já no período chuvoso, os valores foram extremamente inferiores, podendo ser atribuídos às taxas de diluição ocasionadas pelos elevados índices pluviométricos.

Os valores encontrados para TDS nos pontos amostrais ao longo do rio São Paulo, com máximas de 20,80 mg/L no período seco e 29,10 mg/L no período chuvoso (Fig. 4), permitem inferir a condutividade já que ambos estão relacionados. A condutividade depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água, e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade da água aumenta. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (São Paulo, 2003).

Para as variáveis pH ($p=0,9233$) e ORP ($p> 0,4505$), os resultados do teste não paramétrico de Mann-Whitney e teste t, respectivamente, indicaram não haver diferença significativa entre os dois períodos analisados. Contudo, para as outras variáveis os resultados foram significativos ou extremamente significativos indicando elevada diferença entre o período seco e chuvoso (Fig. 4).

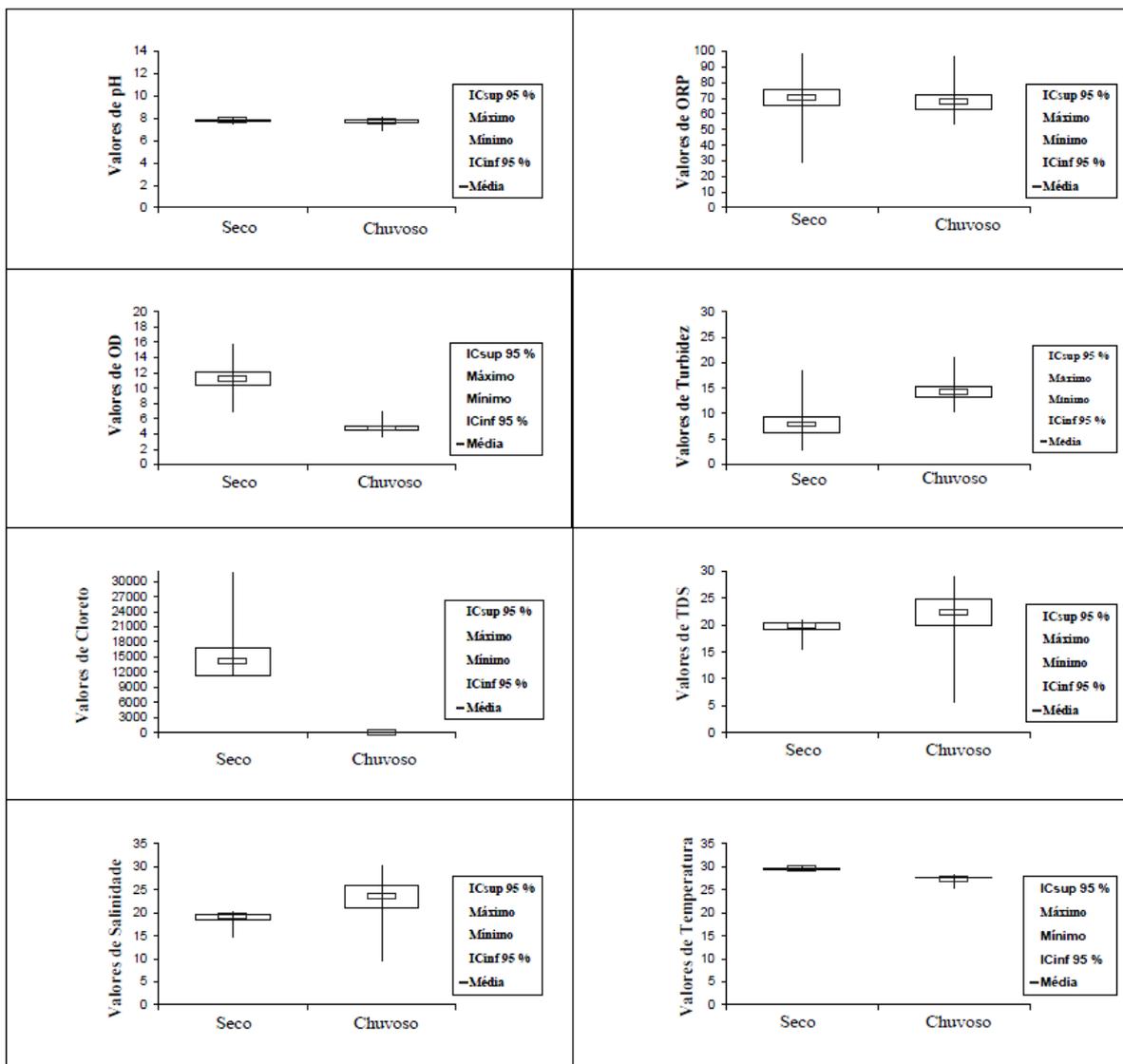


FIGURA 4. Box-plots com valores médios de pH, ORP (mV), OD (mg/L), Turbidez (NTU), Cloreto (mg/L), TDS (mg/L), Salinidade (%) e Temperatura (°C), nos períodos seco e chuvoso.

Em relação aos metais pesados Pb, Cd, Zn, Cr e Ni, todos ficaram abaixo do limite de detecção do método ou foram associados a um erro superior a 20% (Tabela 2), se assemelhando aos resultados referenciados por Bahia (2002) e Carvalho (2007) ao estudarem os mesmos metais nas águas do rio São Paulo, com exceção do Ni.

Já o Al nos dois períodos analisados apresentou altas concentrações com um erro muito baixo, tendo sua concentração máxima de 20,76 mg/L muito acima do permitido (0,1 mg/L) pela Resolução do CONAMA 357, para águas salobras, classe 2. Altas concentrações de Al foram também encontradas por

Milazzo (2011) tanto nas águas quanto sedimentos do rio São Paulo, evidenciando a presença do metal no meio.

TABELA 2. Metais pesados analisados com respectivos limites de detecção do método (LDM).

Metal	Cu	Al	Cr	Zn	Pb	Ni	Cd
LDM	0,1 mg/L	0,1 mg/L	0,05 mg/L	0,01 mg/L	0,02 mg/L	0,01 mg/L	0,01 mg/L

Houve uma diferença extremamente significativa para o Al entre o período seco e o período chuvoso nas águas do rio São Paulo (Figs. 5 e 6) corroborado pelo teste t, ao comparar suas concentrações médias, No período chuvoso existe uma menor concentração do metal pesado, no qual podemos atribuir as altas taxas de lixiviação caracterizadas pelos maiores índices pluviométricos do período.

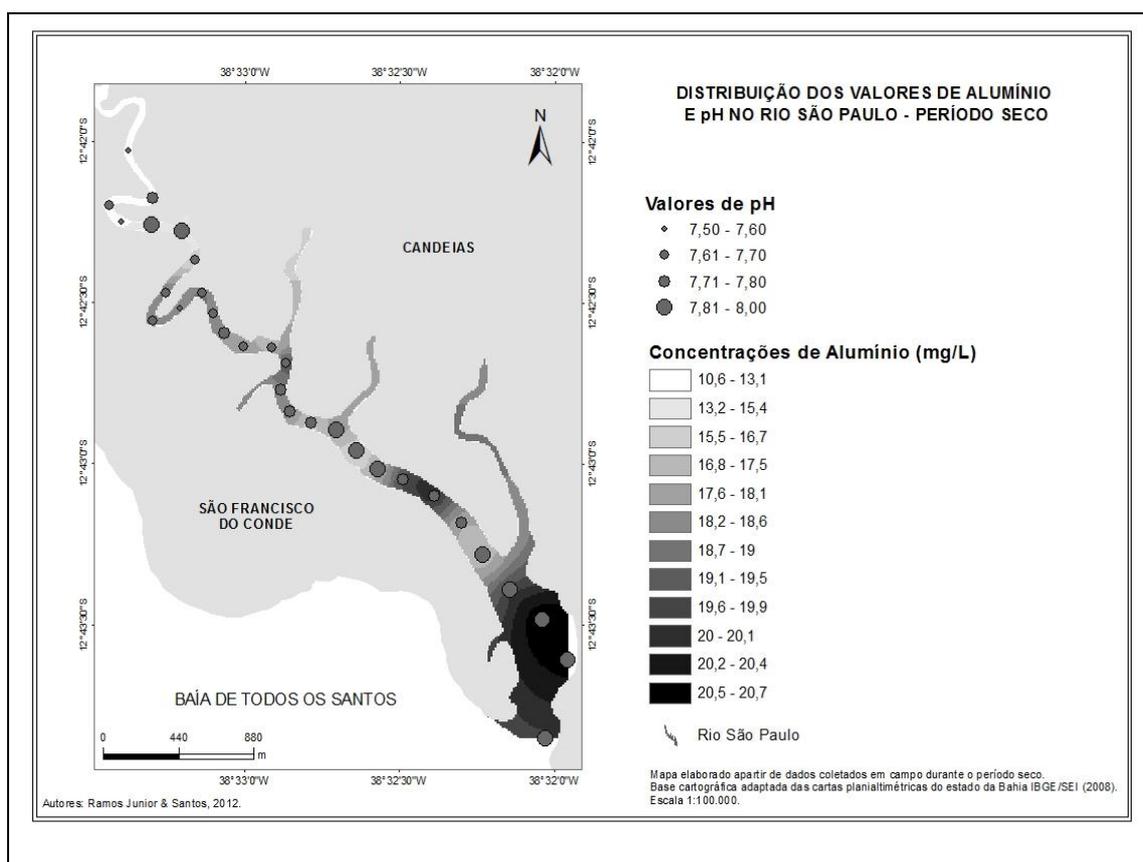


FIGURA 5. Distribuição dos valores de Alumínio e pH no rio São Paulo, no período seco.

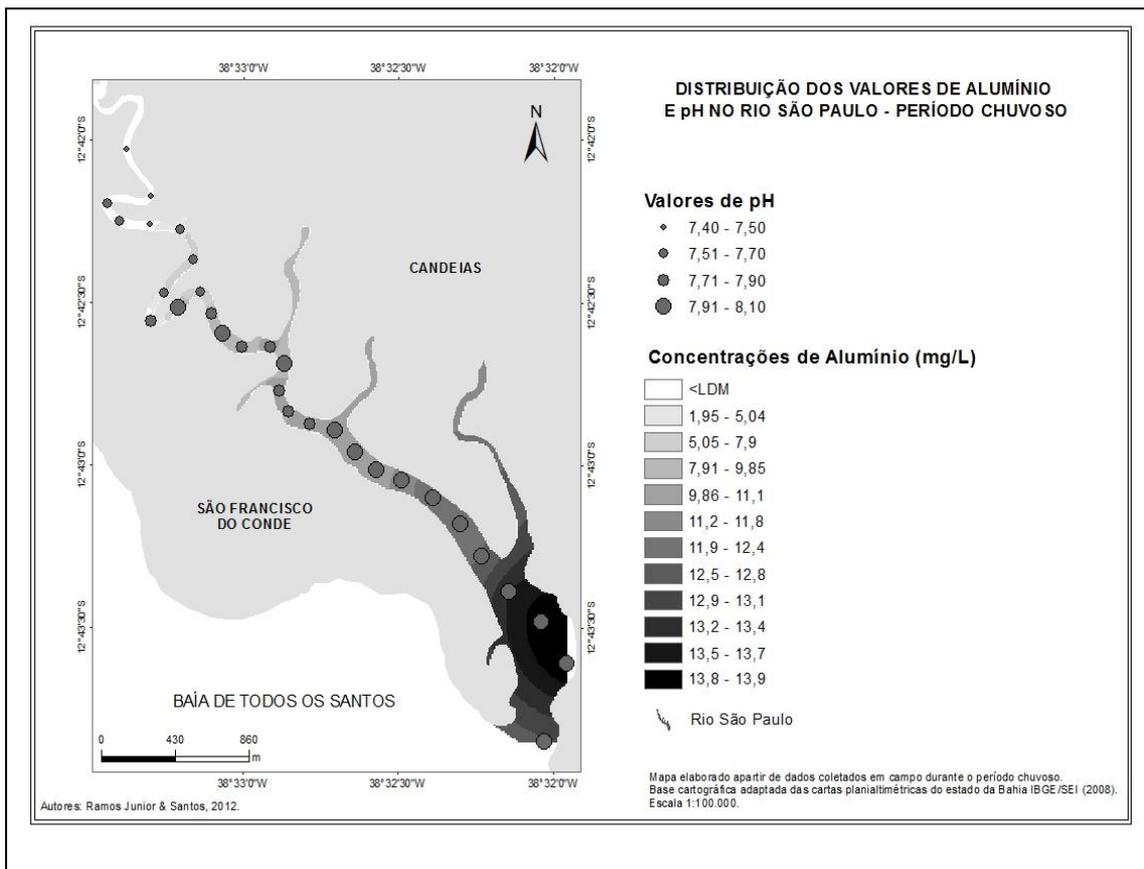


FIGURA 6. Distribuição dos valores de Alumínio e pH no rio São Paulo, no período chuvoso.

A utilização da geoestatística (Figs. 5 e 6) permitiu verificar a tendência da distribuição espacial do Al nos períodos analisados, demonstrando um aumento das concentrações tendendo à desembocadura onde o meio se torna mais alcalino. Entretanto, os valores de pH não explicam o aumento das concentrações de Al, uma vez que a acidez aumenta a solubilidade do metal, possibilitando o aumento de suas concentrações, de acordo com Mendes ; Oliveira (2004).

A presença de elementos potencialmente tóxicos é responsável por efeitos adversos sobre o ambiente, com repercussão na economia e na saúde pública. A introdução de metais nos sistemas aquáticos ocorre naturalmente através de processos geoquímicos devido ao intemperismo e a contribuição atribuída à atividade humana é um reflexo de sua ampla utilização pela indústria (Yabe et al., 1998).

Na região de influência do rio São Paulo, existe uma série de indústrias químicas, petroquímicas, siderúrgicas, onde é possível destacar a empresa Allog Alumínio Ltda, que pode ser citada como uma possível fonte de

contaminação. Porém, infere-se que as altas concentrações encontradas de Al estejam associadas aos argilominerais presentes nos sedimentos que, com a dinâmica do sistema de maré na interface rio-mar revolvem os sedimentos do fundo, disponibilizando-os na coluna d'água e justificando a tendência do aumento das concentrações voltada para a desembocadura do rio, conforme evidenciado por Moreira (2009).

