

## APLICAÇÃO DE TÉCNICAS GEOESTATÍSTICAS NA MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA BAÍA DE ANTONINA E PORÇÃO OCIDENTAL DA BAÍA DE PARANAGUÁ-PR

Lydio L. R. Odreski<sup>1</sup>; Carlos R. Soares<sup>2</sup>; Rodolfo J. Angulo<sup>3</sup>; Fabian Sá<sup>4</sup>; Fernando A. Veiga<sup>5</sup>; Marcelo R. Lamour<sup>6</sup>; João C. Carrilho<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>M.Sc. em Geologia Ambiental, Laboratório de Oceanografia Geológica (LOGEO) - Centro de Estudos do Mar – UFPR.. Av. Beira Mar, s/nº Pontal do Sul. e-mail: [lydiolro@cem.ufpr.br](mailto:lydiolro@cem.ufpr.br) / [carrilho@cem.ufpr.br](mailto:carrilho@cem.ufpr.br)

<sup>2</sup>M.Sc. em Geociências, Chefe do Laboratório de Oceanografia Geológica (LOGEO) - Centro de Estudos do Mar - Universidade Federal do Paraná. . e-mail: [crsoares@ufpr.br](mailto:crsoares@ufpr.br)

<sup>3</sup>D. Sc. em .Geologia Sedimentar, Chefe do Laboratório de Estudos Costeiros (LECost), Departamento de Geologia - Universidade Federal do Paraná, e-mail: [angulo@ufpr.br](mailto:angulo@ufpr.br)

<sup>4</sup>M. Sc. em Geologia Ambiental, Laboratório de Oceanografia Química - Centro de Estudos do Mar - Universidade Federal do Paraná, e-mail: [fabian.sa@bol.com.br](mailto:fabian.sa@bol.com.br)

<sup>5</sup>Geólogo, Pós-graduação em geologia, Departamento de Geologia - Universidade Federal do Paraná, e-mail: [ferveiga@geologia.ufpr.br](mailto:ferveiga@geologia.ufpr.br)

<sup>6</sup>M. Sc. em Geologia Ambiental, Pós-graduação em geologia, Departamento de Geologia - Universidade Federal do Paraná, e-mail: [lamourm@cem.ufpr.br](mailto:lamourm@cem.ufpr.br)

### RESUMO

Elaborar mapas de distribuição de variáveis que se apresentam continuamente distribuídas no espaço, constitui uma tarefa importante para facilitar a análise descritiva e o entendimento dos fenômenos naturais. Usualmente, as técnicas convencionais de interpolação desprezam informações importantes sobre características morfológicas do meio físico, que podem de certa forma controlar a distribuição espacial da variável observada. Este estudo procura demonstrar a validade e a necessidade da aplicação de técnicas geoestatísticas em mapas de distribuição de valores, tomando como exemplo os sedimentos de fundo das baías de Paranaguá e Antonina, no setor E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá – PR.

### ABSTRACT

The development of spatial distribution maps of continually dispersed variables is a very important task to acquire skill to understand natural phenomenon's. Usually, conventional techniques of interpolation dismiss some important information about the morphological characteristics of the physical conditions, that could control the spatial distribution of the variable in study. This study attempts to explain, by using samples, the necessity of a geo-statistical support in the development of spatial distribution maps, taking as sample the bottom sediments of Paranaguá and Antonina Bays, in the inner portion of the E-W sector of the Paranaguá Bay Estuarine Complex – PR, southern Brazil.

Palavras-Chave: geoestatística, sedimentos de fundo, complexo estuarino de Paranaguá.

### INTRODUÇÃO

A Baía de Antonina, localizada na porção interna do setor E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá (Figura 1), entre os paralelos 25° 20' e 25° 35' de latitude Sul e 48° 30' e 48° 45' de longitude Oeste, vem sofrendo reativação de instalações portuárias por parte de terminais marítimos privados. Por esse motivo, as operações de manutenção dos canais de navegação como dragagens e despejo de material dragado têm sido intensificadas nesta região, tornando fundamental o conhecimento da distribuição dos sedimentos do fundo desta porção do Complexo Estuarino de Paranaguá.

