

## Uso da Krigagem para variáveis ambientais no município de Madre de Deus - Ba

Henrique César Pereira Assumpção<sup>1</sup>  
José Martin Ucha<sup>2</sup>  
Gisele Mara Hadlich<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal da Bahia - UFBA/IGEO  
R. Barão Geremoabo, s/n. – 40201-340 Salvador - BA, Brasil  
henri2ue@gmail.com  
gisele@ufba.com

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA  
R. Emídio dos Santos, s/n. – 40310-015 Salvador, BA, Brasil  
Salvador - BA, Brasil  
ucha@ifba.edu.br

**Abstract.** This study aimed to spatialize the physicochemical data from the region of Madre de Deus in order to analyze and present the distribution of parameters to differentiate mangrove environments, hipertidal saltflats and vegetated hillsides. The study took place in four stages: a survey of references on the topic or related; collecting samples in the field and physicochemical analyzes, creation of a database using the Excel program containing spatial data (x, y) and the analyzed results of (pH, salinity and nitrogen - N total), and the generation of isolines by Kriging. The literature review has enabled a greater understanding of the importance of studying the physical and chemical parameters in mangroves and nearby ambiances using a geostatistical method, kriging. After importation of analytical results for the program ArcGis 10, for each variable isolines (contours) were generated representing the spatial distribution of concentrations of each parameter over a Madre de Deus image. This facilitated the observation of element concentrations analyzed over the study area. The ordinary kriging was very effective on the spatial distribution of geochemical data in different environments and has proven quite effective to identify some factors that contribute to the elements concentration in the study area facilitating the acquisition of information through the use of georeferenced data.

**Palavras-chave:** mangrove, hipertidal saltflat, ordinary kriging; manguezal, apicum, krigagem ordinária.

### 1. Introdução

A geostatística leva em consideração a localização geográfica dos elementos que são analisados. Assim, a principal diferença entre a estatística clássica e a geostatística reside no fato de que a segunda analisa variáveis que apresentam uma dependência espacial (GUERRA, 1988). De forma geral, a técnica geostatística procura extrair, de uma aparente aleatoriedade dos dados coletados, as características estruturais probabilísticas do fenômeno regionalizado. O método de estimativa básico utilizado, que usa a técnica de interpolação espacial, é o da krigagem. Trata-se de um processo de estimativa por médias móveis de valores de variáveis, distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes considerados interdependentes por uma função denominada variograma (LOURENÇO; LANDIM, 2005). Dentre os vários tipos de krigagem, a ordinária tem sido a mais indicada na aplicação em análises com dados físico-químicos obtidos de sedimentos (YIN et al., 2009).

A Baía de Todos os Santos (BTS) possui sedimentos de manguezais e apicuns que ocupam, respectivamente, 177,6 km<sup>2</sup> e 10,7 km<sup>2</sup> no seu entorno (HADLICH; UCHA, 2008). Os apicuns, que são áreas planas de elevada salinidade, ainda são poucos estudados.

A montante de apicuns ou diretamente em contato com os manguezais, situam-se encostas com Argissolos Vermelho-Amrelos que apresentam ambientes oxidantes, ao contrário dos manguezais (HADLICH et al., 2010). Os parâmetros físico-químicos podem ser úteis na caracterização e diferenciação dos ambientes estuarinos na BTS, bem como podem controlar a distribuição de contaminantes.

O objetivo desse trabalho é analisar a distribuição espacial de dados físico-químicos a fim de analisar o comportamento desses parâmetros nos ambientes manguezal, apicum e encosta da parte norte do município de Madre de Deus. Com isso será possível subsidiar discussões sobre distribuição de contaminantes que estão sendo investigados.

### 1.1 Área de Estudo

A BTS está localizada nas bordas da terceira maior cidade brasileira, Salvador, capital da Bahia. Apresenta uma área de 1.233 km<sup>2</sup>. No entorno da BTS havia, em 2010, um contingente populacional superior a três milhões de habitantes (IBGE, 2010). Dentre as baías da costa leste brasileira, é a única que apresenta dez terminais portuários de grande porte, um canal de entrada naturalmente navegável e canais internos profundos, fatos estes que a qualificam como pólo facilitador do desenvolvimento da região.

Madre de Deus localiza-se na porção norte da BTS. O município está localizado em uma ilha cuja ligação com o continente se dá por uma ponte construída no fim da década de 1950, quando foi criado o terminal marítimo da Petrobras, o TEMADRE. A área de estudo restringe-se à parte norte do município (Figura 1).



