

SETORIZAÇÃO DO SUBSISTEMA SUL DA LAGOA DA CONCEIÇÃO, SANTA CATARINA

RUDORFF, F.M.^{1,2}; BONETTI, J.¹; PEIXOTO, J.R.V.²; DE OLIVEIRA, U.R.² & BONETTI, C.¹

¹Laboratório de Oceanografia Costeira / Universidade Federal de Santa Catarina;

²Programa de Pós-Graduação em Geografia / Universidade Federal de Santa Catarina

fmrudorff@yahoo.com.br

ABSTRACT

Rudorff, F.M.; Bonetti, J.; Peixoto, J.R.V.; de Oliveira, U.R. & Bonetti, C. 2005. Sectorization of the Conceição Lagoon's southern sector. *Braz. J. Aquat. Sci. Technol.* 9(2):49-56. ISSN 1808-7035. The aim of this work is to propose a regionalization of southern Conceição Lagoon subsystem, located at the Santa Catarina Island - SC, based on its grain size, compositional and physiographic characteristics. The subsystem is part of a choked lagoon, being connected to the remaining lagunar body by a narrow 3.5 m deep channel on its northern portion. It is surrounded by granitic rocks at west and by quaternary sedimentary deposits at east, north and south. Sediment samples were sampled at 16 regularly distributed points and were processed to determinate biodebitric carbonate, organic carbon content and conventional grain size parameters. Continuous surfaces of the variables were obtained through kriging interpolation. A bathymetric map resulted from the interpolation of 2.464 depth points digitalized from charts at the scale of 1:2.000 m. Individual sectors were identified based on data integration and spatial analysis of sedimentologic and bathymetric parameters. The integration of the variables through cluster analysis yielded the regionalization of the subsystem, were three depositional environments were defined: a predominantly sandy, a sand-muddy and a muddy environment. Besides these three, a fourth transitional environment situated between the banks and deeper areas was recognized. The muddy environment was subdivided in three distinct sub environments: deep muddy, sheltered muddy and organic muddy. Their limits were set through the analysis of the spatial behavior of sediment descriptors and bathymetry. From the results it is possible to conclude that the spatial and cluster analysis of morpo-sedimentological descriptors was efficient on the regionalization of the environment in study, even considering the small number of sediment samples.

Keywords: lagoons; sedimentation; bathymetry, regionalization

INTRODUÇÃO

O entendimento da estrutura e dos processos atuantes nos sistemas ambientais costeiros é de fundamental importância para se utilizar os recursos disponíveis de forma racional e responsável. Todavia, estudos ambientais geralmente são caros, longos e a variabilidade e complexidade dos dados limitam a aplicação de métodos de análise tradicionais.

Desta forma, o uso de descritores ambientais e de técnicas de análise geoestatística e de estatística multivariada, visando a identificação de unidades com funcionalidade semelhante (setorização), podem ser boas alternativas em estudos ambientais. Sua principal vantagem reside na otimização da interpretação dos dados disponíveis, que podem apresentar menor densidade amostral que os necessários para avaliações de caráter qualitativo.

Uma das bases para a aplicação eficiente desta abordagem é a correta identificação dos descritores ambientais que serão utilizados. Nesta pesquisa, são considerados descritores as propriedades que melhor representam a variabilidade de um ambiente natural,

podendo ser empregados como referência para a classificação final de pontos amostrais.

A geoestatística é composta por diferentes métodos para a análise e estimativa de dados correlacionados no tempo ou no espaço (Einox & Sold, 1999). Segundo esses autores, métodos de geoestatística univariada podem ser aplicados quando existe uma estrutura espacial clara do parâmetro ambiental ou se o planejamento amostral foi bem organizado para detectar tal estrutura. Atendendo estas condições, dados regularmente espaçados são estimados e criados a partir de dados irregularmente espaçados. A estatística multivariada engloba diversas técnicas que permitem examinar relações entre diversas variáveis e similaridades dentro de um conjunto de dados de forma integrada. Técnicas como a análise de agrupamento podem auxiliar na setorização de ambientes costeiros com base em diferentes descritores.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo propor uma setorização do substrato lagunar do subsistema sul da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina-SC, com base na integração de dados e análise espacial de parâmetros sedimentológicos e batimétricos.

Caracterização da área de estudo

A Lagoa da Conceição situa-se na porção leste da Ilha de Santa Catarina, localizada no litoral central do Estado de Santa Catarina (Fig. 1). Constitui uma laguna do tipo estrangulada de acordo com a classificação proposta por Kjerfve (1986), estando conectada de forma restrita ao oceano adjacente por um canal com 2,8 km de extensão. Ela possui área total aproximada de 19,2 km², extensão de 13,5 km no sentido norte-sul, e largura variável entre 0,15 e 2,5 km (Muehe & Caruso Jr., 1989).