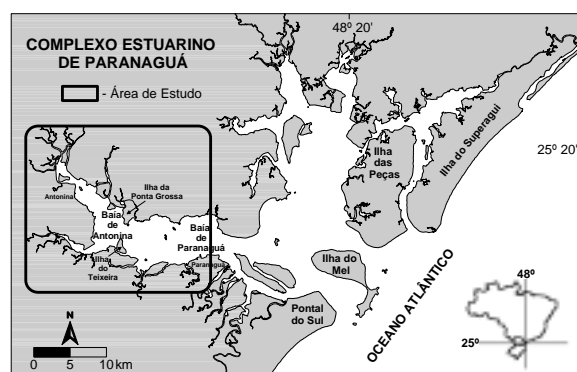


Figura 1- Mapa de localização da área de estudo.

A elaboração de mapas de distribuição tem sido uma ferramenta muito usada na representação espacial dos sedimentos de fundo, pois facilitam a visualização e o entendimento dos processos de sedimentação. Na tentativa de apurar ainda mais a acurácia destes mapas, este estudo procurou aplicar técnicas geoestatísticas de interpolação. Baseado em uma análise espacial prévia (variografia exploratória), foram determinadas as direções de maior e menor continuidade espacial entre o diâmetro médio dos sedimentos de fundo da Baía de Antonina e

setor ocidental da Baía de Paranaguá, para posterior elaboração dos mapas de distribuição.

## MÉTODOS

Com o objetivo de identificar anisotropias na distribuição dos valores, foi feita uma variografia exploratória a cerca dos 156 pontos amostrados pela PETROBRAS (1997) ao longo da área estudada. O variograma na prática é uma ferramenta estatística que permite mostrar o grau de dependência espacial entre amostras ao longo de um determinado suporte, sendo, neste caso de estudo, representado pela variação espacial da distribuição do diâmetro médio dos sedimentos de fundo da Baía de Antonina e do setor ocidental da Baía de Paranaguá (Figura 2).

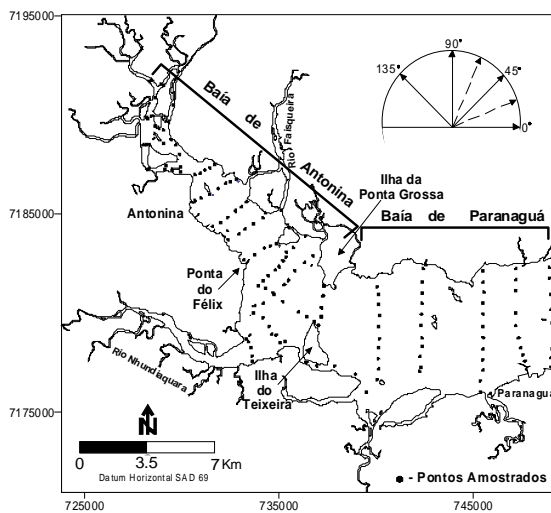


Figura 2 - Pontos amostrados nas baías de Antonina e Paranaguá e as direções e ângulo de tolerância da variografia exploratória.

A amostragem ao longo da área estudada apresenta distâncias relativamente regulares, com geometria e dimensão constantes, sendo classificada como malha regular assimétrica, onde a área de influência das amostras e o erro de extensão são constantes. Considerando as características da malha de amostragem e as duas baías estabelecidas (Antonina com eixo maior direcionado para NW-SE e Paranaguá com eixo maior na direção E-W), determinou-se que a variografia exploratória seria realizada nas seguintes direções: 0°, 45°, 90° e 135°, com uma tolerância angular de 25° (Figura 2). Sendo o diâmetro médio a variável observada, o total de variogramas realizados foi 20.

Para se determinar uma boa estrutura variográfica nas diferentes direções analisadas, procurou-se trabalhar com o passo de busca do variograma (leg), sempre com um valor igual ou superior à média da distância entre os pontos.