Conforme a análise multivariada, os dois primeiros Componentes Principais explicaram 82,90 % da variância dos dados ambientais. O primeiro Componente Principal explicou 47,61 % da variância total dos dados, enquanto que o segundo Componente explicou 35,29 % da variância total dos dados (Figuras. 7 e 8).

A separação espacial dos pontos amostrados foi consequência da variação temporal imposta pelas condições ambientais. Houve a formação de dois grupos distintos e bem característico, o primeiro englobando todos os pontos amostrados do período seco e o outro englobando todos os pontos do período chuvoso.

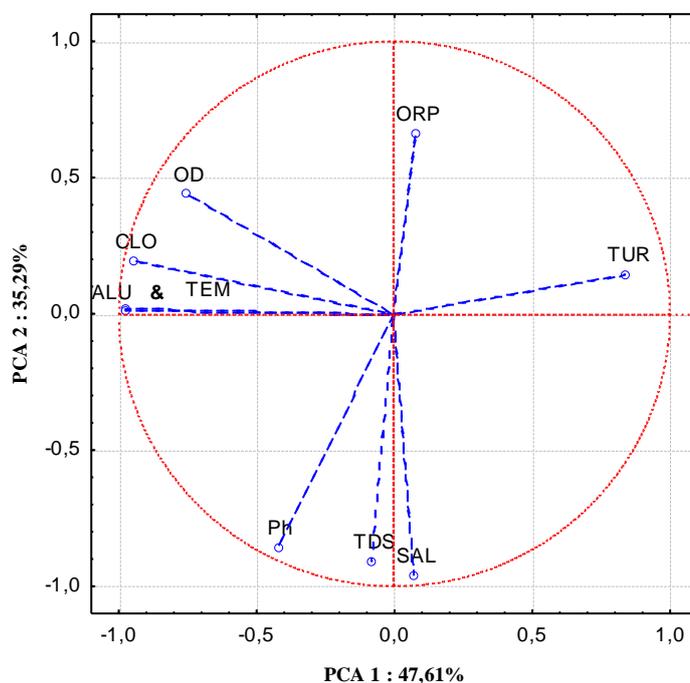


FIGURA 7. Análise dos Componentes Principais dos parâmetros físico-químicos e concentração de Alumínio no rio São Paulo, nos períodos seco e chuvoso.

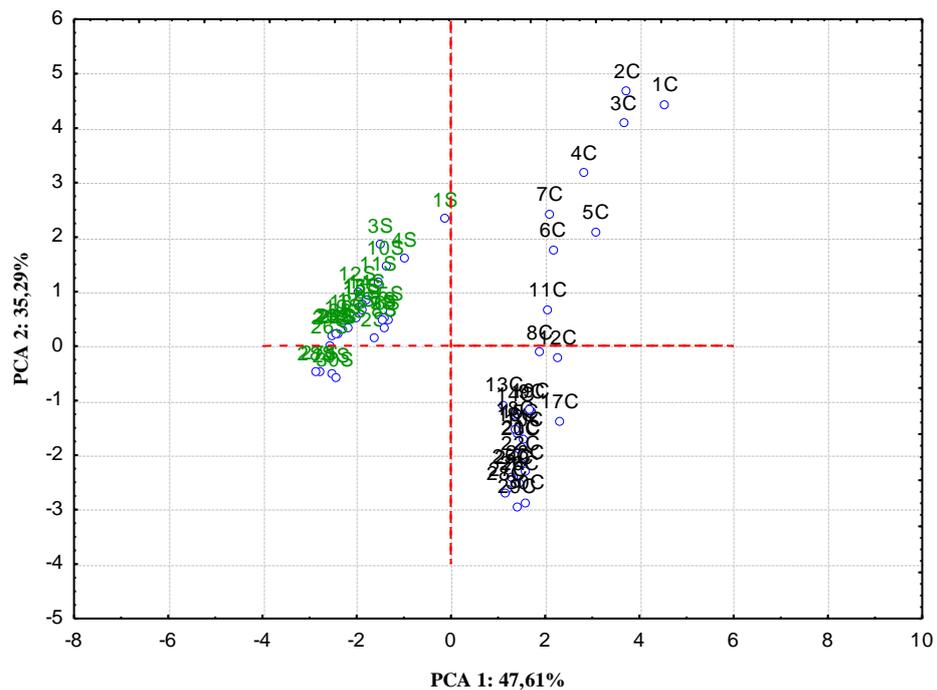


FIGURA 8. Análise das Componentes Principais dos pontos amostrados (casos) no rio São Paulo, nos períodos seco e chuvoso.

O período considerado seco (em vermelho) esteve posicionado no lado esquerdo do diagrama de ordenação, onde foram relacionadas com águas de maior temperatura (TEM), cloreto (CLO), oxigênio dissolvido (OD) e Alumínio (ALU). Já o período chuvoso, situaram-se no lado direito, sob influência de águas de maior potencial de oxi-redução (ORP) nos pontos a montante do rio São Paulo e de modo geral uma forte correlação negativa com pH, sólidos totais dissolvidos (TDS) e salinidade.

CONCLUSÃO

Considerando que a bacia hidrográfica do rio São Paulo é composta por ecossistemas abertos, que relacionam ambientes aquáticos distintos, ocorre trocas de nutrientes, energia e água. Onde tudo que ocorrer a montante do sistema influenciará a região a jusante, sejam atividades antropogênicas ou não.

Pode-se dizer que o ambiente é bastante dinâmico sendo influenciado principalmente pelas variações climáticas, além dos aspectos da geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação.

Dessa forma é possível comprovar a existência de diferenças sazonais significativas nos parâmetros físico-químicos e metais analisados, sendo que o período seco apresentou as maiores médias quando comparado ao período chuvoso.

O pH e o ORP, foram os únicos parâmetros que não tiveram diferenças significativas entre suas médias (ou medianas) entre os períodos analisados.

Existe de forma bem caracterizada uma variabilidade espacial dos parâmetros físico-químicos e do Al pelos pontos amostrados com uma tendência crescente a jusante do rio.

As concentrações de Al ficaram acima do permitido pela Resolução 357/05 do CONAMA, se tornando um risco ambiental. Sua origem está relacionada aos processos geoquímicos ocorridos na interface rio-mar.

Entretanto, o período seco foi caracterizado pelo predomínio de massa d'água com elevados valores de Al, temperatura, cloreto e oxigênio dissolvido. Já o período chuvoso foi caracterizado por maiores potenciais de oxi-redução e turbidez, estabelecendo correlação negativa com a temperatura, sólidos totais dissolvidos, e pH.

Enfim, recomenda-se que outras pesquisas sejam também realizadas de forma sazonal, a fim de auxiliar na adoção de medidas mitigatórias, contribuindo para direcionar o ambiente a uma situação sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA-AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. American Works Association, Water Pollution Control Federation. **Standard Methods for examination water and wastewater**. 19. ed. Washington, 1995.

BAHIA. Centro de estatística e informação. **Informações básicas dos municípios baianos**: Recôncavo Sul Salvador. Salvador, 1994.

BAHIA. Centro de Recursos Ambientais. **Avaliação da qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte**: relatório técnico, avaliação ambiental. Salvador, 2º semestre 2000.

BAHIA. Centro de Recursos Ambientais. **Avaliação da qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte**: relatório técnico, avaliação ambiental. Salvador, 2º semestre 2002.

BATALHA, B. L.; PARLATORE, A.C. **Controle da qualidade da água para consumo humano; bases conceituais e operacionais**. São Paulo, CETESB, 1977.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res05/res35705.pdf>> Acessado em 06/07/2010.

BRITTO, C. R. **Caracterização geoquímica de substrato lamoso em zonas de manguezal da baía de Aratu – Bahia – Brasil: subsídios a um programa de monitoramento, caracterização e gestão ambiental de zonas de manguezal do estado da Bahia**. Salvador, 2003. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) – Instituto de geociências, Universidade Federal da Bahia.

CARVALHO, I. G. **Fundamentos da geoquímica dos processos exógenos**. Salvador: Bureau, 1995.

CARVALHO, L. V. M. **Estudo da qualidade da água superficial em zona estuarina do rio São Paulo- Região de Candeias – BA**. Salvador, 2007. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.

CHESTER, R. **Marine geochemistry**. London: Unwin Hyman, 1990.

ESRI, Arc Gis, versão 9.3, USA, 1999-2006.

EUREKA ENVIROMENTAL ENGINEERING, Manta 2, USA, 2008.

GRAPHPAD INSTAT, versão 3.0, California, 1998.

HATJE, V. Speeding up HCl Extractions by Employing Ultrasound Energy to Evaluate Trace Elements Bioavailability in Sediments. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Vol. 20, No. 5, 846-852, 2009.

IBGE/SEI. **Cartas Plani-Altimétricas do Estado da Bahia**. Escala 1:100.000. 2008.

JESUS, R. S. de. **Metais traço em sedimentos e no molusco bivalve *Anomalocardia brasiliensis* (GMELIN, 1791), municípios de Madre de Deus e de Saubara, Bahia**. 2011. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia.

KENNISH, M. J. **Environmental Threats and Future of Estuaries**. Environmental Conservation. Cambridge University Press, V.29, 2002.

KIRIMURÊ – Instituto Kirimurê. **Baía de Todos os Santos**. Disponível em: <<http://www.btsinstitutokirimure.ufba.br/?p=4>>. Acesso em: 06 Jul. de 2011.

MENDES, B.; OLIVEIRA, J.F.S. **Qualidade da água para consumo humano**. Lidel- edições técnicas, Lda. Lisboa-Porto, 2004.

MENDIONDO, E. M., PERES, R., BENINI, R., OHNUMA, JR. Metodologia de cenários de planejamento para a recuperação ambiental de bacias urbanas. In: **XXI Congr. Latino Americano de Hidráulica**. São Pedro, 2004.

MICROSOFT OFICCE EXCEL, Microsoft Corporation, versão 2010, São Paulo, 2010.

MILAZZO, A. D. C. **Biodisponibilidade e bioconcentração sazonal (seco e chuvoso) de metais no estuário do rio São Paulo, Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil**. 2011. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia.

MIRANDA, L.B. de CASTRO, B. M. de; KJERFVE, B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. SÃO PAULO: EDUSP, 2002.

MOREIRA, D.A.C. **Concentração e transformação de elementos traços nas frações particulada, coloidal e verdadeiramente dissolvida de dois estuários do Rio de Janeiro. Brasil**. Niterói, 2009. Tese (Doutorando em geociências – Geoquímica Ambiental) Universidade Federal Fluminense.

NIZOLI, E. C.; LUIZ-SILVA, W. O papel dos sulfetos volatilizados por acidificação no controle do potencial de biodisponibilidade de metais em sedimentos contaminados de um estuário tropical, no sudeste do Brasil. **Química Nova**, Vol. 32, No. 2, 365-372. 2009.

NOLTE. J.; **Emission Spectrometry, A practical Guide**, Willey- VCH: Weinheim, 2003, 267 p.

OLIVEIRA, O. M. C. de. **Diagnóstico geoambiental em zonas de manguezal da Baía de Camamu – BA**. 2000. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental), Universidade Federal Fluminense Niterói, RJ.

OTERO, O. M. F.; BARBOSA, R. M.; QUEIROZ, A. F. de S.; CASTRO, A. M.; MÂCEDO, B. L. F. **Valores de referência para metais traço nos sedimentos de manguezal da Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos**. Salvador UFBA, 2008. 300p.

PEKEY, H.; KARAKAS, D.; BAKOGLU, M.. Source apportionment of metals trace in surface waters of a polluted stream using multivariate statistical analyses. **Marine Pollution Bulletin**, 49.p. 809-818. 2004.

PHILIPPI, A. JR; ROMERO M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de gestão ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004.

QUEIROZ, A. F DE S.; CELINO, J. J. **Avaliação de ambientes na Baía de Todos Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos**. Salvador UFBA, 2008. 300 p.

RAMOS JUNIOR, A.B.S; SANTOS, R.A. **Mapa de situação e localização do rio São Paulo, Candeias, Bahia, com os 30 pontos amostrados**. Salvador UFBA, 2012.

RODRIGUES, L. L.; FARRAPEIRA, C.M.R. **Percepção e Educação ambiental sobre o ecossistema manguezal incrementando as disciplinas de ciências e biologia em escola pública do Recife-PE**. Investigações em Ensino de Ciências. V13 (1), PP. 79 – 93, 2008.

RODRIGUEZ, M. P. **Avaliação da qualidade da água da bacia do Alto Jacaré – Guaçu/SP (Ribeirão do Feijão e Rio Monjolinho) através de variáveis Físicas, Químicas e Biológicas – SP**. 2001. Tese de doutorado (Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo.

ROMANOSKI, M; BENABOU, J. E. **Química**. São Paulo: Atual, 2003.

SANTOS JÚNIOR, W. S. de. **Estudos geoquímicos em sedimentos de manguezal, como indicadores de impactos ambientais na região petrolífera de São Francisco do Conde – BA**. Salvador, 2005. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.

SÃO PAULO (Estado). Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo, 1988.

SÃO PAULO. **Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo de 2002**. São Paulo: Secretaria de Estado e Meio Ambiente, 2003. 2 v.

SILVA, C. A. R. **Análises físico-químicas de sistemas marginais marinhos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

SPERLING, V, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Vol.: 1 e 2. Belo Horizonte: UFMG, 1996.243p.

STATISTICA, StatSoft, Inc, versão 7.0, USA, 2004.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação, 2º ed**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS : ABRH. 2001.1001p.

TUNDISI, J. G. **Águas século XXI; Enfrentando a escassez**. Editora Rima. Vol. 8. 2003.

VEIGA, G. I., **Avaliação da origem dos hidrocarbonetos em sedimentos superficiais de manguezais da região norte da Baía de Todos os Santos/Bahia**. Macaé, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de

Reservatório e de Exploração), Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense.

YABE, Maria Josefa Santos; OLIVEIRA, Elisabeth de. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 21, n. 5, Oct. 1998.