A Lagoa da Conceição teve sua formação a partir da construção de barreiras de idades pleistocênica e holocênica durante eventos transgressivos e regressivos que isolaram o corpo lagunar. Na atual configuração, esta laguna é margeada a oeste por rochas graníticas, alongadas na direção norte-sul, com encostas íngremes e praias pouco desenvolvidas, enquanto que em suas margens norte, leste e sul a presença das barreiras arenosas faz com que se desenvolvam feições sedimentares, bancos extensos e praias de baixa declividade e sedimentos bem selecionados (Muehe & Caruso Jr., 1989; Caruso Jr., 1993, Porto Filho, 1993).

A área teste escolhida para o presente estudo corresponde ao subsistema sul da Lagoa da Conceição. Este subsistema é bastante confinado e se comunica com o restante do corpo lagunar, na porção norte, através de um estreito canal com cerca de 3,5 m de profundidade e apenas 8,5 m de comprimento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Atividades de campo

No dia 12 de setembro de 2003 foi realizada uma saída de campo no subsistema sul da Lagoa da Conceição onde foram coletadas 16 amostras de sedimento com auxílio de um amostrador de mandíbula tipo Van-veen. As estações de coleta foram regularmente distribuídas, com espaçamento de aproximadamente 500 m entre si (Fig. 2). Em cada ponto foram obtidas a posição geográfica com um GPS Garmin de 12 canais e a profundidade, para controle, com uma ecossonda portátil Speedtech. Cada amostra foi dividida em duas frações, sendo uma destinada a análise de carbonato e matéria orgânica total e outra para determinação granulométrica. No momento da coleta foram descritas algumas características do sedimento tais como cor, cheiro e textura.

Atividades de laboratório

Batimetria

Para este estudo foram utilizadas oito cartas batimétricas em escala 1:2.000, georreferenciadas ao Datum SAD-69, cobrindo toda a porção do subsistema sul da Lagoa da Conceição. O levantamento batimétrico foi realizado em 2002 pela empresa Aeroconsult, a serviço do Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF).

Nesse levantamento foi utilizado um ecobatímetro da marca ODOM, modelo SDH-13A, que mede profun-

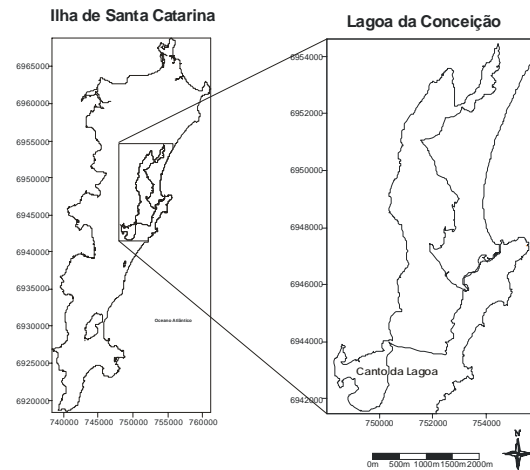


Figura 1 - Localização da área de estudo.

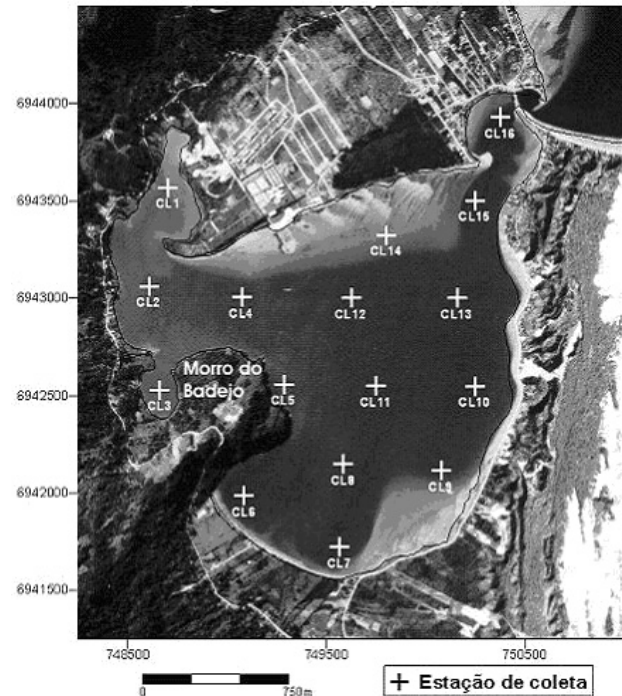


Figura 2 - Localização das estações de coleta.

didades a partir de 0,5 m. Para o posicionamento planimétrico foram utilizados receptores GPS marca TRIMBLE, recebendo correções diferenciais (DGPS). As posições foram coletadas em tempo instantâneo com o registro das profundidades a cada 20 a 30 centímetros percorridos na seção. Após edição dos dados, foram mantidos pontos com aproximadamente 5 m de equidistância. As cotas batimétricas foram corrigidas para a variação da maré, que foi determinada a partir de três réguas implantadas na lagoa.