Ao longo da direção E-W, a distância média entre os pontos amostrados é de 1.500 m na Baía de Paranaguá e 1.000 m Baía de Antonina (Figura 2). Na direção N-S, perpendicular ao eixo principal do setor E-W do Complexo Estuarino de Paranaguá, a amostragem é mais contínua, apresentando distâncias médias entre os pontos

oscilando entre 400 m e 1.000 m. Este fato configura-se como um dos problemas mais sérios do ponto de vista da aplicação da geoestatística, pois a distribuição espacial das informações apresenta restrições para a construção dos variogramas. Esta característica, que é função da amostragem, pôde ser observada em alguns variogramas mais robustos, pois eram aqueles que mais se aproximavam das linhas de amostragem. Entretanto, cabe aqui ressaltar a importância do conhecimento da área de estudo para que se possa estabelecer uma relação entre as direções de maior e menor covariância dos dados, e a distribuição espacial da informação. Este fator será fundamental na modelagem da anisotropia.

## RESULTADOS

Como era de se esperar num ambiente natural, o padrão de estrutura da variabilidade espacial foi diferente para determinadas direções de observação. Este fato foi atribuído à assimetria da malha de amostragem e a uma anisotropia na distribuição dos valores das médias granulométricas. Dentre os diversos variogramas elaborados para as direções de observação estudadas, destacam-se duas direções preferências de maior e menor covariância.

Na Baía de Antonina, utilizando passo de busca de 500 m, os variogramas na direção 135° apresentaram boa estrutura para alcances de 1.500 m e 2.500 m respectivamente, enquanto que os variogramas na direção 45° apresentaram melhor robustez para alcances de 450 m apenas.

Na Baía de Paranaguá, a direção de maior continuidade foi verificada nos variogramas E-W, com passos de busca de 600 m e 1.500 m (mínima distância entre os pontos), atingindo um alcance de previsibilidade de até 4.000 m. Na direção N-S a continuidade espacial da variável foi menor, observado nos variogramas com leg de 600 m um alcance de 750 m (tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros dos variogramas nas direções N-S, E-W, 45° e 135° para a Baía de Antonina e porção ocidental da Baía de Paranaguá. \* C0:– Efeito de pepita.

ANO	SETOR	DIREÇÃO	MODELO	C <sub>0</sub>	LEG (m)	Nº LEG	ALCANCE (m)	PATAMAR
1995	Antonina	45°	ESFÉRICO	0,2	500	8	450	2,35
		135°	ESFÉRICO	0,1	500	8	2500	2,3
	Paranaguá	N-S	ESFÉRICO	1,4	600	6	750	3
		E-W	ESFÉRICO	1,1	1000	9	4000	2,15

Um modelo direto para se calcular os parâmetros (fator e ângulo) da anisotropia, é através de um esboço gráfico de uma elipse, calculada através dos alcances obtidos em direções distintas (Figura 3), segundo as convenções de DEUTSCH & JOURNAL (1992). O eixo maior da elipse corresponde ao eixo de máxima continuidade, onde se aplica o maior alcance (a1). O ângulo da direção de máxima continuidade é definido a partir da direção Norte e no sentido horário. O eixo menor define o alcance (a2) na direção de menor continuidade, sendo este ortogonal à direção principal.

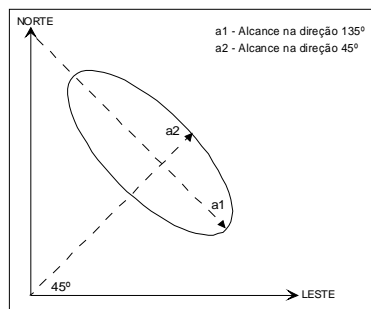


Figura 3: Representação gráfica da anisotropia em duas dimensões (modificado de CAMARGO, 2001) verificada na Baía de Antonina, onde o alcance a1 é de 2.500 m e o alcance a2 é de 450 m.

O fator de anisotropia geométrica é definido como a razão entre a direção de menor continuidade (a2) e o alcance na direção de maior continuidade (a1). O ângulo de anisotropia é igual ao ângulo da direção de maior continuidade.

### KRIGAGEM

A krigagem pode ser definida como uma técnica de interpolação que pondera valores de pontos conhecidos, para determinar valores intermediários de pontos não conhecidos, considerando a relação espacial (covariância) entre as amostras (OLEA, 1991).