3. ÍNDICE DE QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO SÃO PAULO, CANDEIAS, BAHIA, BRASIL

Artigo submetido a revista BJUST: Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology. QUALIS CAPES B2.

Antonio Bomfim da Silva RAMOS JUNIOR¹
Manoel Jerônimo Moreira CRUZ²

1 – Mestrando em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente (POSPETRO), Instituto de Geociências- Universidade Federal da Bahia (IGEO - UFBA). Rua Barão de Geremoabo S/N, Campus Ondina, CEP 40170-115 – Salvador-Ba- bomfilhojr@yahoo.com.br

2 – Doutor em Geologia. Professor associado III – Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Rua Barão de Geremoabo S/N, Campus Ondina, CEP 40170-115 – Salvador-Ba- ieronimo@ufba.com.br

ABSTRACT

The environmental impacts caused by effluents in rivers have increased alarmingly, especially in large urban centers, that the disability of the sewage network, and low public awareness regarding the conservation of water bodies. The combined effects of urbanization and other anthropogenic activities associated with rapid population growth in recent decades are easily viewed in ecosystems. The need for greater knowledge and control of temporal and spatial variability of this type of impact, led to the development of water quality index (IQA) that is calculated by weighted multiplicand of the qualities of water corresponding to the variables that comprise the index and reflects the interference from organic substances, nutrients, solids and microbiological quality of drinking water. Since the region of São Paulo river, Bahia is vulnerable to domestic and industrial contamination, this study aims to determine the Water Quality Index, establishing the spatial variability of quality in order to enable better integration and interpretation of data. Data were collected in a period characterized by frequent showers (October/2011) by ten points on the surface and along the Sao Paulo river where they were certain physical, chemical and biological, some measured in situ with the aid of a multiparameter probe and certain others in the laboratory, following the. IQA values determined in ten sample points shows that the waters of São Paulo river are classified as regular and good IQA was suitable for an evaluation hydrochemical, but expressed in a simplified form a momentary condition. However, the AQI can be used for implementation of policies for managing water resources if it is established a monitoring system.

Keywords - Water quality index (IQA), River São Paulo, Hydrochemical.

INTRODUÇÃO

As atividades antrópicas lançam diversos poluentes industriais nessa região, os quais podemos destacar a presença de metais pesados, elementos de alta densidade com potenciais riscos ao meio ambiente e muitos deles venenosos a espécie humana (Pekey et al., 2004).

Os impactos ambientais gerados por efluentes nos cursos d'água têm crescido de maneira alarmante, especialmente em grandes centros urbanos, isso em função da deficiência da rede de esgoto sanitário e, baixa conscientização da população em relação à conservação dos corpos hídricos (Cetesb, 2003).

Os efeitos combinados da urbanização e das demais atividades antropogênicas associadas ao rápido crescimento populacional das últimas décadas são facilmente visualizados nos ecossistemas (Thorne ; Williams 1997; Pompeu et al., 2005). Muitos rios, lagos e reservatórios têm sido prejudicados como consequência do aumento de atividades humanas. Sendo assim, o planejamento e gestão dos recursos hídricos dependem de informações confiáveis, tanto no que diz respeito à demanda como à oferta de água (Braga et al., 1999).

A necessidade de um maior conhecimento e controle da variabilidade temporal e espacial desse tipo de impacto levou ao desenvolvimento de índices de qualidade das águas (IQA). A idéia básica dos índices de qualidade é agrupar uma série de variáveis numa escala comum, combinando-as em um único número (Almeida ; Schwarzbald, 2003) que possa ser empregado pelos órgãos governamentais competentes para gerenciar a qualidade das águas de uma bacia hidrográfica (Simões et al., 2007).

A elaboração de um IQA deve considerar apenas variáveis ambientais críticas que afetam determinado recurso hídrico, em função do tipo de uso e ocupação do solo. O primeiro IQA utilizado foi desenvolvido pela “National Foundation Sanitation (NFS)” dos Estados Unidos e baseia-se na análise de nove parâmetros: coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduo total e oxigênio dissolvido, os quais são indicadores de poluição por efluentes domésticos (Cetesb, 2004).

O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice e reflete a interferência de substâncias orgânicas, nutrientes, sólidos e microbiológicos na qualidade das águas para consumo humano. Vem sendo aplicado em uma escala crescente como ferramenta de avaliação da qualidade das águas (Comitesinos, 1990; Almeida ; Schwarzbald, 2003; Melo Júnior et al., 2003; Andrade et al., 2005).

A região do rio São Paulo é vulnerável às contaminações domésticas e industriais, e diante disso o presente trabalho teve por objetivo determinar o Índice de Qualidade das Águas, estabelecendo a variabilidade espacial da qualidade, a fim de possibilitar uma melhor integração e interpretação dos dados.

ÁREA DE ESTUDO

A Bahia, o maior estado da região nordeste, abrange uma área de 561.026 km², e possui a maior extensão costeira do Brasil, com cerca de 1.200 km de costa atlântica. Nesse estado se encontra o estuário do rio São Paulo, localizado no município de Candeias, que integra a região metropolitana de Salvador, no recôncavo baiano, porção interna superior da Baía de Todos os Santos.

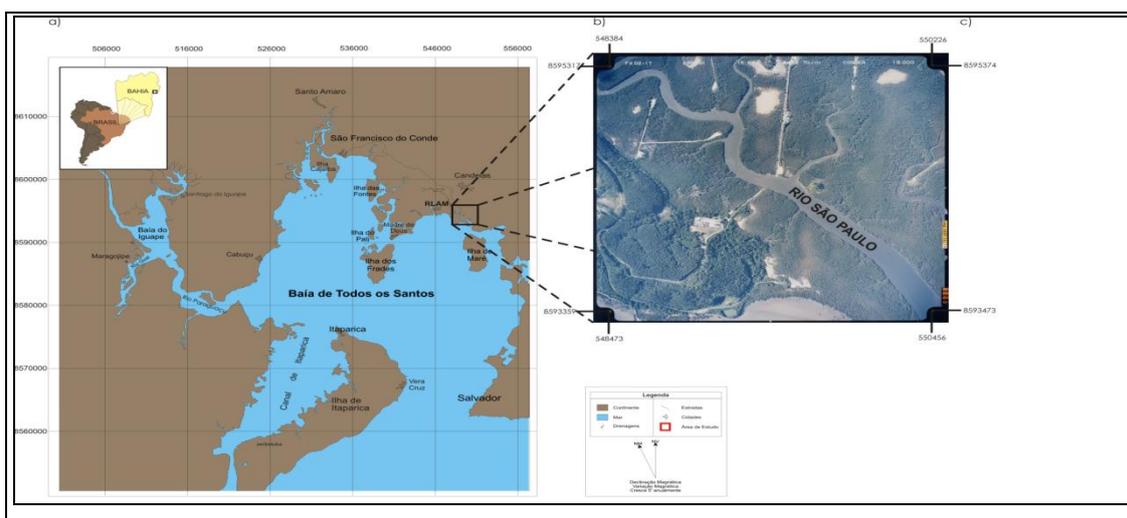


Figura 1- Mapa de situação e localização do rio São Paulo, município de Candeias, Bahia.

O município de Candeias fica a 46,1 km da capital do estado da Bahia, Salvador. Limita-se com São Francisco do Conde a oeste, Simões Filho a sudeste, São Sebastião do Passe ao norte e Salvador ao sul. Além da sede,

possui os aglomerados de Passagens dos Teixeiras, Passe e o povoado de Caboto, no litoral (Bahia, 1994).

A bacia hidrográfica do rio São Paulo limita-se ao norte (N) com a bacia do rio Joanes, ao Sul (S) com a BTS, ao leste (E) com as bacias dos rios Bonessu, Petecada e Jacarenga, e a oeste (W) com as bacias dos rios Paramirim e Mataripe. Apresenta uma área de drenagem de 37 km², vazão média de 0,3 m³. S-1, uma extensão total de 17 km, sendo que 9 km do seu curso médio são margeados por manchas de manguezais. Deságua na BTS no sentido norte-sul, abrangendo os municípios de São Francisco e Candeias, os povoados de Querente, Dendê e Caboto. O Rio São Paulo não é tributário de nenhum outro rio, nem possui grande afluente (Bahia, 2000).

MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente foi feito um levantamento utilizando-se imagens de satélites e mapas topográficos.

A coleta foi realizada em um período caracterizado por chuvas esparsas (outubro/2011) em dez pontos, na superfície e ao longo do Rio São Paulo. Para tal coleta utilizou-se garrafas específicas para cada parâmetro a ser determinado, seguindo o (Apha, 2005).

Baseado nas características hidrográficas e hidrológicas (padrões de drenagem, vazão, fluxo, presença de afluente, etc...) estabeleceu-se os dez pontos de amostragens, sendo o ponto 01 localizado a montante, até onde foi possível navegar, e o ponto 10 localizado já na desembocadura do Rio São Paulo com a Baía do Todos os Santos, totalizando uma extensão de 6km, e mantendo um intervalo de 600m entre os pontos.

Foram determinados os seguintes parâmetros: Temperatura, Oxigênio Dissolvido (OD), Coliformes Termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Fósforo Total (P), Nitrato (NO₃), pH, Sólidos Totais Dissolvido (STD) e Turbidez, alguns mensurados *in situ* com o auxílio de uma sonda multiparâmetro (Horiba) e outros determinados no laboratório, seguindo o (Apha, 2005) (Tabela 01). Além do mais, foram mensurados os valores de

salinidade e as coordenadas geográficas (UTM), a fim de espacializar os dados.

Tabela 1- Parâmetros mensurados nos dez pontos de amostragem ao longo do Rio São Paulo.

Parâmetros	Método	Unidade
Temperatura	<i>in-situ</i>	°C
OD	<i>in-situ</i>	mg/L
Coliformes Termotolerantes	Membrana Filtrante SM 9222D	NMP/100ml
DBO	SM 5210B 21ª ed	mg/L
Fósforo (P)	SM 4500-P D 21ª ed	mg P/L
Nitrato (NO ₃)	SM 4500-NO ₃ E 21ª ed	mg/L N-NO ₃
pH	<i>in-situ</i>	-----
TDS	<i>in-situ</i>	mg/L
Turbidez	<i>in-situ</i>	NTU

Os nove parâmetros obtidos foram necessário para realização dos cálculos de IQA, obtidos através da fórmula;

$$IQA = \prod_{i=0}^9 q_i^{w_i}$$

onde: **IQA**: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e, **wi**: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

em que:

n: número de variáveis que entram no cálculo do IQA. Porém, todos os cálculos foram desenvolvidos através do software IQA\DATA, versão 2010 (UNISC), levando em consideração os pesos e a classificação proposta pela CETESB.

As análises estatística foram realizadas através dos softwares Multi-Variate Statistical PackAge, version 3.2, já as análises geoestatística foram desenvolvidas com a utilização do programa computacional ArcGIS 9.3.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de IQA determinados nos dez pontos amostrados revelam que as águas do Rio São Paulo estão classificadas de regular a boa, seguindo o quadro de classificação (Quadro 1) proposto pela CETESB.

Quadro 1- Classificação do IQA.

Categoria	Ponderação
ÓTIMA	$79 < IQA \leq 100$
BOA	$51 < IQA \leq 79$
REGULAR	$36 < IQA \leq 51$
RUIM	$19 < IQA \leq 36$
PÉSSIMA	$IQA \leq 19$

A determinação dos nove parâmetros foi necessário para a determinação do IQA.

A temperatura influencia os processos biológicos, reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água e também outros processos, como solubilidade dos gases dissolvidos. A solubilidade dos gases decresce e a dos sais cresce com o aumento da temperatura da água, enquanto a maior parte dos organismos possui faixas determinadas de temperatura adequadas para sua reprodução (Britto, 2003).

Os valores de pH das águas do rio São Paulo oscilaram entre 6,96 e 8,12 (tabela 2), estando dentro da faixa referenciada pela Resolução 357/05 do CONAMA para águas salobra, classe 2.

A obtenção de valores elevados de turbidez reflete a ocorrência de matéria orgânica dissolvida e alta concentração de material em suspensão. A Resolução 357/05 do CONAMA (Brasil, 2005) não estabelece limite para a turbidez em águas superficiais salobras, classe 2. Porém, resultado acima de

10 NTU pode interferir no processo de fotossíntese, pois dificulta a passagem da luz solar (Batalha ; Parlato, 1977).

Tabela 2- Valores de Temperatura (°C), pH, Turbidez (NTU), Oxigênio Dissolvido Saturado (%), Sólidos Totais Dissolvido (mg/L), Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L), Nitrato (mg/L), Fósforo (mg/L) Coliformes Termotolerantes (NMP), ao longo dos dez pontos amostrados e seus respectivos valores de IQA.

PTS/VAR	TEM	pH	TUR	OD	TDS	DBO	NIT	FOS	COL	IQA
1	25,60	6,96	115,00	42,60	1,72	6,00	0,54	0,40	5600,00	39,05
2	25,26	7,15	106,00	56,30	0,002	5,85	0,55	0,36	7200,00	41,68
3	25,26	7,15	86,80	42,30	5,60	3,46	0,52	0,28	5200,00	46,75
4	25,34	7,29	159,00	59,50	11,00	4,97	0,30	0,18	1400,00	48,76
5	25,42	7,50	133,00	57,60	15,90	7,76	0,22	0,07	2600,00	46,62
6	26,39	7,55	190,00	80,90	20,40	10,7	0,08	0,02	310,00	54,31
7	26,22	7,56	100,00	72,10	23,10	4,33	0,08	0,00	260,00	60,70
8	26,74	7,99	101,00	118,10	24,20	10,2	0,06	0,00	20,00	62,60
9	27,07	8,12	109,00	117,60	21,00	9,32	0,12	0,00	10900,00	48,2
10	26,63	8,00	55,30	99,20	26,30	4,82	0,04	0,00	1600,00	64,93

Os valores registrados para oxigênio dissolvido nas águas estudadas variaram entre 3,48 mg/L a 8,16 mg/L, estando apenas os pontos amostrais 1,2 e 3 , dentro do limite estabelecido pela Resolução 357/05 do CONAMA, e os demais acima. As perdas dos níveis naturais de oxigênio dissolvido em um corpo hídrico são atribuídas ao consumo pela decomposição da matéria orgânica (oxidação), perda para atmosfera, respiração dos organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos (Bahia, 2000). A saturação do Oxigênio foi calculado a partir do OD através do software IQA\DATA.