Figura 1. Localização de Madre de Deus na Baía de Todos os Santos e recorte da área estudada (retângulo vermelho) no município. Fonte: GoogleMap (2011), adaptado.

### 2. Metodologia de Trabalho

A metodologia utilizada para a realização desta pesquisa envolveu, além da revisão de literatura, a obtenção de dados de metais traço nos ambientes estudados e, posteriormente, a aplicação da geoestatística para análise da distribuição espacial dos dados. Os trabalhos podem ser descritos em diferentes etapas contemplando campo, laboratório e trabalho em escritório.

Na fase de campo, com o mapa (grade regular de 120 x 120m) em mãos, buscou-se coletar amostras abarcando pelo menos 15 amostras em cada ambiente: encosta vegetada, manguezal e apicum.

Quarenta e cinco amostras foram coletadas na superfície (0-5 cm de profundidade) em uma campanha em janeiro de 2010. Os pontos coletados foram georreferenciados utilizando um GPS acoplado a uma câmera fotográfica.

As amostras, cerca de 500 g, foram colocadas em sacos plásticos com etiquetas, tomando-se cuidado para que nenhum espaço de ar permanecesse dentro do saco, minimizando a oxidação dos sedimentos, e depois acondicionadas em isopor com gelo para manter as amostras sob condições refrigeradas.

Na etapa do laboratório as amostras foram congeladas e liofilizadas. Em seguida passaram por um pré-tratamento que consistiu na maceração, peneiramento com a malha de 2 mm e catação de objetos estranhos na amostra, como fragmentos de folhas, galhos ou conchas.

Todas as amostras foram analisadas segundo diversos parâmetros, apresentando-se aqui: pH e nitrogênio – N total (analisados segundo Embrapa, 1997) e salinidade (avaliado com refratômetro, valor máximo 100). A partir dos resultados obtidos com as análises químicas, criou-se um banco de dados (BD\_MadreDeus) através do programa de computador Microsoft Excel contendo, para cada ponto amostrado, o dado espacial (coordenadas UTM) e as variáveis analisadas. Posteriormente estes dados foram transferidos para o programa *ArcGis*, para a espacialização dos parâmetros acima descritos.

Para a imagem base usou-se a imagem do *Google Earth*, que foi georreferenciada no *ArcGis 10*.

Neste estudo foram aplicadas algumas das ferramentas de geoestatística do módulo *Geostatistical Analyst* do sistema de informações geográficas *ArcGIS 10*.

De forma genérica pode-se enumerar as etapas para aplicação das técnicas geoestatísticas a um determinado conjunto de dados, com a seguinte sequência de procedimentos:

- análise exploratória
- semivariograma
- krigagem
- validação cruzada

Na etapa de Análise Exploratória da variabilidade espacial do conjunto de dados fez-se a verificação das medidas estatísticas e matemáticas dos dados visando melhorar a eficiência da etapa inicial (análise estatística) e dar suporte à análise espacial através da identificação de valores discrepantes e da remoção de tendências.

No presente estudo, foram estabelecidos diferentes modelos de semivariogramas para os parâmetros analisados. A cada parâmetro buscou-se o modelo mais apropriado.

Foi, então, aplicada a krigagem ordinária.

Na etapa de Validação Cruzada foram realizados os testes para avaliar o grau de incerteza associado aos parâmetros analisados, avaliando assim a qualidade da krigagem. Segundo Isaaks e Srivastava (1989), na etapa de Validação Cruzada cada ponto medido é excluído e seu valor é estimado levando-se em conta os dados restantes. Nessa técnica são estimados os valores dos parâmetros analisados e dos parâmetros individualizados dos pontos amostrados, sendo em seguida comparados aos novos valores dos dados medidos. Os gráficos do erro padrão denotam a qualidade da krigagem.

Depois da imagem gerada, utilizou-se a ferramenta *3d Analyst*, do *ArcGis 10*, para a geração de isolinhas (*contour*) que foram sobrepostas à imagem do *Google Earth* georreferenciada.

### 3. Resultados e Discussão

#### a) pH

Para a geração do semivariograma do pH (Figura 2a) utilizou-se o modelo exponencial, com um alcance máximo de 111,884m, sem anisotropia. O gráfico do erro padrão da

krigagem gerada a partir desse semivariograma é observado na figura 2b.

O pH apresentou menores valores nas encostas pois trata-se de ambientes com solos naturalmente ácidos e que não recebem nenhum tipo de correção do solo. Assim, as encostas diferenciam-se dos demais ambientes, como pode ser observado na Figura 3.