As cartas, obtidas em papel, foram escaneadas e georreferenciadas utilizando o aplicativo Image Warp do *software* ArcView 3.2. Foram utilizados oito a dez pontos de controle distribuídos regularmente em cada carta. O RMS máximo permitido foi de 0.5 m em X e 0.5 m em Y. Para a transformação geométrica foi aplicado um modelo de transformação polinomial de primeiro grau.

A digitalização dos 2.464 pontos batimétricos também foi realizada no ArcView 3.2, enquanto que a interpolação dos dados foi conduzida no *software* SURFER 8, tendo-se adotado o método geoestatístico de Krigagem na geração das superfícies contínuas. As superfícies contínuas foram construídas de acordo com a metodologia proposta por Bonetti Filho *et al.* (1998).

Sedimentologia

Primeiramente as amostras foram lavadas com água destilada até que a concentração de sal na água fosse inferior a 5 ‰. Depois de secas em estufa e maceradas, as amostras foram separadas em alíquotas de 30g.

Para a determinação de Matéria Orgânica Total (MOT) as amostras foram inicialmente pesadas, obtendo-se o Peso Inicial (PI). A eliminação da matéria orgânica foi feita através da oxidação com solução de H₂O₂ a 10% inicialmente e a 30% na fase final da reação (adaptado de Gross, 1971). Após o término do borbulhamento, as amostras foram secas e pesadas para a obtenção do Peso Final (PF). A MOT foi determinada pela seguinte equação:

$$MOT = PI - PF$$

A determinação do carbonato biodetrítico (CB, do qual o CaCO₃ é o principal constituinte) foi feita através do ataque com ácido clorídrico (a concentração de 10%), conforme Gross (1971). Os teores foram quantificados a partir da diferença entre o PI da amostra e seu peso após a eliminação do material carbonático (PF):

$$CB = PI - PF$$

As análises granulométricas dos sedimentos arenosos e lamosos foram feitas pelo método de peneiramento e pipetagem, respectivamente, segundo a metodologia descrita por Suguio (1973) e modificada por Coimbra *et al.* (1991). Para o peneiramento dos sedimentos arenosos foram utilizados um agitador mecânico e peneiras com malhas em intervalos regulares de 1 em 1 phi. No caso da pipetagem dos sedimentos lamosos adotou-se a amostragem em cinco tempos diferentes de decantação, correspondendo à determinação das classes de silte grosso, silte médio, silte fino, silte muito fino e argilas.

A classe granulométrica segundo escala de Wentworth (1922), a classificação textural segundo Shepard (1954), os parâmetros estatísticos e a classificação de Folk & Ward (1957) foram determinados através do *software* Pancon (Toldo & Medeiros, 1986).

Análise espacial e integração dos dados

Da mesma forma que a batimetria, os parâmetros sedimentológicos também foram interpolados por Krigagem utilizando-se o *software* Surfer 8.

As análises de agrupamento foram realizadas no *software* MVSP. A matriz de associação foi criada utilizando-se as seguintes variáveis previamente normalizadas: tamanho médio do grão, grau de seleção, assimetria, porcentagem de matéria orgânica, porcentagem de carbonato biodetrítico e porcentagem de areia. Como medida de comparação entre as estações (Modo Q) utilizou-se o Coeficiente de Distância Euclidiana. A estratégia de agrupamento que melhor representou os sub-grupos foi a WPGMA. A proposta de setorização final foi elaborada com base nos resultados obtidos através da análise de agrupamento apoiada na interpolação dos parâmetros sedimentológicos e batimétricos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Batimetria

A batimetria do subsistema sul da Lagoa da Conceição, obtida a partir do modelo digital, está representada na Figura 3. A partir desta figura foi possível delimitar dois grandes bancos e margens com profundidades inferiores a 2 m, sendo um a noroeste e outro na porção sudeste. Outras duas áreas rasas correspondem às partes mais abrigadas, situadas a oeste do subsistema, com profundidades inferiores a 3 m. As áreas com profundidades que variaram entre de 4 a 6 m correspondem ao canal de circulação, à área central e às áreas próximas às margens leste do subsistema e do Morro do Badejo.

Sedimentologia

Na Figura 4 está representada a distribuição do tamanho médio do grão ao longo da área de estudo. No banco situado a sudeste predominam areias médias e finas, enquanto que no banco situado a norte predominam areias muito finas. Na área de entorno do Morro do Badejo, a oeste, predomina a classe silte médio.