Os valores de TDS variaram de 0,002 mg/L a 26,30 mg/L , tendo sua variação de acordo com a salinidade.

O nitrato é a principal forma de nitrogênio encontrada na água, valores superiores a 5 mg/L demonstram condições sanitárias inadequadas, pois a principal fonte do nitrato são os dejetos humanos, os nitratos estimulam o desenvolvimento das plantas e organismos aquáticos (Ogera, 1995).

A Resolução 357/05 do CONAMA, não estabelece limites de DBO para águas salobra, classe 2, porém os menores valores são encontrados nos pontos 3, 4, 7 e 10, não ultrapassando 5 mg/L.

Os valores de nitratos apresentados, se encontram abaixo do valor estabelecido pela Resolução 357/05 do CONAMA de 0,70 mg/L, não afetando as condições sanitárias do rio São Paulo, BA, com relação a esses compostos.

Todos os valores obtidos de Fósforo Total estão abaixo do valor máximo permitido de 0,186 mg/L estabelecido pela Resolução 357/05 do CONAMA, para águas salobra, classe 2.

Apenas os pontos 6, 7 e 8, ficaram abaixo do valor de 2500 NMP por 100 ml de Coliformes Termotolerantes, estabelecido pela Resolução 357/05 do CONAMA, sendo esses pontos os que apresentaram uma melhor qualidade.

Os valores de IQA determinados são caracterizados pela integração dos nove parâmetros, sendo alguns mais representativos que outros e se assemelham com valores encontrados em outros trabalhos ao estudarem áreas similares (Andrade et al., 2005; Konig, 2008; Stolfi ; Figueiredo, 2008; Lopes et al., 2008; Piasentin et al., 2009).

Na figura 2, é possível verificar a representatividade dos parâmetros pelos pontos amostrados, sendo facilmente notável a importância destes na determinação do Índice de Qualidade de Água. No qual podemos destacar como os mais representativos: Coliformes Termotolerantes, Turbidez e Oxigênio Dissolvido Saturado.

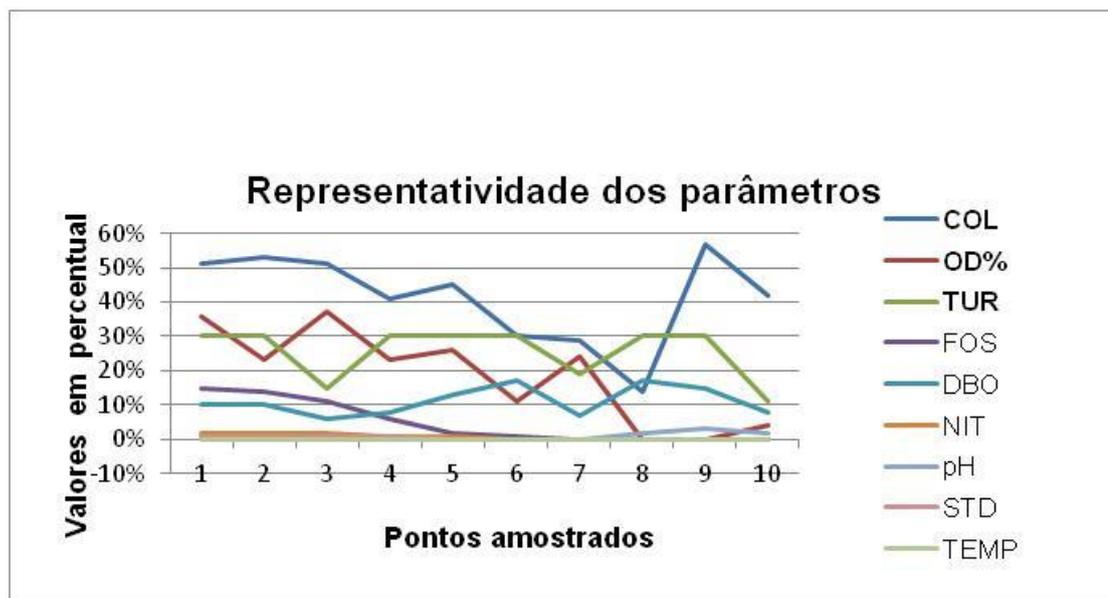


Figura 2- Gráfico de representatividade dos parâmetros pelos pontos amostrados.

A análise Cluster (análise de agrupamento) realizada pelo método de Ward classifica os parâmetros e os pontos de acordo com característica peculiares entre si. Podendo desta forma, verificar se os parâmetros destacados como mais representativos (Figura 3), são os que realmente influenciam na determinação do IQA.

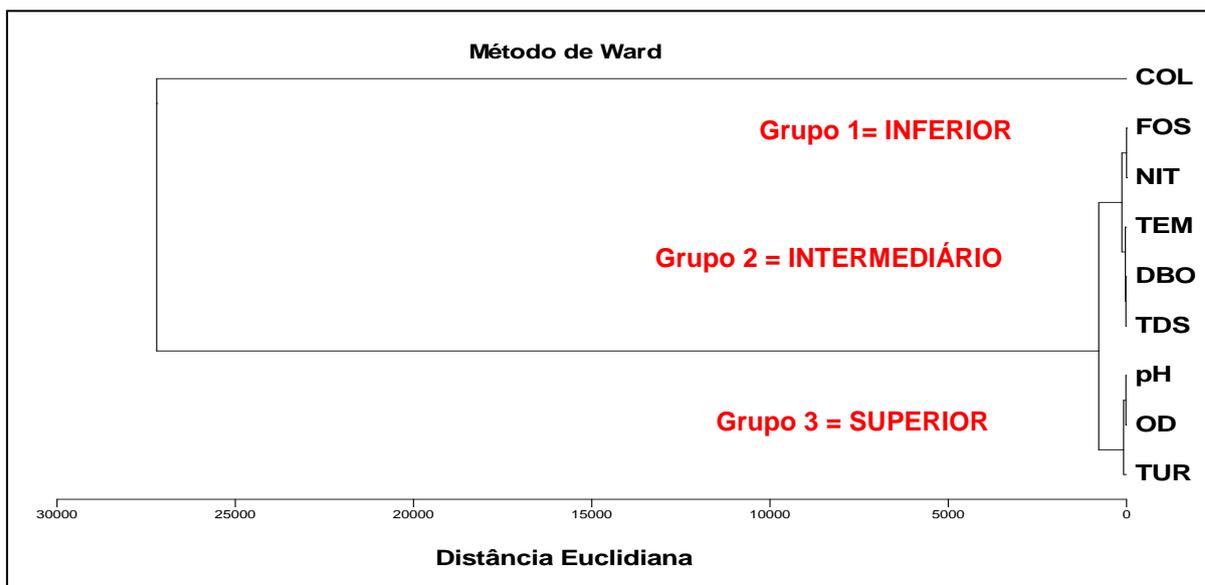


Figura 3- Dendrograma dos parâmetros pelo método de Ward.

O dendrograma dos parâmetros pelo método Ward descreve três grupos diferentes: O grupo 1 caracterizado por inferior é representado pelos Coliformes Termotolerantes (COL), parâmetro considerado o mais representativo, agindo como principal agente na classificação do IQA, sendo possível notar que os pontos que possuem o maior número de COL, são os que apresentam menor IQA.

O grupo 2 definido como intermediário é representado por dois subgrupos: o primeiro composto pelo Fósforo (FOS) e Nitrato (NIT) e o segundo por Temperatura (TEM), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Sólidos Totais Dissolvidos (TDS), mesclando o IQA na classificação regular e boa.

Entretanto, o grupo 3 caracterizado por superior é representado pelos parâmetros; Potencial Hidrogeniônico (pH), Oxigênio Dissolvido (OD) e Turbidez (TUR), onde todos os pontos desse grupo apresentam maiores valores de IQA em relação aos outros grupos.

O grupo composto pelos pontos 9, 2, 3 e 1 (Figura 4) foi caracterizado por qualidade inferior aos outros grupos.

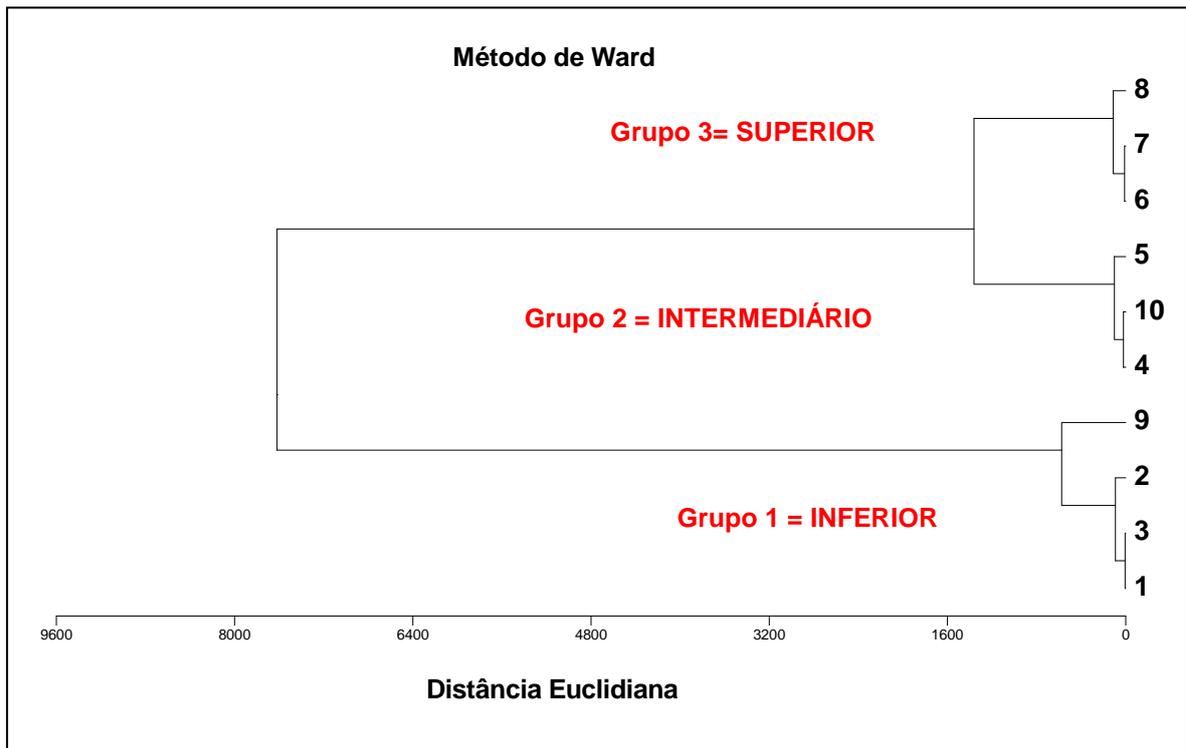


Figura 4- Dendrograma dos pontos amostrados pelo método de Ward.

O dendrograma dos pontos amostrados pelo método de Ward descreve três distintos grupos: O grupo 1 caracterizado como inferior é composto pelos pontos 9, 2, 3 e 1, sendo todos os pontos classificados com valores de IQA regular. Porém o ponto 9 apresenta características peculiares aos demais pontos, influenciando os demais grupos.

O grupo 2 caracterizado por intermediário, composto pelos pontos 5 e 4 tiveram valores de IQA classificados na faixa considerada regular e o ponto 10 enquadrado na classificação boa.

Já o grupo 3 caracterizado como superior engloba os pontos 6, 7 e 8, sendo todos os valores de IQA também enquadrados na categoria boa, entretanto, apresentam valores mais contundente em relação ao grupo 2.

A figura 5 apresenta o mapa de distribuição dos pontos de IQA pela krigagem dos valores de salinidade, onde os pontos expressos em amarelo são de classificação regular e os pontos expressos em verde possuem classificação boa, tendo sua intensidade caracterizada pelo tamanho das bolas. É possível afirmar que a extensão do rio que sofre maior influencia da

salinidade (mais próximo da desembocadura), apresentam boa classificação de IQA, com exceção do ponto 9 que recebe aporte de um pequeno afluente (margado por uma comunidade) contribuindo diretamente para a redução da qualidade do meio.