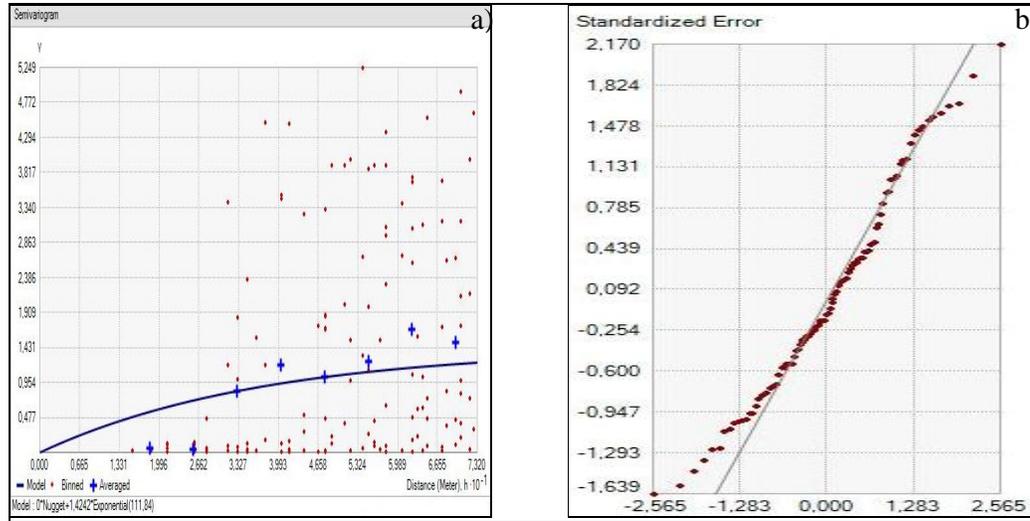


Figura 2. Gráficos gerados do semivariograma (a) e do erro padrão 9(b) associados à krigagem aplicada ao parâmetro pH.

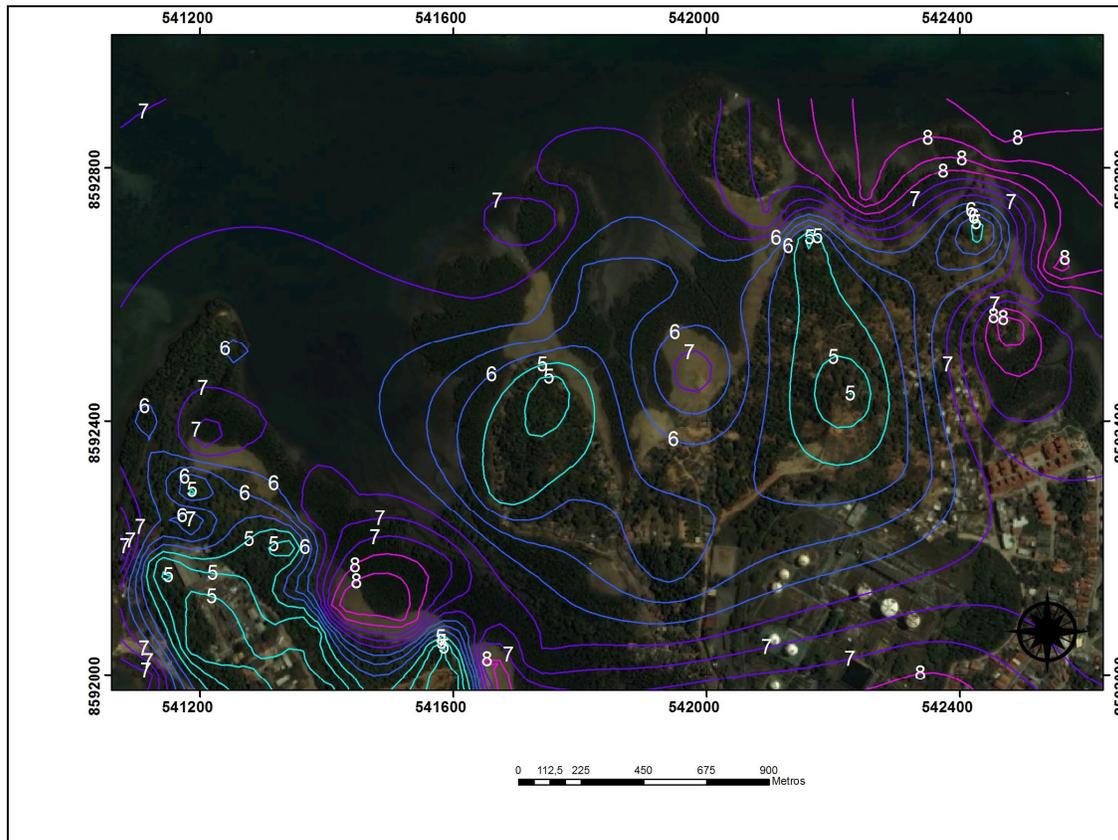


Figura 3. Isolinhas dos valores de pH para Madre de Deus.