A distribuição do grau de seleção pode ser observada na Figura 5. Nos bancos as amostras variaram de bem selecionadas a moderadamente bem selecionadas. Sedimentos muito pobremente selecionados ocorreram próximo ao canal de ligação com o restante do sistema lagunar e na porção centro-sul do subsistema.

Na Figura 6 estão representadas as porcentagens de areia, silte e argila. No mapa da porcentagem de argila pode-se observar que esta teve uma participação limitada ao canal e às áreas profundas próximas ao banco norte. As areias, por seu turno, tiveram participação expressiva nos bancos rasos, enquanto que o silte predominou na porção oeste do subsistema.

Nas Figuras 7 e 8 são apresentados os mapas de distribuição de carbonato biodetrítico e de matéria orgânica. Ambos apresentaram distribuição espacial semelhante, com maiores teores nas áreas abrigadas e mais fundas e menores nos bancos.

Na Lagoa dos Patos, Toldo Jr. *et al.* (1995) relacionaram o piso silteoso/argiloso daquela laguna ao predomínio de sedimentação lamosa holocênica, sendo constituído basicamente por sedimentos clásticos de origem continental e, secundariamente, por sedimentos orgânicos. Tais depósitos também estão associados a maiores profundidades, enquanto que os fundos

arenosos e rasos desenvolvem-se nas margens, estando relacionados à formação de barreiras de origem marinha. Acredita-se que mecanismos semelhantes de sedimentação estejam atuando na Lagoa da Conceição.

Descritores sedimentológicos versus batimetria

Comparando-se os resultados da interpolação dos parâmetros sedimentológicos com o modelo digital de batimetria obtido, observa-se que não houve um bom ajuste entre a distribuição espacial destes parâmetros. Isto se deve ao baixo número de amostras sedimentares e à estratégia amostral adotada, na forma de grade regular.

Segundo Hedger *et al.* (2001), quando existe uma grande proporção de variância espacialmente dependente ou quando a intenção é usar um grande número de amostras, considerando-se a escala de distribuição espacial, a amostragem sistemática usando métodos geoestatísticos deve proporcionar melhores resultados do que amostragens aleatórias. Como a estratégia adotada neste trabalho foi a de amostragem com distribuição regular, provavelmente a malha foi subdimensionada, não sendo representativa em relação à variabilidade populacional condicionada pelo relevo de fundo.

Análise de agrupamento e setorização

A partir do dendrograma obtido destacam-se dois níveis de agrupamento de acordo o nível de corte escolhido. Se o corte for estabelecido em 0 (C1) pode-se diferenciar as amostras lamosas das arenosas, obtendo-se apenas dois grupos (Figura 9). Aplicando o corte em 0,65 (C2), as amostras lamosas são divididas em

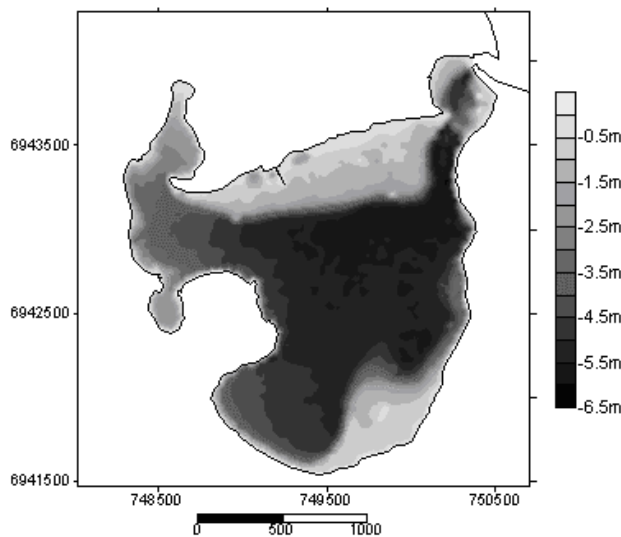


Figura 3 - Batimetria do subsistema sul da Lagoa da Conceição.

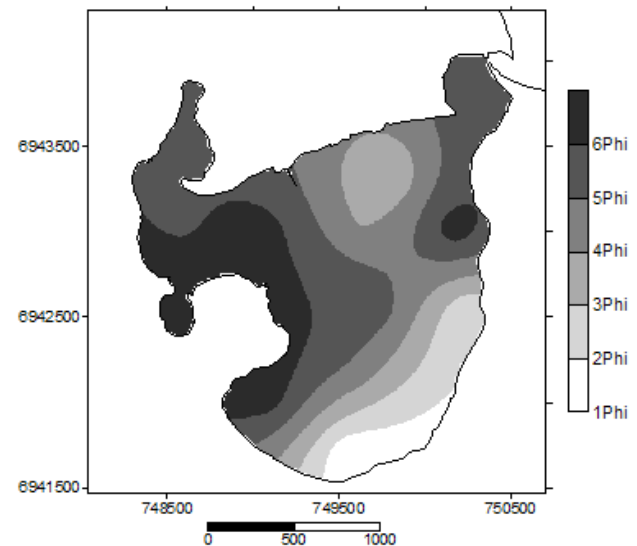


Figura 4 - Distribuição do tamanho médio do grão (em unidade de phi) no subsistema sul da Lagoa da Conceição.