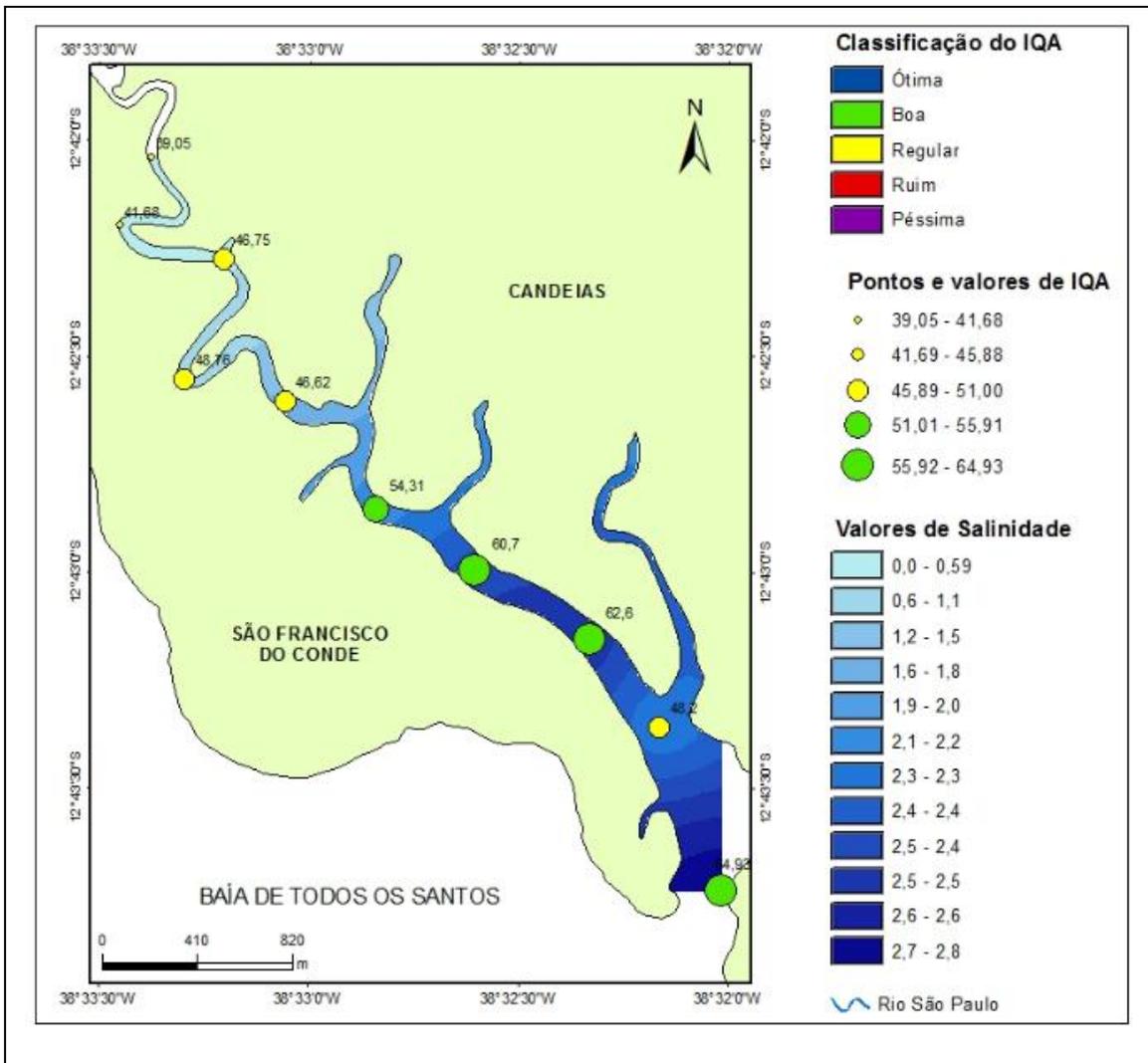


Figura 5 – Mapa de distribuição dos pontos de IQA pela krigagem dos valores de Salinidade

O Oxigênio Dissolvido Saturado (Figura 6) foi o segundo parâmetro mais representativo, corroborado pela análise no software IQA\DATA, e o mapa de distribuição dos pontos de IQA pela krigagem dos valores de OD(%) demonstram que os pontos do rio São Paulo-Ba que apresentam maiores valores de IQA, estão dispostos em uma extensão que sofre maior influência do OD(%) enquadrando na classificação boa. Vale ressaltar que o efluente já

anteriormente elucidado, caracteriza o ponto 9, reduzindo a sua qualidade e enquadrando o seu IQA na classificação regular.

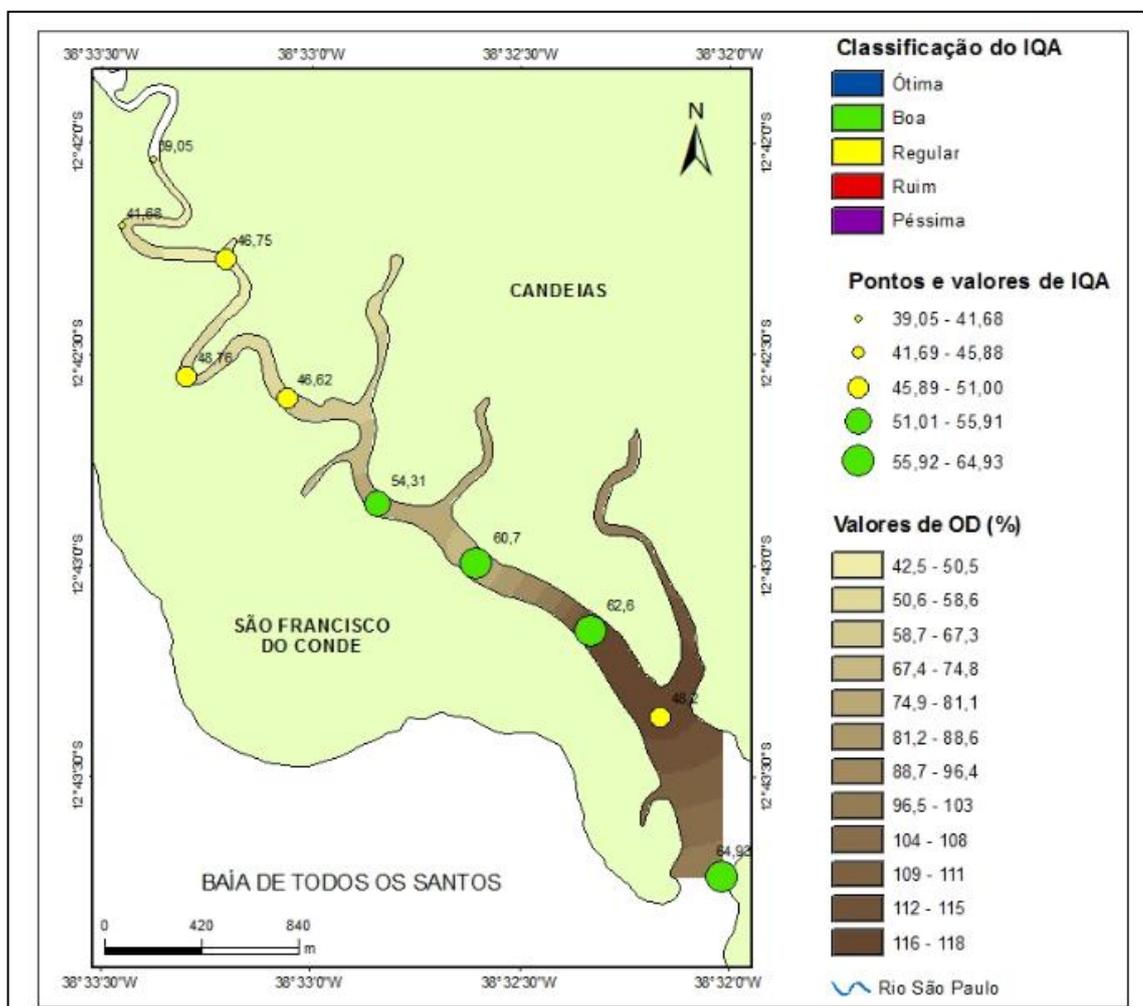


Figura 6 – Mapa de distribuição dos pontos de IQA pela krigagem dos valores de OD (%).

O mapa de distribuição dos pontos de IQA pela Krigagem dos valores de Turbidez (figura 7), no qual podemos descrever que os pontos de IQA regular são os que possuem maiores valores de turbidez e os pontos que apresentam menor turbidez possuem uma melhor qualidade, com exceção do ponto 9, que mesmo próximo a desembocadura do rio onde a turbidez é menor, se enquadra na classificação de IQA regular.

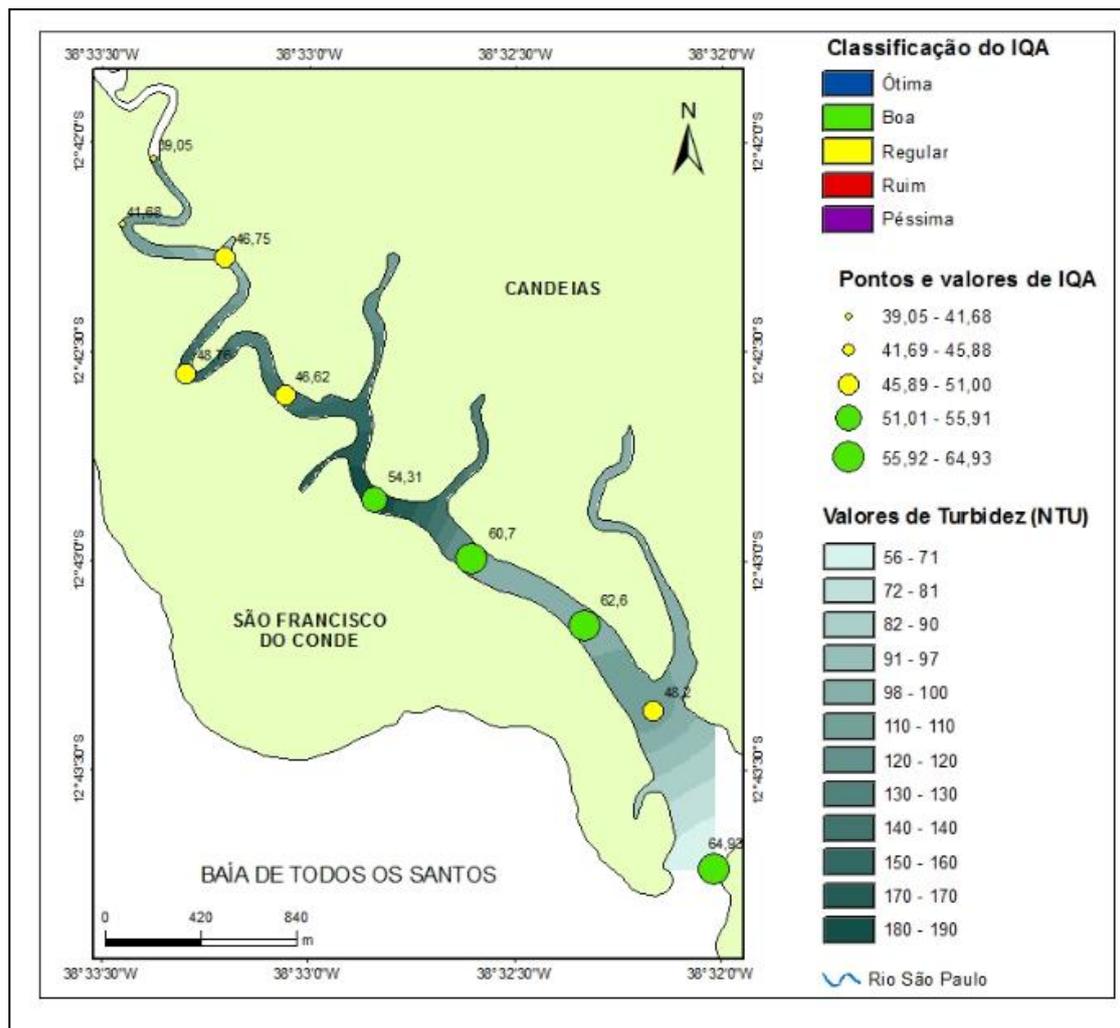


Figura 7 – Mapa de distribuição dos pontos de IQA pela krigagem dos valores de Turbidez

Já os Coliformes Termotolerantes (figura 8) foi considerado o parâmetro mais representativo na determinação dos Índices de Qualidade de Água, caracterizando a distribuição dos pontos de IQA pela krigagem dos valores de coliformes onde a extensão do Rio São Paulo-Ba com maiores concentração dos mesmos são as que apresentam os menores IQAs determinados, dando destaque ao ponto 9 que apresentou o maior valor de Coliformes, reduzindo a sua qualidade. Desta forma, é possível inferir que o efluente por ser margeado por uma comunidade recebe contribuições domésticas e pode estar propiciando a proliferação e o estabelecimento desse número tão expressivo dessa variável biológica.

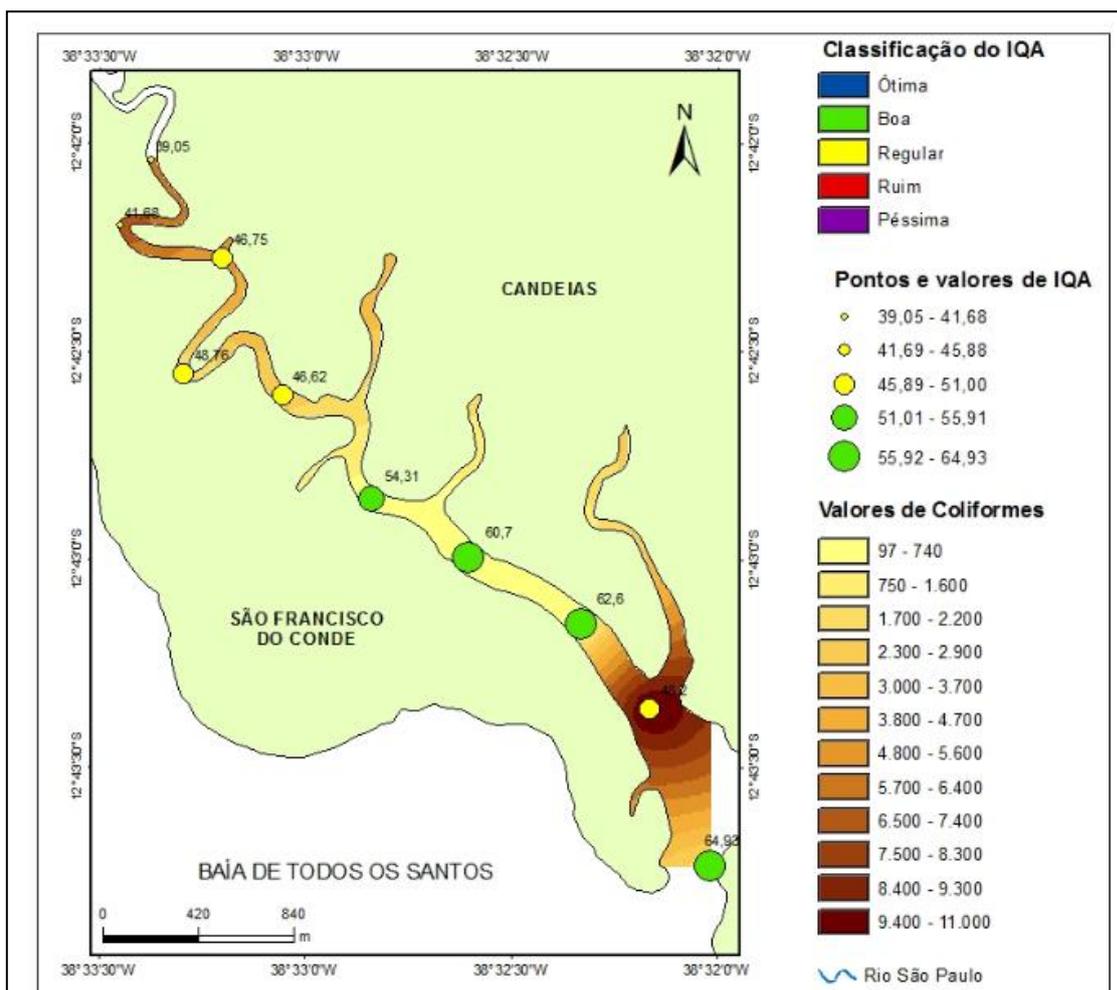


Figura 8 – Mapa de distribuição dos pontos de IQA pela krigagem dos valores de Coliformes.