*b) Salinidade*

O semivariograma da salinidade (Figura 4a) foi gerado utilizando o modelo exponencial, com um alcance máximo de 368,64m, sem anisotropia. O gráfico de erro, feito na etapa de validação cruzada, está representado pela figura 4b.

A imagem gerada (Figura 5), com as isolinhas distribuídas por Madre de Deus, confirma a relação existente entre os apicuns e a salinidade elevada, individualizando esse ambiente dos demais.

Analisando a imagem, observa-se também que além dos apicuns, as encostas também foram bem individualizadas, apresentando uma variação de salinidade de 0 -5.

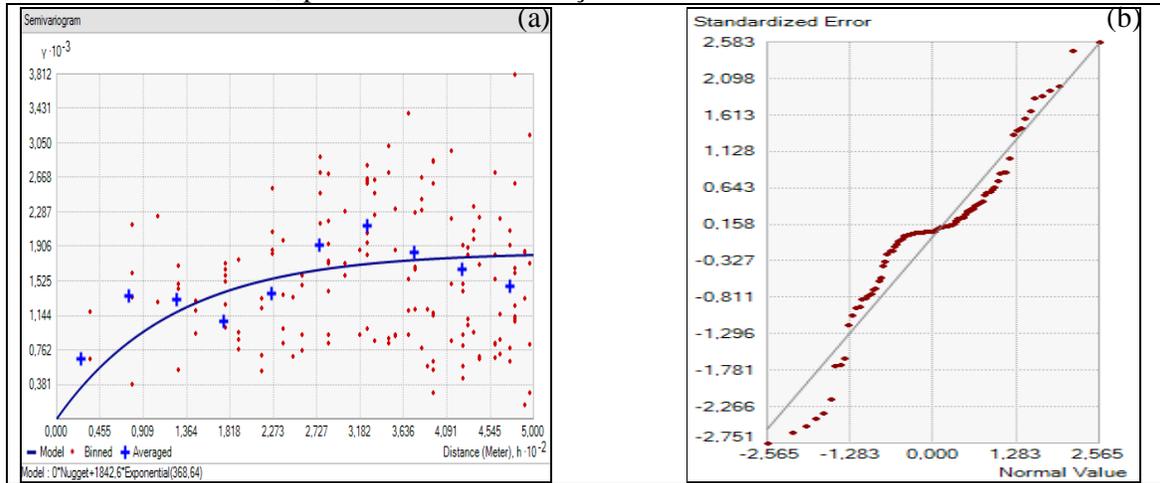


Figura 4. Gráficos gerados do semivariograma (a) e do erro padrão (b) associados à krigagem aplicada ao parâmetro salinidade.