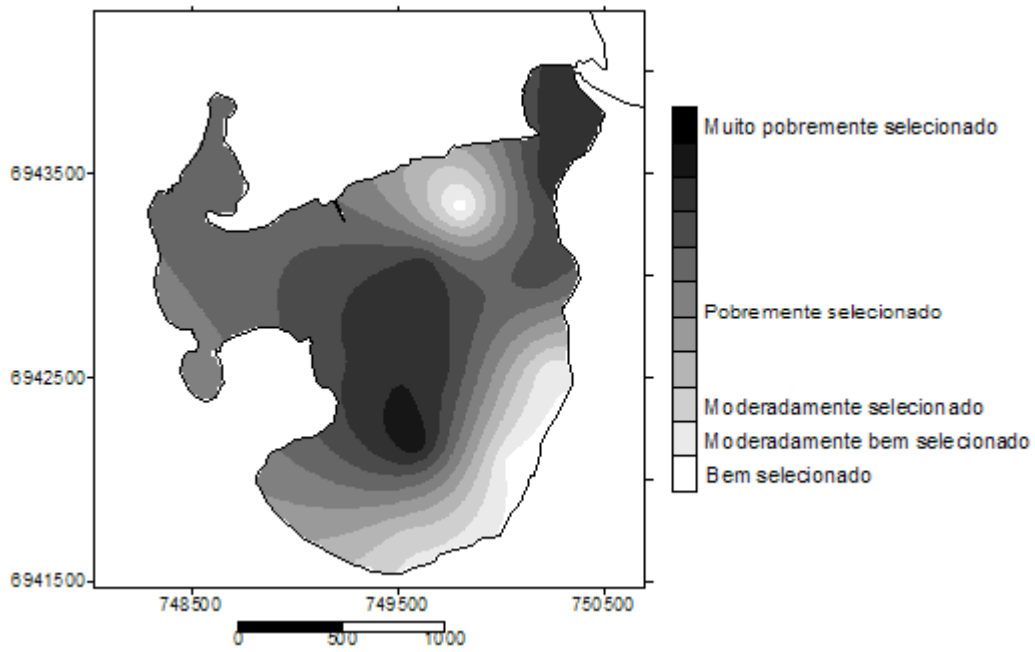


Figura 5 - Distribuição do grau de seleção no subsistema sul da Lagoa da Conceição.