O Índice de Qualidade de Água (IQA) apresentou uma boa adequação para avaliar a qualidade das águas do rio São Paulo-BA e sua aplicação mostrou que as águas enquadram-se em classes que vão de regular a boa.

Houve uma significativa variabilidade espacial dos valores de IQAs das águas do rio São Paulo.

A análise integrada dos nove parâmetros são necessárias para uma melhor determinação do IQA, possibilitando verificar quais parâmetros são os mais representativos nessa determinação.

Os coliformes termotolerantes apresentaram valores bem acima da legislação do CONAMA 357/05 e foi o parâmetro mais representativo na

classificação dos Índices de Qualidades das Águas, seguido pelo Oxigênio Dissolvido Saturado e Turbidez, respectivamente.

A análise Cluster permitiu a formação de diferentes grupos a através de características peculiares as pontos amostrados ao longo do rio São Paulo-Ba, dando ênfase ao ponto 9 que recebe aporte de uma afluente.

As análises geoestatística através da interpolação por krigagem ordinária possibilita uma melhor visualização da distribuição dos valores de IQA, tornando a interpretação dos dados mais rápido e fácil.

O IQA foi satisfatório para uma avaliação hidroquímica do rio São Paulo-BA, porém expressa de uma forma simplificada uma condição momentânea. Entretanto, O IQA pode ser utilizado para implementação de políticas de gerenciamentos dos Recursos Hídricos se for estabelecido um sistema de monitoramento.

REFERÊNCIAS

- Almeida M. A. B., schwarzbold A. 2003. Avaliação sazonal da qualidade das águas do arroio do Cria Montenegro, RS, com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 8(1):81-97.
- Andrade, E. M. et al. 2005. Índice de qualidade de água: uma proposta para o vale do rio Trussu, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v. 36, n. 02, p.135-142.
- Apha (2005). American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st ed. Washington.
- Bahia. 1994. Centro de estatística e informação. Informações básicas dos municípios baianos: Recôncavo Sul Salvador.
- Bahia. 2000. Centro de Recursos Ambientais. Avaliação da qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte: relatório técnico, avaliação ambiental. Salvador, 2º semestre.
- Batalha, B. L.; Parlatore, A.C. 1977. Controle da qualidade da água para consumo humano; bases conceituais e operacionais. São Paulo, CETESB.
- Braga, B. P. M. ; Tucci, C. E. M. 1999. Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. Pp. 637-652. *In: Rebouças, A. C., Braga, B. ; Tundisi, J. G. (Eds). Águas Doces no Brasil. Escrituras, São Paulo, 717p.*

- Brasil. 2005. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março.
- Britto, C. R. 2003. Caracterização geoquímica de substrato lamoso em zonas de manguezal da baía de Aratu – Bahia – Brasil: subsídios a um programa de monitoramento, caracterização e gestão ambiental de zonas de manguezal do estado da Bahia. 2003. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) – Instituto de geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Cetesb. 2003. Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 2002. São Paulo. p. 274.
- Cetesb. 2004. Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, 2003. São Paulo. p. 273.
- Comitesinos. 1990. Comitê de preservação, gerenciamento e pesquisa da bacia do rio dos sinos. Utilizando de um índice de qualidade da água no rio dos Sinos. PortoAlegre. p. 33.
- Konig, R., Suzin, C.R.H., Restello, R.M., Hepp, L.U. 2008. Qualidade das águas de riachos da região norte do Rio Grande do Sul (Brasil) através de variáveis físicas, químicas e biológicas. Pan-American Journal of Aquatic Sciencs.
- Lopes, F.B., Teixeira, A.S., Andrade, E.M., Aquino, D.N., Araújo, L.F.P. 2008. Mapa de qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. Centro de Ciências Agrárias, UFC, Fortaleza-CE. Revista Ciência Agronômica, v.39, n.3, p. 392-402.
- Melo Junior, G.; Costa, C. E. F. S.; Cabral Neto, I. 2003. Avaliação hidroquímica e da qualidade das águas de um trecho do rio Açu, Rio Grande do Norte. Revista de Geologia, v. 16, n. 02, p. 27-36.
- Ogera, R.C. 1995. Remoção de nitrogênio no esgoto sanitário pelo processo de lodo ativado por batelada. UNICAMP. Campinas. São Paulo.
- Pekey, H.; Karakas, D.; Bakoglu, M. 2004. Source apportionment of metals trace in surface waters of a polluted stream using multivariate statistical analyses. Marine Pollution Bulletin, 49.p. 809-818.
- Piasentin, A.M., Semensatto Junior, D. L., Saad, A.R., Monteiro Junior, A.J., Raczka, M.F. 2009. Índice de qualidade da água (IQA) do reservatório Tanque Grande, Guarulhos (SP): Análise sazonal e efeitos do uso e ocupação do solo. São Paulo, UNESP, Geociências, v.28, n.3, p. 305-317.
- Pompeu, P. S., Alves, C. B. M. ; Callisto, M. 2005. The effects of urbanization on biodiversity and water quality in the Rio das Velhas Basin, Brazil. American Fisheries Society Symposium, 42: 11-22.

- Simões F. S., Yabe M. J. S., Moreira A. B., Bisinoti M. C. 2007. Avaliação do efeito da piscicultura em sistemas aquáticos em Assis e Cândido Mota, São Paulo, por indicador de qualidade da água e análise estatística multivariada. *Quim. Nova*, 30(8): 1835-1841.
- Stolfi, C. M., Figueredo, B. R. 2008. Parâmetros de referência para estudos de qualidade de águas em área de remanescente de Mata Atlântica urbano. Departamento de Geologia e Recursos Naturais, Instituto de Geociências, UNICAMP. Campinas- SP.
- Thorne, R. S. J. ; Williams, W. P. 1997. The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment. *Freshwater Biology*, 37: 671-686.

4. CONCLUSÕES

A avaliação hidroquímica do rio São Paulo, Bahia, permitiu caracterizar a variabilidade espaço-temporal de parâmetros físico-químico e metais pesados, além do índice de qualidade das águas.

Os resultados comprovaram a existência de diferenças sazonais significativas nos parâmetros físico-químicos e metais analisados, sendo que o período seco apresentou as maiores médias quando comparado ao período chuvoso.

Os metais pesados Pb, Cd, Zn, Cr e Ni, ficaram abaixo do limite de detecção do método, já o Al nos dois períodos analisados apresentou altas concentrações, estando acima do permitido pela Resolução do CONAMA 357, para águas salobras classe 2.

Entretanto, o período seco foi caracterizado pelo predomínio de massa d'água com elevados valores de Al, temperatura, cloreto e oxigênio dissolvido. Já o período chuvoso caracterizado por maiores potenciais de oxi-redução e turbidez, estabelecendo correlação negativa com a temperatura, sólidos totais dissolvido, e pH.

O Índice de Qualidade de Água (IQA) apresentou uma boa adequação para avaliar a qualidade das águas do rio São Paulo-BA e sua aplicação mostrou que as águas enquadram-se em classes que vão de regular a boa, havendo uma significativa variabilidade espacial. Contudo, o IQA expressa uma condição ambiental momentânea, mas pode ser utilizado para implementação de políticas de gerenciamentos dos Recursos Hídricos se for estabelecido um sistema de monitoramento.

A análise integrada dos nove parâmetros utilizados determinação do IQA, destacaram os coliformes termotolerantes, o Oxigênio Dissolvido Saturado e a Turbidez, como os mais representativos na classificação dos Índices de Qualidades das Águas, evidenciando uma tendência de melhora de qualidade a medida que se aproxima a desembocadura do rio.

As análises estatísticas confrontadas com as análises geoestatísticas expressaram de forma simplificada as mesmas tendências de distribuição dos valores de parâmetros físico-químicos, metais pesados e IQA, corroborando as

interações geoquímicas existentes e possibilitando uma melhor interpretação dos resultados.

Recomenda-se que outras pesquisas sejam realizadas de forma sazonal, a fim de adotar medidas mitigatórias, através de uma rede de monitoramento em conjunto com outros componentes do desenvolvimento, possibilitando o direcionamento do ambiente a uma situação sustentável.

Enfim, Propõe-se uma modelização hidrogeoquímica da variabilidade espaço-temporal de toda bacia do rio São Paulo, Bahia, por meio da determinação de metais pesados com a adaptação de metodologia de troca iônica, utilizando-se de resina com grupos quelantes para eliminação de interferência da matriz salina.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. Avaliação sazonal da qualidade das águas do arroio do Cria Montenegro, RS, com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA). Porto Alegre. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.1, p. 81-97, 2003.
- ANDRADE, E. M. et al. Índice de qualidade de água: uma proposta para o vale do Rio Trussu, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 2, p.135-142, 2005.
- APHA. American Public Health Association. American Works Association, Water Pollution Control Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 19th ed. Washington, 1995.
- APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 21st ed. Washington, 2005.
- BAHIA. Centro de Estatística e Informação. **Informações básicas dos municípios baianos: Recôncavo Sul Salvador**. Salvador: CEI, 1994.
- BAHIA. Centro de Recursos Ambientais. **Avaliação da qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte**: relatório técnico, avaliação ambiental. Salvador: CRA, 2000.
- BAHIA. Centro de Recursos Ambientais. **Avaliação da qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte**: relatório técnico, avaliação ambiental. Salvador: CRA, 2002.
- BATALHA, B. L.; PARLATORE, A.C. **Controle da qualidade da água para consumo humano; bases conceituais e operacionais**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1977.
- BRAGA, B. P. M.; TUCCL, C. E. M. Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. Pp. 637-652. In: REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B. TUNDISI, J. G. (Eds). **Águas doces no Brasil**. São Paulo: Escrituras Editora, p. 717. 1999.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res05/res35705.pdf>> Acesso em: 06 jul. 2010.
- BRITTO, C. R. **Caracterização geoquímica de substrato lamoso em zonas de manguezal da Baía de Aratu, Bahia/Brasil: subsídios a um programa de monitoramento, caracterização e gestão ambiental de zonas de manguezal do estado da Bahia**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2003.
- CARVALHO, I. G. **Fundamentos da geoquímica dos processos exógenos**. Salvador: Bureau, 1995.

CARVALHO, L. V. M. **Estudo da qualidade da água superficial em zona estuarina do rio São Paulo- Região de Candeias** – BA. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

CHESTER, R. **Marine geochemistry**. London: Unwin Hyman, 1990.

COMITESINOS. Comitê de preservação, gerenciamento e pesquisa da bacia do Rio dos Sinos. **Utilizando de um índice de qualidade da água no rio dos Sinos**. Porto Alegre, 1990. p. 33.

ESRI. Arc Gis, versão 9.3, USA, 2006.

EUREKA ENVIROMENTAL ENGINEERING, Manta 2, USA, 2008.

FONSECA, R. M. R. **A importância do aproveitamento da água resultante da produção do petróleo**. Monografia (Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental). Aracaju. Pró-Reitoria de Pós Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe, 1999.

GRAPHPAD INSTAT, versão 3.0, California, 1998.

HATJE, V. Speeding up HClExtractions by Employing Ultrasound Energy to Evaluate Trace Elements Bioavailability in Sediments. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.20, n.2, p. 846-852, 2009.

IBGE/SEI. **Carta Plani-Altimétrica do Estado da Bahia**. Folha SD.24-X-A-IV. Escala 1:100.000. 2008

IPS. **Most rivers in the world are polluted**. Inter-Press Service wire service.Washington, D.C. 1999.

JESUS, R. S. de. **Metais traço em sedimentos e no molusco bivalve *Anomalocardia brasiliiana* (GMELIN, 1791), municípios de Madre de Deus e de Saubara, Bahia**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia, 2011.

KENNISH, M. J. **Environmental Theats and Future of Estuaries**. Environmental Conservation. **Cambridge University Press**, v.29, 2002.

KIRIMURÊ – Instituto Kirimurê. **Baía de Todos os Santos**. Disponível em: <<http://www.btsinstitutokirimure.ufba.br/?p=4>>. Acesso em: 06 Jul. 2011.

KONIG, R.; SUZIN, C.R.H.; RESTELLO, R.M.; HEPP, L.U. Qualidade das águas de riachos da região norte do Rio Grande do Sul (Brasil) através de variáveis físicas, químicas e biológicas. **Pan-American Journal of Aquatic Sciencs**, v. 3, n.1,p.1-93, 2008.

LEMES, M. J de L. **Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo-SP**. Dissertação. Instituto de Pesquisa Energética e Nucleares, Universidade de São Paulo. 2001.

LOPES, F.B.; TEIXEIRA, A.S.; ANDRADE, E.M.; AQUINO, D.N.; ARAÚJO, L.F.P. Mapa de qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. Fortaleza. Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 3, p. 392-402, 2008.

MELO JUNIOR, G.; COSTA, C. E. F. S.; CABRAL NETO, I. Avaliação hidroquímica e da qualidade das águas de um trecho do rio Açu, Rio Grande do Norte. **Revista de Geologia**, v. 16, n. 02, p. 27-36, 2003.

MENDES, B., OLIVEIRA, J.F.S. **Qualidade da água para consumo humano**. Lisboa-Porto: Lidel- edições técnicas, Ida. 2004.

MENDIONDO, E. M., PERES, R., BENINI, R., OHNUMA, JR. Metodologia de cenários de planejamento para a recuperação ambiental de bacias urbanas. In: XXI Congr. Latino Americano de Hidráulica, 2004, São Pedro, SP, Brasil. **Actas**. Campinas: IAHR, 2004. v. 1. P. 1-14.