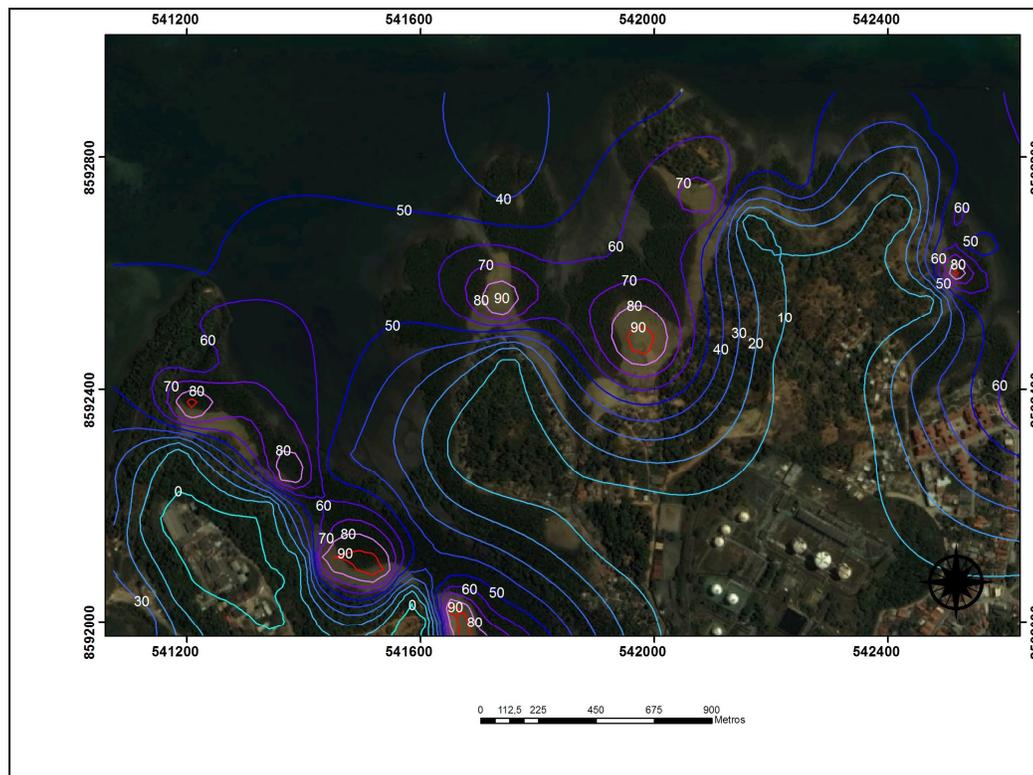


Figura 5: Isolinhas dos valores de Salinidade para Madre de Deus.

*c) Nitrogênio - N*

Através dos dados obtidos em laboratório foi gerado um variograma para o Nitrogênio (Figura 6a), com um alcance máximo de 445,78m. Após efetuar o método da krigagem, foi efetuada a sua validação com a geração de um gráfico de erro padrão, mostrada na Figura 6b.

Observando a imagem das isolinhas geradas através da krigagem (Figura 7), fica evidente uma maior concentração de N na foz do rio, no ambiente manguezal. A presença desse nutriente nesse ambiente origina-se da precipitação, do escoamento superficial e da decomposição da matéria orgânica proveniente de raízes e folhas do mangue, da água do mar e ainda de contribuições antrópicas.

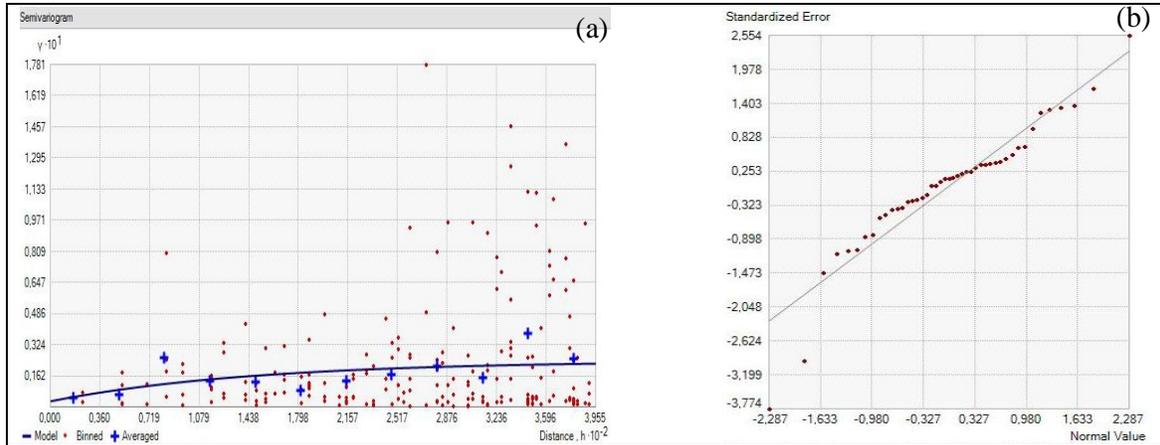


Figura 6. Gráficos gerados do semivariograma (a) e do erro padrão 9(b) associado a krigagem aplicada ao parâmetro N.

O apicum apresentou as menores concentrações devido à ausência de vegetação nesse ambiente, cuja hipersalinidade implica também na ausência ou reduzida ação de bactérias fixadoras de nitrogênio (no apicum, todas amostras analisadas retornaram concentração abaixo do LDM).