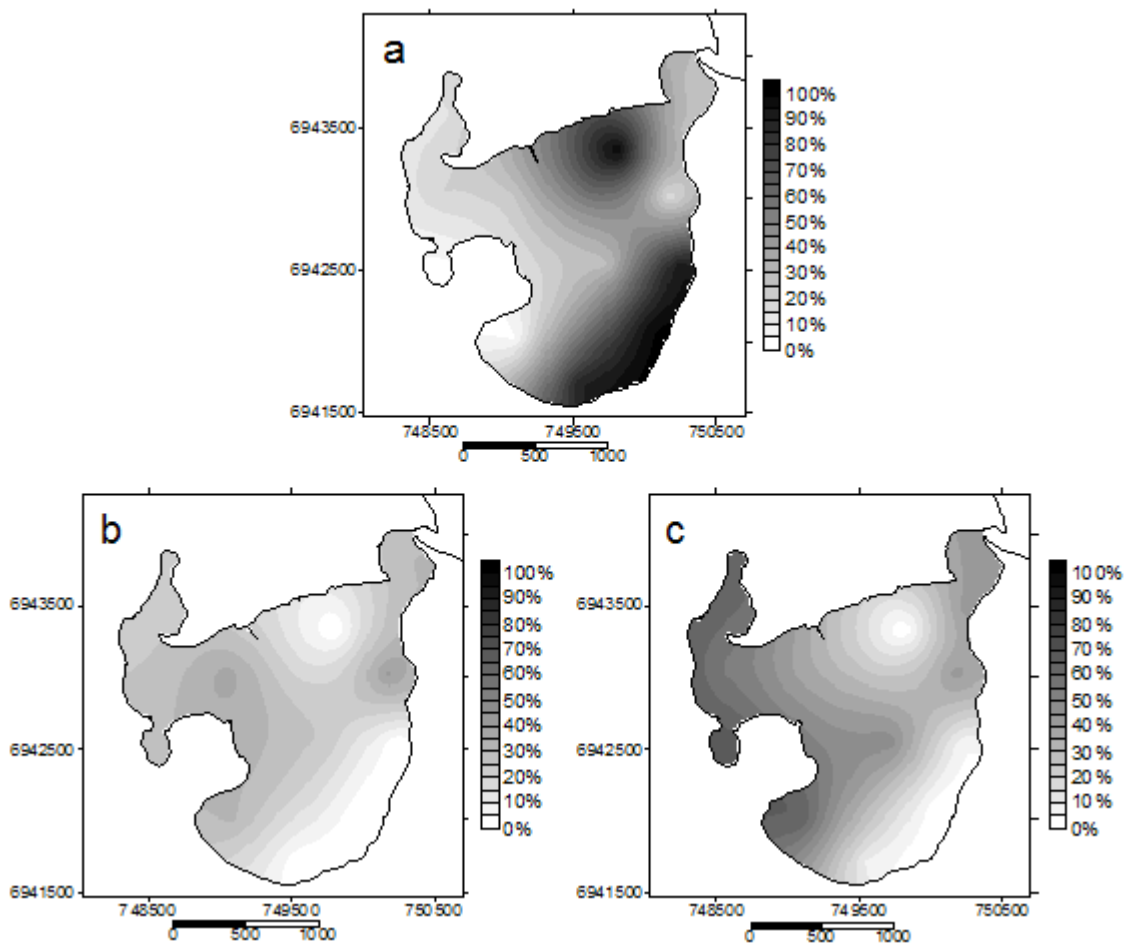


Figura 6 - Porcentagens de areia (a), argila (b) e silte (c).

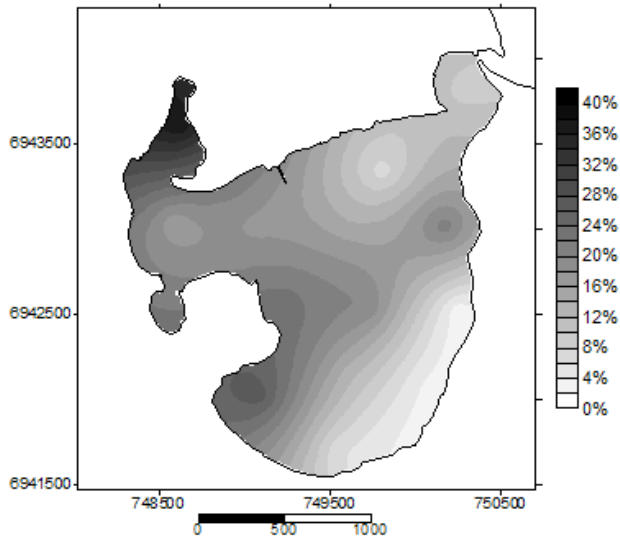


Figura 7 - Distribuição do teor de carbonato biodetrítico no subsistema sul da Lagoa da Conceição.

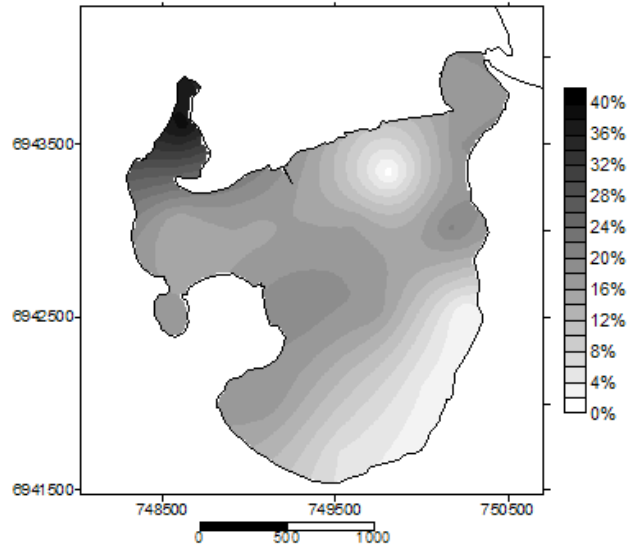


Figura 8 - Distribuição do teor de matéria orgânica no subsistema sul da Lagoa da Conceição.

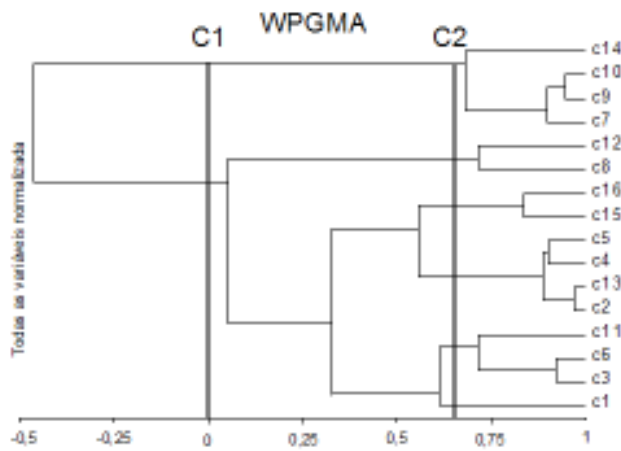


Figura 9 – Dendrograma representativo da análise de agrupamento das variáveis sedimentológicas.

três grupos e dois grupos intermediários são identificados.