A determinação da anisotropia neste caso atribui no momento da geração de uma grade de interpolação, pesos equivalentes para os pontos mais próximos ao longo do suporte de maior continuidade, do que os pontos mais próximos segundo o eixo de menor continuidade (FIGUEIRA, 1999).

O produto final da grade de interpolação gerada a partir da krigagem, com o fator de anisotropia em duas dimensões verificada nas baías de Paranaguá e Antonina pode ser observado na figura 4. Na porção central Baía de Antonina ocorre maior continuidade de sedimentos arenosos orientados segundo o eixo principal desta porção do estuário, seguindo o fluxo principal do canal de maré. Em direção as margens, o diâmetro médio dos sedimentos tende a tornar-se mais fino, devido à predominância de planícies de maré.

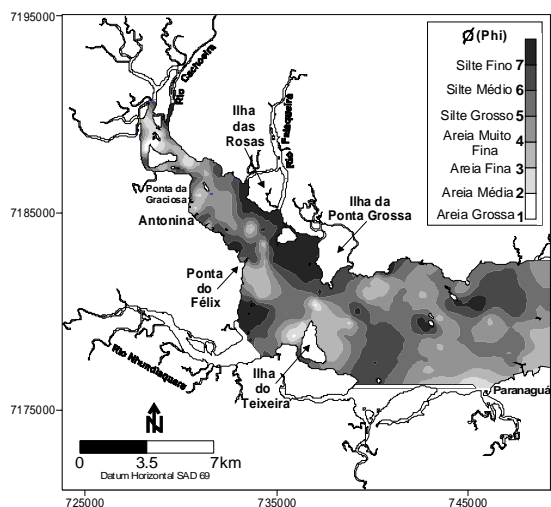


Figura 4: Mapa de distribuição dos sedimentos de fundo da Baía de Antonina e porção ocidental da Baía de Paranaguá, segundo análise geoestatística (ODRESKI 2002).

### CONCLUSÃO

A aplicação de técnicas geoestatísticas mostrou-se uma ferramenta valiosa para a representação espacial da distribuição do diâmetro médio dos sedimentos de fundo da Baía de Antonina e da porção ocidental da Baía de Paranaguá. A confecção de um modelo de distribuição granulométrica adequado às características morfológicas do meio físico só foi possível devido a uma análise espacial prévia, o que permitiu a geração de uma grade de interpolação com o melhor uso de toda a informação disponível.

Este estudo certamente dará motivo para questões a respeito da reprodução da realidade e da acurácia com que foram gerados os mapas de distribuição granulométrica, utilizando técnicas geoestatísticas. Porém, fica explícita a validade e a necessidade da utilização de um suporte técnico robusto para melhor representação dos fenômenos naturais.

### AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve apoio da Administração do Portos de Paranaguá Antonina (APPA) e do Centro de Estudos do Mar (CEM - UFPR), através do convênio APPA/CEM.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARGO, C.G.C. 2001. Análise de superfícies por geoestatística. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/análise/cap3-superfícies.pdf>> Acesso em abril de 2002.
- DEUTSCH, C.V. & JOURNEL, A.V. 1992. GSLIB: Geostatistical software library and user's guide. New York: Oxford University Press, 339 p.
- FIGUEIRA, E.G. 1999. Modelagem geoestatística da Mina Saivá, Rio Branco do Sul - Pr. Curitiba. 182 f. Dissertação (Mestrado) Pós-Graduação em Geologia Exploratória - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
- ODRESKI L.L.R. 2002. Evolução sedimentar e batimétrica da Baía de Antonina - Pr. Dissertação de Mestrado, Pós-Graduação em Geologia Ambiental, Departamento de Geologia, UFPR. Curitiba, 79 p. (inédito)
- OLEA, R.A. 1991. Geoestatistical glossary and multilingual dictionary. Oxford: Inst. Assoc. Math. Geology, n. 3.
- PETROBRAS. 1997. Estudos ambientais em áreas oceânicas e costeiras no sul do Brasil. 1 CD - ROM.