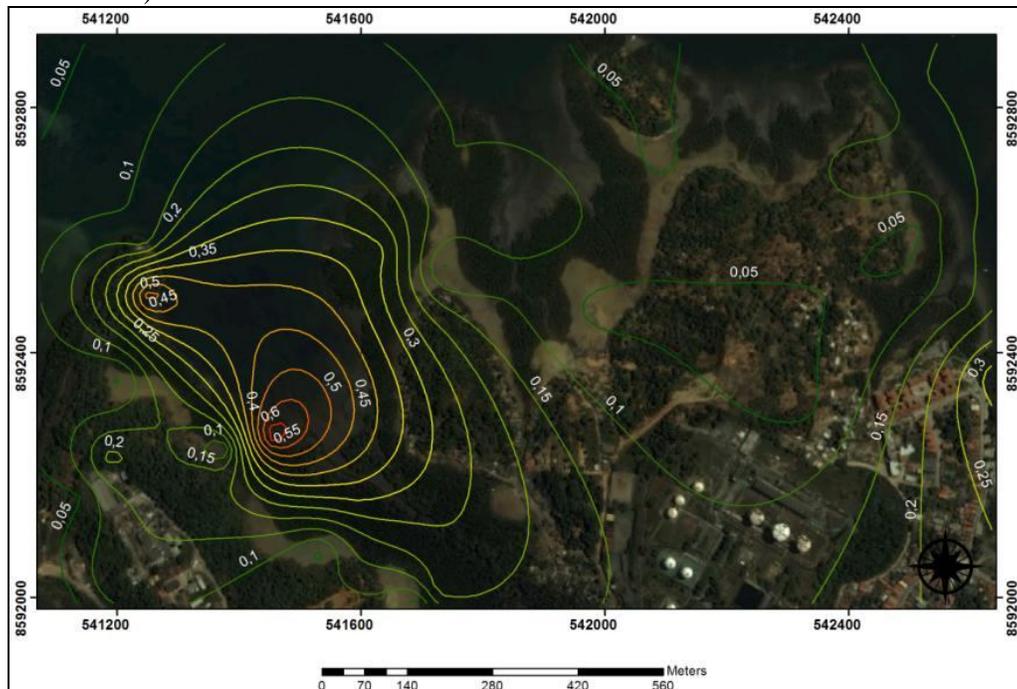


Figura 7: Isolinhas dos valores de N para Madre de Deus.

#### 4. Conclusão

As análises das imagens e isolinhas geradas neste trabalho comprovaram que a krigagem ordinária é um método geoestatístico eficaz na espacialização de dados geoquímicos em diferentes ambientes, facilitando a obtenção de informações através do uso de dados georreferenciados.

Através dos estudos geoestatísticos realizados pôde-se comprovar a salinidade como o principal parâmetro que diferencia manguezais, encostas e apicuns, assim como observado por Hadlich et al. (2010).

Nas análises geoestatísticas, o melhor modelo usado para todos os parâmetros analisados foi o exponencial.

#### 5. Referências

Guerra, P. A. G. **Geoestatística operacional**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 1988. 145 p.

Hadlich, G. M; Ucha, J. M. (Coord.). **Apicuns e manguezais na Baía de Todos os Santos, Bahia**. Salvador: UFBA/IGEO/Núcleo de Estudos Ambientais, 2008. 1 mapa color. Escala 1:100.000.

Hadlich, G.M., Celino, J.J., Ucha, J.M. Diferenciação físico-química entre apicuns, manguezais e encostas na Baía de Todos os Santos, nordeste do Brasil. **Geociências** (São Paulo. Online), v. 29, n. 12010. p.633-641.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010, primeiros resultados**. Rio de Janeiro, IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acesso em: 20 set. 2012.

Isaaks, E. H.; Srivastava R. M. **An Introduction to Applied Geostatistics**. New York, Oxford University Press, 1989. 560 p.

Lourenço, R. W; Landim, P. M. B. Mapeamento de áreas de risco à saúde pública por meio de métodos geoestatísticos. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.21, n.1, jan./fev. 2005.

Vanucci, M. **Os manguezais e nós: uma síntese de percepções**. 2. ed. (rev., ampl.). São Paulo: EDUSP, 1999. p.659-674.

Yin, X.; Yao, C.; Song, J.; Li, Z.; Zhang, C.; Qian, W.; Bi, D.; Li, C.; Teng, Y.; Wu, L.; Wan, H.; Luo, Y. Mercury contamination in vicinity of secondary copper smelters in Fuyang, Zhejiang Province, China: Levels and contamination in topsoils. **Environmental Pollution**, v. 157, 2009. p.1787-1793.