Com base nos grupos estatísticos, mapas de superfícies contínuas e na batimetria obtidos pôde-se setorizar este subsistema (Fig. 10), a partir de dois grandes ambientes deposicionais: um predominantemente arenoso e outro predominantemente lamoso. Outro grupo, lamo-arenoso, também pode ser individualizado. O agrupamento das estações localizada no limite entre os bancos e as áreas profundas identificou um quarto grupo, transicional, caracterizado pelo baixo grau de seleção dos depósitos.

O ambiente arenoso é caracterizado por bancos rasos, com profundidades inferiores a 2 m, com maior

expressão próximo às margens noroeste e sudeste do subsistema e submetido a uma condição de maior hidrodinâmica devido à ação eólica. O ambiente lamo-arenoso diferenciou-se pelo baixo grau de seleção devido à maior presença de argila, estando associado ao canal principal de circulação a norte. O ambiente lamoso, por sua vez, pode ser subdividido em três subambientes distintos: lamoso profundo, silto-argiloso, corresponde a uma área mais profunda (4 a 6 m) estendendo da porção central do subsistema até o Morro do Badejo a oeste e até o canal principal de circulação a leste; lamoso abrigado, siltoso, situado próximo ao complexo cristalino na margem sudoeste apresenta maiores teores de carbonato biodetrítico e possui profundidades inferiores a 3 m; e lamoso orgânico, ainda mais rico em carbonatos e com importante participação de matéria orgânica, restringe-se à área de menor circulação e maior influência antrópica do subsistema.

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Embora de forma geral os resultados obtidos a partir da integração e interpolação dos parâmetros sedimentológicos sejam concordantes com os apresentados por Porto Filho (1993) e Gré & Horn Filho (1999), tendo permitindo a separação de duas áreas de sedimentação distintas (bancos arenosos e bacias lamosas), a estratégia amostral adotada não permitiu uma representação bem ajustada da estrutura espacial das propriedades analisadas levando-se em consideração a batimetria.

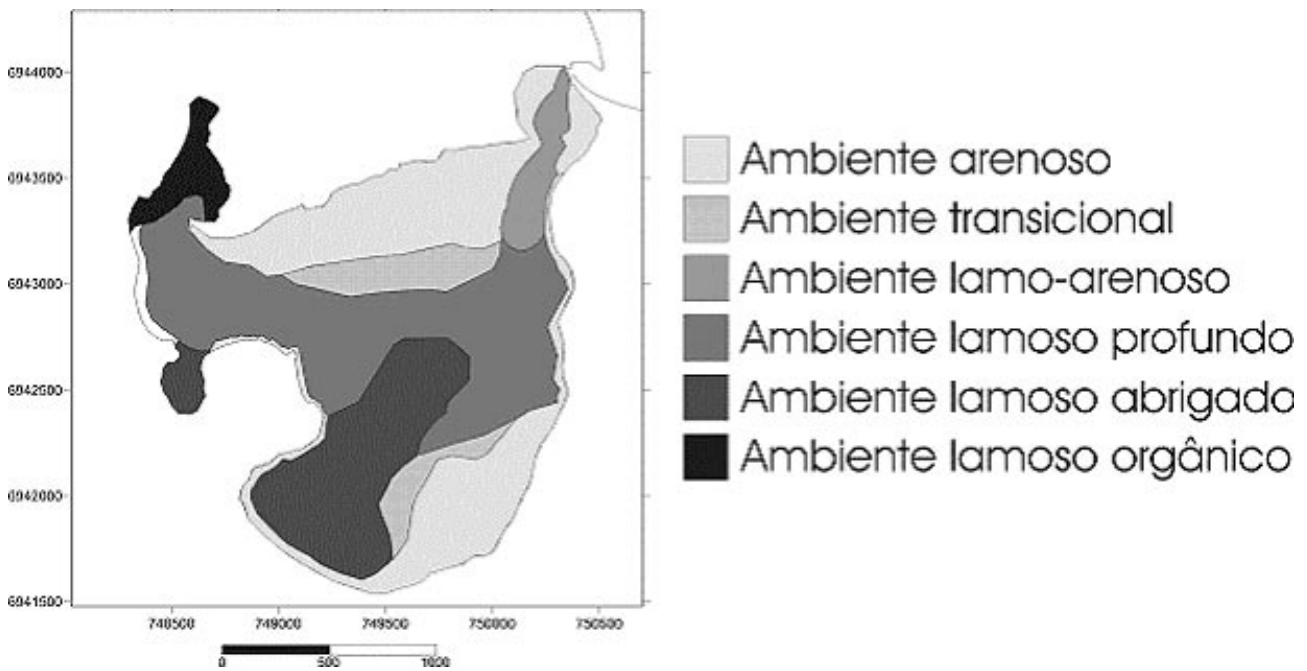


Figura 10 - Setorização do substrato do subsistema sul da Lagoa da Conceição.