MICROSOFT OFICCE EXCEL, Microsoft Corporation, versão 2010, São Paulo, 2010.

MILAZZO, A. D. C. **Biodisponibilidade e bioconcentração sazonal (seco e chuvoso) de metais no estuário do rio São Paulo, Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. 2011.

MIRANDA, L.B. de CASTRO, B. M. de; KJERFVE, B. **Princípios de oceanografia física de estuários**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

MOREIRA, D.A.C. **Concentração e transformação de elementos traços nas frações particulada, coloidal e verdadeiramente dissolvida de dois estuários do Rio de Janeiro**. Brasil. Tese (Doutorando em geociências – Geoquímica Ambiental) Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2009.

NIZOLI, E. C.; LUIZ-SILVA, W. O papel dos sulfetos volatilizados por acidificação no controle do potencial de biodisponibilidade de metais em sedimentos contaminados de um estuário tropical, no sudeste do Brasil. **Química Nova**, v. 32, n.2, p. 365-372. 2009.

NOLTE, J.; **Emission Spectrometry, A practical Guide**, Willey- VCH: Weinheim, 2003, 267 p.

OGERA, R.C. **Remoção de nitrogênio no esgoto sanitário pelo processo de lodo ativado por batelada**. Dissertação . (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) UNICAMP. Campinas, SP, 1995.

OLIVEIRA, O. M. C. de. **Diagnóstico geoambiental em zonas de manguezal da Baía de Camamu – BA**. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental), Universidade Federal Fluminense Niterói, RJ, 2000.

OTERO, O. M. F.; BARBOSA, R. M.; QUEIROZ, A. F. de S.; CASTRO, A. M.; MÂCEDO, B. L. F. **Valores de referência para metais traço nos sedimentos de**

manguezal da Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2008. 300p.

PEKEY, H.; KARAKAS, D.; BAKOGLU, M.. Source apportionment of metals trace in surface waters of a polluted stream using multivariate statistical analyses. **Marine Pollution Bulletin**, v. 49, p. 809-818. 2004.

PHILIPPI, A. JR; ROMERO M. A.; BRUNA, G. C. **Curso de gestão ambiental.** Barueri, SP: Manole, 2004.

PIASENTIN, A.M.; SEMENSATTO Junior, D. L.; SAAD, A.R.; MONTEIRO Junior, A.J.; RACZKA, M.F. Índice de qualidade da água (IQA) do reservatório Tanque Grande, Guarulhos (SP): Análise sazonal e efeitos do uso e ocupação do solo. São Paulo, Universidade Estadual Paulista (UNESP), **Geociências**, v. 28, n. 3, p. 305-317, 2009.

POMPEU, P. S., ALVES, C. B. M. ; CALLISTO, M.. The effects of urbanization on biodiversity and water quality in the Rio das Velhas Basin, Brazil. **American Fisheries Society Symposium**, v. 42, p. 11-22. 2005.

QUEIROZ, A. F DE S.; CELINO, J. J. **Avaliação de ambientes na Baía de Todos Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos.** Salvador, Editora da Universidade Federal da Bahia, 2008. 300 p.

REBOUÇAS, A. C.,REBOUÇAS, A. C.“Água Doce no Mundo e no Brasil”, In: REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B., TUNDISI, J. G., (Org.), **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**, São Paulo, Escrituras Editora. 1999.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G.(Org.). **Águas doces no Brasil.** 2.ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. 703 p.

REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B. P. F.; TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** São Paulo: Escrituras Editora. 2006. 703p.

RODRIGUES, L. L.; FARRAPEIRA, C.M.R. Percepção e Educação ambiental sobre o ecossistema manguezal incrementando as disciplinas de ciências e biologia. Escola Pública do Recife-PE. **Investigação em Ensino de Ciências.** V13 (1), PP. 79 – 93, 2008.

RODRIGUEZ, M. P. **Avaliação da qualidade da água da bacia do Alto Jacaré – Guaçu/SP (Ribeirão do Feijão e Rio Monjolinho) através de variáveis Físicas, Químicas e Biológicas – SP.** Tese (Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo. 2001.

ROMANOSKI, M; BENABOU, J. E. **Química.** São Paulo: Atual, 2003.

SANTOS JÚNIOR, W. S. de. **Estudos geoquímicos em sedimentos de manguezal, como indicadores de impactos ambientais na região petrolífera de São Francisco do Conde – BA.** Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2005.

SÃO PAULO (Estado). Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo:, 1988.

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**, 2002. São Paulo: CETESB, 2003. 274p.

SÃO PAULO. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo**, 2003. São Paulo: CETESB, 2004. 273 p.

SILVA, C. A. R. **Análises físico-químicas de sistemas marginais marinhos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

SIMÕES F. S., YABE M. J. S., MOREIRA A. B., BISINOTI M. C. Avaliação do efeito da piscicultura em sistemas aquáticos em Assis e Cândido Mota, São Paulo, por indicador de qualidade da água e análise estatística multivariada. **Quim. Nova**, 30(8): 1835-1841, 2007.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996.243p.

STATISTICA, StatSoft, Inc, versão 7.0, USA, 2004.

STOLFI, C. M., FIGUEREIDO, B. R. **Parâmetros de referência para estudos de qualidade de águas em área de remanescente de Mata Atlântica urbano**. Dissertação. (Mestrando em Geologia e Recursos Naturais) - Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas- SP, 2008.

THORNE, R. S. J., WILLIAMS, W. P. The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment. **Freshwater Biology**, v. 37, p. 671-686. 1997.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS : ABRH. 2001.1001p.

TUNDISI, J. G. **Águas século XXI; Enfrentando a escassez**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2003. 248p.

VEIGA, G. I., **Avaliação da origem dos hidrocarbonetos em sedimentos superficiais de manguezais da região norte da Baía de Todos os Santos/Bahia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Reservatório e de Exploração), Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense. Macaé, 2003.

YABE, M. J. S.; OLIVEIRA, E. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 21, n. 5, Oct. 1998.

APÊNDICE I



Caracterização hidroquímica das águas do Rio São Paulo, município de Candeias, Bahia.

Antonio Bomfim da Silva RAMOS Junior¹, Manoel Jerônimo Moreira CRUZ², Manuel Vítor P. GONÇALVES³, Rodrigo Alves SANTOS⁴.

1 - Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente (POSPETRO), Universidade Federal da Bahia (UFBA) - bomfilhojr@yahoo.com.br

2 – Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (UFBA) - jeronimo@ufba.com.br

3- Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia (UFBA) – zoovitor81@yahoo.com.br

4 – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal da Bahia (UFBA) – rodrigo.santos@ufba.br

Resumo - As atividades antrópicas lançam diversos poluentes industriais na região de Candeias - Bahia, com potenciais riscos ao meio ambiente e muito deles venenosos a espécie humana. Sendo de fundamental importância mensurar os parâmetros físico-químicos com o objetivo de compreender os problemas que acometem o rio São Paulo. Foram amostrados 30 pontos ao longo do rio, com análises pontuais dos parâmetros, todos medidos *in situ*, utilizando a sonda multiparâmetro/Manta 2. Os parâmetros físico-químicos apresentaram valores acima do estabelecido pela resolução do CONAMA 357/05, além de agrupamentos hierárquicos distintos devido às diferentes correlações existentes. Desta forma, nota-se que as águas do rio São Paulo encontram-se imprópria para o consumo humano e com um grande potencial de risco ambiental.

Palavras chave: água, físico-químicos, hidroquímica, rio São Paulo.

Abstract – The human activities release more pollutants in the industrial region of Candeias - Bahia, with potential risks to the environment and many of them poisonous to humans. Being of fundamental importance to measure the physical and chemical parameters in order to understand the problems affecting the São Paulo river. We sampled 30 points along the river channel, with analysis of specific parameters, all measured in situ using a multiparameter probe / Manta 2. The physical chemical

parameters showed values above the established by CONAMA Resolution 357/05, and hierarchical clustering different due to different correlations. Thus, it is constated that the São Paulo river is unfit for human consumption and with a great potential for environmental risk.

Keywords: water, physical chemistry, hydrochemistry, river São Paulo

1. Introdução

A Baía de Todos os Santos é uma região que abriga diversos tipos de ecossistemas onde pode-se encontrar uma biodiversidade de fauna e flora, mas também com inúmeras atividades industriais que acarretam valores econômicos para a sociedade, em contrapartida vem contribuindo para a deterioração do meio ambiente (QUEIROZ & CELINO, 2008). As atividades antrópicas lançam diversos poluentes industriais nessa região com potenciais riscos ao meio ambiente e muito deles venenosos a espécie humana (PEKEI et al., 2004). Entretanto, é de fundamental importância o conhecimento dos parâmetros físico-químicos com o objetivo de compreender os principais problemas que acometem o Rio São Paulo.

2. Materiais e Métodos

Para definição e análise do local a ser amostrado, foram utilizadas fotografias, imagens de satélites, além de mapas topográficos e hidrológicos e levantamento de bibliografias básicas e específicas sobre a região do Rio São Paulo, BA. Foram amostrados trinta pontos, definidos em campo, levando em consideração as condições de navegabilidade do rio São Paulo e, sobretudo, de áreas que representam as influências urbanas e industriais. Para medir os parâmetros físico-químicos foi utilizado a sonda multiparâmetro (Manta 2) devidamente verificada e calibrada seguindo as especificações da Eureka Environmental Engineering, 2008. Foram medidos os seguintes parâmetros: Temperatura, Oxigênio dissolvido (OD), Oxigênio saturado (%Sat), Condutividade, Salinidade, TDS, Turbidez, pH, ORP, Amônia (NH₃), Nitrato (NO₃) e Cloreto (Cl⁻), todos medidos *in situ*.

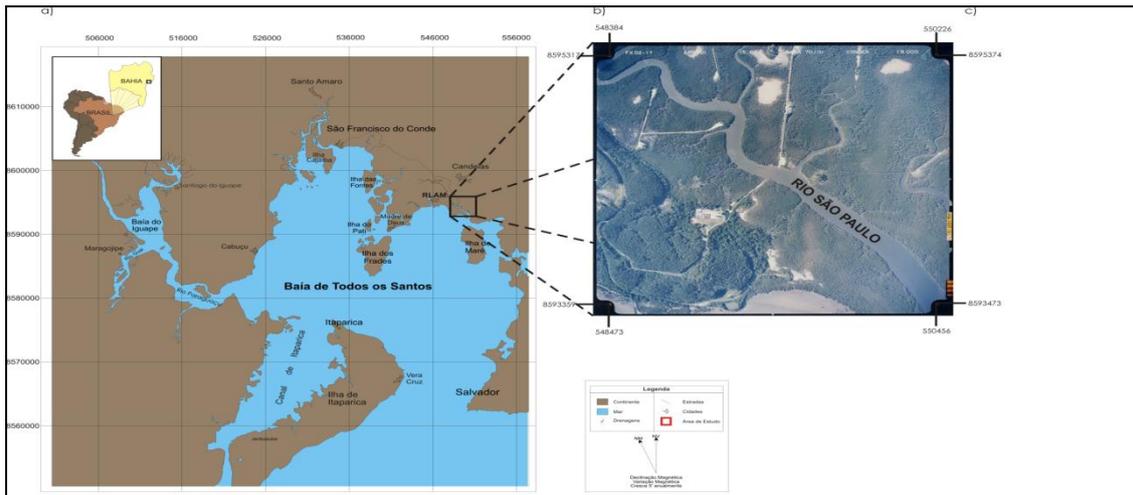


Figura 1 – Mapa de situação e localização do Rio São Paulo, município de Candeias, Bahia, com imagem de satélite.

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos, confrontados com os limites estabelecidos pela resolução do CONAMA nº 357/2005 para as águas da Classe 2 (água salobra), revelam que os valores do pH estão dentro da faixa de referência (Figura 2). Os valores de oxigênio dissolvido (OD) estão bastante acima de 4mg/L que é o valor mínimo (Figura 3). O resultado médio de turbidez foi 7,84 NTU (Figura 4), assemelha-se com obtido por Bahia (2002) de 6,3 NTU e com Carvalho (2007) de 7,6 NTU ao estudarem a mesma região.

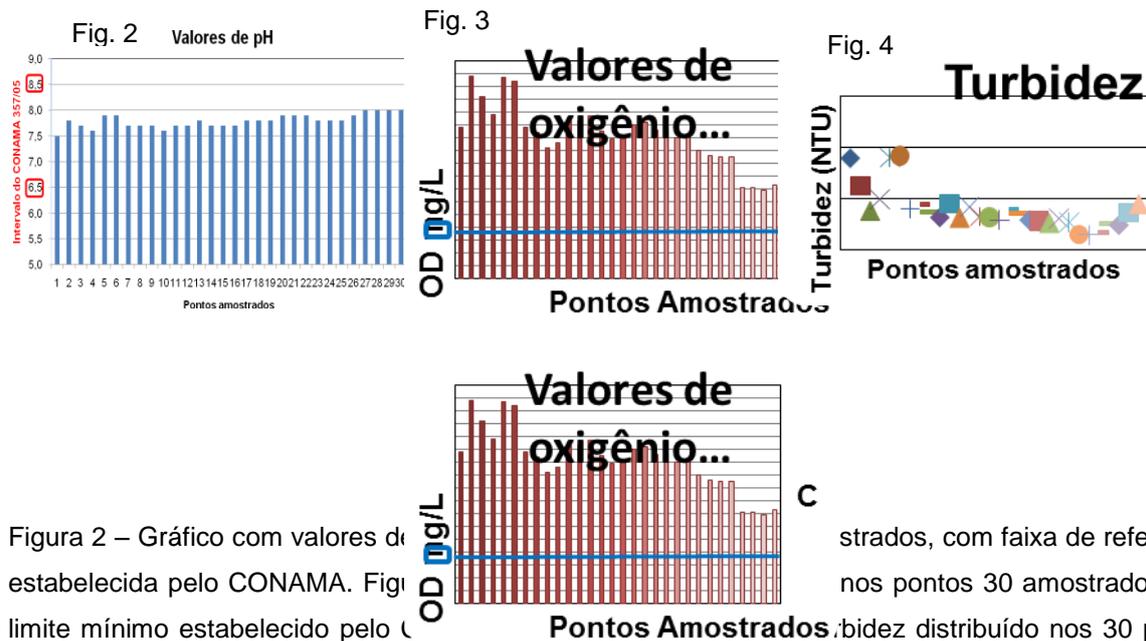


Figura 2 – Gráfico com valores de pH estabelecida pelo CONAMA. Figura 3 – Gráfico com valores de oxigênio dissolvido (OD) em mg/L estabelecido pelo CONAMA. Figura 4 – Gráfico com valores de turbidez distribuído nos 30 pontos amostrados, com faixa de referência nos pontos 30 amostrados com limite mínimo estabelecido pelo CONAMA.

Pelo diagrama de agrupamento hierárquico (Figura 5) observa-se a distinção de vários grupos, demonstrando que os parâmetros possuem características peculiares entre si, contribuindo de forma diferente para a qualidade do meio.

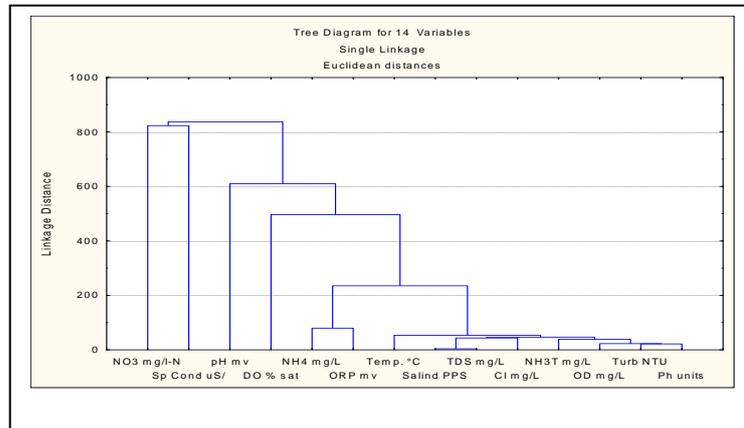


Figura 5 - Dendrograma pelo método de Ward, aplicado para os pontos de amostragem.

Pelo gráfico das componentes principais (Figura 6) que representa uma variância de 75,21% dos dados analisados, o nitrato e a amônia que tiveram valores bem acima do estabelecido pelo CONAMA, exerce uma correlação positiva, já o pH, o cloreto e a temperatura possuem uma forte correlação positiva. Por outro lado, a condutividade, STD e a salinidade tiveram uma forte correlação negativa.

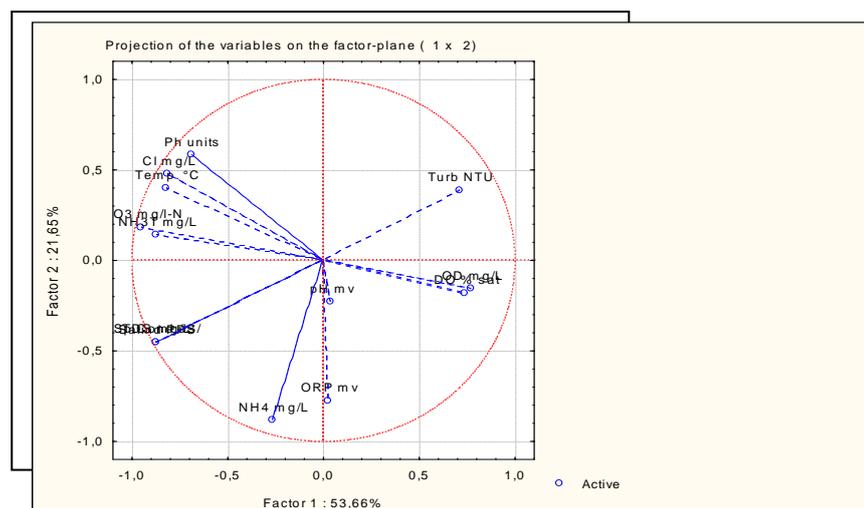


Figura 6 – Análise das componentes principais. Onde: ORP mv (potencial oxidação-redução), OD (oxigênio dissolvido), DO sat (oxigênio saturado), Turb NTU (turbidez), Temp (temperatura), Cl (Cloro), pH (potencial hidrogênio), NH₄ (ion amônio) NO₃ (nitrato), NH₃ (amônia), já Sp Cond (condutividade), STD (sólidos totais dissolvidos), e Salinind PPS (salinidade), se encontram sobrepostos.

4 – Considerações Finais

Os limites aceitáveis para turbidez não é descrito pela resolução do CONAMA 357/05, porém resultados acima de 10 NTU pode interferir no processo de fotossíntese (BATALHA; PARLATORE, 1977). O aumento do teor de cloreto na água indica a presença de esgotos (PHILIPPI, et. al, 2004). A condutividade está associada diretamente ao STD, revelando um indicativo de poluição. Os valores de amônia, íon amônia e nitrato, podem está diretamente afetando as condições sanitárias do rio São Paulo. Observa-se que os parâmetros estabelecidos nos 30 pontos amostrados ao longo do rio São Paulo caracteriza as águas como imprópria para o consumo humano e com um grande potencial de risco ambiental conforme a resolução do CONAMA 357/05.

5 - Referências

- BAHIA. Centro de Recursos Ambientais. Avaliação da qualidade das águas da Bacia Hidrográfica do Recôncavo Norte: relatório técnico, avaliação ambiental. Salvador, 2^o semestre 2002.
- BATALHA, B. L.; PARLATORE, A.C. Controle da qualidade da água para consumo humano; bases conceituais e operacionais. São Paulo, CETESB, 1977.
- CARVALHO, L. V. M. Estudo da qualidade da água superficial em zona estuarina do rio São Paulo-Região de Candeias – BA. 2007. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res05/res35705.pdf>> Acessado em 06/07/2010.
- QUEIROZ, A. F DE S.; CELINO, J. J. Avaliação de ambientes na Baía de Todos Santos: aspectos geoquímicos, geofísico e biológicos. Salvador UFBA, 2008. 300 p.
- PEKEY, H.; KARAKAS, D.; BAKOGLU, M.. Source apportionment of metals trace in surface waters of a polluted stream using multivariate statistical analyses. Marine Pollution Bulletin, 49.p. 809-818. 2004.
- PHILIPPI, A.JR; ROMERO M. A.;BRUNA, G.C. Curso de gestão ambiental. Barueri,SP:Manole, 2004.

APÊNDICE II

HIDROQUÍMICA DO RIO SÃO PAULO, MUNICÍPIO DE CANDEIAS, BAHIA

A.B.S.J. Ramos, A.P.A. Alves, M.J.M. Cruz, R.A.Santos, M.V.P. Gonçalves

IGEO/UFBA (bomfilhojr@yahoo.com.br, anapaula.ufba@yahoo.com.br, jeronimo@ufba.br, rodrigo.santos@ufba.br, zoovitor81@yahoo.com.br)

Nas últimas décadas, de modo cada vez mais crescente, a humanidade tem despertado para a evidência de que a natureza impõe limites a sua exploração, transformação, bem como à utilização dos recursos naturais. A Baía de Todos os Santos (BTS) é uma região que abriga diversos tipos de ecossistemas, mas também com inúmeras atividades industriais que acarretam valores econômicos para a sociedade, em contrapartida vem contribuindo para a deterioração do meio ambiente. A bacia hidrográfica do rio São Paulo limita-se ao norte (N) com a bacia do rio Joanes, ao Sul (S) com a BTS, ao leste (E) com as bacias dos rios Bonessu, Petecada e Jacarenga, e a oeste (W) com as bacias dos rios Paramirim e Mataripe. As atividades antrópicas lançam diversos poluentes industriais nessa região com potenciais riscos ao meio ambiente e muito deles venenosos a espécie humana. Entretanto, é de fundamental importância o conhecimento dos parâmetros físico-químicos das águas com o objetivo de compreender os principais problemas que acometem o rio São Paulo. Foram amostrados trinta pontos ao longo do rio, levando em consideração as áreas que representam as influências urbanas e industriais, medindo os seguintes parâmetros: Temperatura, Oxigênio dissolvido (OD), Oxigênio saturado (% Sat), Condutividade, Salinidade, TDS, Turbidez, pH, ORP, Amônia (NH₃), Nitrato (NO₃) e Cloreto (Cl⁻), todos medidos *in situ*. Os resultados obtidos foram confrontados com os limites estabelecidos pela resolução do CONAMA nº 357/2005 para as águas da Classe 2 (água salobra), revelam que os valores de pH estão dentro da faixa de referência. Os valores de oxigênio dissolvido (OD) estão bastante acima de 4mg/L que é o valor mínimo. O resultado médio de turbidez foi de 7,84 NTU, assemelhando-se com os valores de 6,3 NTU (2002) e de 7,6 NTU (2007) obtido por outros autores ao estudarem a mesma região. Pelo diagrama de agrupamento hierárquico observa-se a distinção de vários grupos, demonstrando que os parâmetros possuem características peculiares entre si, contribuindo de forma diferente para a qualidade do meio. A análise das componentes principais que representa uma variância de 75,21% dos dados analisados, o nitrato e a amônia apresentaram valores bem acima do estabelecido pelo CONAMA, exerce uma correlação positiva, já o pH, o cloreto e a temperatura possuem uma forte correlação positiva. Por outro lado, a condutividade, STD e a salinidade tiveram uma forte correlação negativa. Os limites aceitáveis para turbidez não é descrito pela resolução do CONAMA 357/05, porém resultados acima de 10 NTU pode interferir no processo de fotossíntese. O aumento do teor de cloreto na água indica a presença de esgotos. A condutividade está associada diretamente ao STD, revelando um indicativo de poluição. Os valores de amônia, íon amônia e nitrato, podem estar diretamente afetando as condições sanitárias do rio São Paulo. Observa-se que os parâmetros estabelecidos nos 30 pontos amostrados ao longo do rio São Paulo caracterizam as águas como imprópria para o consumo humano e com um grande potencial de risco ambiental conforme a resolução do CONAMA 357/05.

ANEXO I

BRAZILIAN JOURNAL OF AQUATIC SCIENCE AND TECHNOLOGY - BJA ST

[OPEN JOURNAL SYSTEMS](#)

#3479 SINOPSE

SUBMISSÃO

Autores	Bomfim Silva Ramos, Manoel Jerônimo Moreira Cruz
Título	Índice de Qualidade das Águas do rio São Paulo, Candeias, Bahia, Brasil
Documento original	3479-8354-1-SM.DOC 2012-02-01
Docs. sup.	Nenhum(a)
Submetido por	Sr Bomfim Silva Ramos 
Data de submissão	fevereiro 1, 2012 - 10:36
Seção	Artigos
Editor	Claudemir Radetski 

SITUAÇÃO

Situação	Arquivado
Iniciado	2012-03-02
Última alteração	2012-03-02

METADADOS DA SUBMISSÃO

[EDITAR METADADOS](#)

AUTORES

Nome	Bomfim Silva Ramos 
Instituição/Afiliação	Universidade Federal da Bahia- Instituto de Geociências- Pospetro(Programa de Pós-Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente.

País Brasil
 Resumo da Biografia GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E MEIO MESTRANDO EM GEOQUÍMICA DO PETRÓLEO E MEIO AMBIENTE- UFBA- POSPETRO- IGEO

Contato principal para correspondência.

Nome Manoel Jerônimo Moreira Cruz 
 Instituição/Afiliação Universidade Federal da Bahia- Instituto de Geociências- Departamento de Geoquímica

País Brasil
 Resumo da Biografia Doutor em Geologia - Professor associado III- IGEO

TÍTULO E RESUMO

Título Índice de Qualidade das Águas do rio São Paulo, Candeias, Bahia, Brasil

Resumo Os impactos ambientais gerados por efluentes nos cursos d'água têm crescido de maneira alarmante, especialmente em grandes centros urbanos, isso em função da deficiência da rede de esgoto sanitário e, baixa conscientização da população em relação à conservação dos corpos hídricos. Os efeitos combinados da urbanização e das demais atividades antropogênicas associadas ao rápido crescimento populacional das últimas décadas são facilmente visualizados nos ecossistemas. A necessidade de um maior conhecimento e controle da variabilidade temporal e espacial desse tipo de impacto, levou ao desenvolvimento de índices de qualidade das águas (IQA) que é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes às variáveis que integram o índice e reflete a interferência de substâncias orgânicas, nutrientes, sólidos e microbiológicos na qualidade das águas para consumo humano. Visto que a região do rio São Paulo-BA é vulnerável às contaminações domésticas e industriais, o presente trabalho objetiva determinar o Índice de Qualidade das Águas, estabelecendo a variabilidade espacial da qualidade, a fim de possibilitar uma melhor integração e interpretação dos dados. A coleta foi realizada em um período caracterizado por chuvas esparsas (outubro/2011) em dez pontos, na superfície e ao longo do Rio São Paulo onde foram determinados parâmetros físicos, químicos e biológicos, alguns mensurados in situ com o auxílio de uma sonda multiparâmetro e outros determinados no laboratório. Os valores de IQA determinados nos dez pontos amostrados revelam que as águas do Rio São Paulo estão classificadas de regular a boa e o IQA foi satisfatório para uma avaliação hidrogeoquímica do rio São Paulo, porém expressa de uma forma simplificada uma condição momentânea. Entretanto, O IQA pode ser utilizado para implementação de políticas de gerenciamentos dos Recursos Hídricos se for estabelecido um sistema de monitoramento.

INDEXAÇÃO

Idioma pt

APOIO E FINANCIAMENTO

Agências cnpq

(eISSN: 1983-9057, ISSN: 1808-7035)

ANEXO II

revista **GEOCIÊNCIAS** issn 0101-9082

Ofc. revgeoc. 331

Rio Claro, 01 de Março de 2012.

Ao

Sr. Antonio Bonfim da Silva Ramos Junior

Ilmo. Sr.,

Vimos pela presente agradecer a submissão do artigo “**Variabilidade espaço-temporal de parâmetros físico-químicos e metais pesados no Rio São Paulo, município de Candeias, Bahia**”, que está em análise pelo corpo consultivo da Revista Geociências.

Atenciosamente



Marcos Aurélio Farias de Oliveira