Assim sendo, sugere-se como continuidade deste estudo uma amostragem complementar, adotando-se uma estratégia de amostragem estratificada, com maior densidade amostral ao longo das áreas de maior variabilidade espacial, como nos bancos, e amostragem regular na porção central. Acredita-se que a partir deste tipo de malha amostral mista deverá se obter uma boa correlação dos parâmetros sedimentológicos com a profundidade. Neste caso, será possível utilizar técnicas de interpolação dos parâmetros sedimentológicos que levem em consideração a variação da profundidade como *soft data*, como a co-krigagem.

Não obstante, a análise de agrupamento dos descritores morfo-sedimentológicos demonstrou que a setorização deste ambiente costeiro abrigado pode ser obtida eficientemente a partir de um número restrito de amostras com apoio qualitativo de dados complementares.

REFERÊNCIAS

Bonetti Filho, J.; Nunes, M.G., Oliveira, M.S.C. & Gré, J.C.R. 1998. Caracterização do relevo submerso da Baía Norte – SC com base na aplicação de um Modelo Digital de Terreno. *Revista GEOSUL*, (14)27: 211-217.

Caruso Jr. F. 1993. Mapa geológico da ilha de Santa Catarina – Escala 1: 100.000. Texto explicativo e Mapa. *Notas Técnicas*, 6:1-28.

Coimbra, A.M.; Góes, A.M.; Yamasoto, J.K. 1991. Análise Granulométrica de Sedimentos. In: *Apontamentos de Sedimentologia*, Instituto de Geociências - USP, São Paulo.

Einox, J.W. & Soldt, U. 1999. Geostatistical and multivariate statistical methods for the assessment of polluted soils – merits and limitations. *Chernometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 46: 79-91.

Folk, R.L. & Ward, W.C. 1957. Brazos River Bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27: 3-7.

Gré, J.C.R. & Horn Filho, N.O. 1999. Caracterização Textural dos Sedimentos de Fundo da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil, p. 25-34. In: Sierra de Ledo, B. & Soriano-Serra, E. J. [Eds.], *O Ecossistema da Lagoa da Conceição*, NEMAR-CCB-UFSC/SDM-FEPEMA, Florianópolis.

Gross, M.G. 1971. Carbon Determination, p. 573-596. In: Carver, R. E. [Eds.], *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley Interscience, New York.

Hedger, R.D.; Atkinson, P.M. & Malthus, T.J. 2001. Optimizing sampling strategies for estimating mean water quality in lakes using geostatistical techniques with remote sensing. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 6:279-288.

Kjerfve, B. 1986. Comparative oceanography of coastal lagoons, p. 63-81. In: Wolfe, D.A. [Eds.], *Estuarine variability*. Academic Press, New York.

Muehe, D. & Caruso Jr., F. 1989. Batimetria e algumas considerações sobre a evolução geológica da La-

- goa da Conceição, Ilha de Santa Catarina, p. 15-24. In: Sierra de Ledo, B., Soriano-Serra, E. J. [Eds.], O Ecossistema da Lagoa da Conceição, NEMAR-CCB-UFSC / SDM-FEPEMA. Florianópolis.
- Porto Filho, E. 1993. Sedimentometria e algumas considerações sobre a biogeoquímica dos sedimentos de fundo da Lagoa da Conceição, Ilha de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Shepard, F.P. 1954. Nomenclature based on silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Petrology*, 9: 62-76.
- Suguio, K. 1973. Introdução a Sedimentologia. Edgar Blücher / EDUSP, São Paulo, 317 p.
- Toldo Jr. E.E. & Medeiros R.K. 1986. Programa Interpola em linguagem basic para análise estatística e propriedades texturais de amostras sedimentares em computador. *Pesquisas*, 18:91-100.
- Toldo Jr., E.E.; Almeida, L.E.S.B.; Corrêa, I.C.S. & Martins, L.R.S. 1995. Processos erosivos e deposicionais holocenic no Sistema Lagunar da Lagoa dos Patos, Brasil. In: VI Congresso Latinoamericano de Ciências del Mar. Anais, v. 1. UNMDP, Mar del Plata, p. 743.
- Wentworth, C.R. 1922. A scale of grade and class terms of clastic sediments. *Journal of Geology*, 3: 377-392.

Submetido: Outubro/2004
Revisado: Fevereiro/2005
Aceito: Agosto/2005