

**CARACTERIZAÇÃO MORFOSEDIMENTAR E SETORIZAÇÃO DO
COMPLEXO ESTUARINO DA BAÍA DA BABITONGA/SC**
*MORPHOSEDIMENTARY CHARACTERIZATION AND ZONING OF
BABITONGA BAY ESTUARINE COMPLEX, SANTA CATARINA STATE*

Celso Vãos Vieira¹
Norberto Olmiro Horn Filho²
Carla Van Der Haagen Custódio Bonetti³
Jarbas Bonetti⁴

RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivo analisar a distribuição espacial dos sedimentos de fundo do complexo estuarino da baía da Babitonga, situado no nordeste do Estado de Santa Catarina, através de técnicas estatísticas multivariadas. Foram utilizadas duas técnicas de estatística multivariada: a análise de agrupamento (Cluster) e a análise de componentes principais (PCA) para 140 pontos de coleta de sedimentos, contendo oito variáveis, o que resulta em total de 1.120 casos analisados. A análise de agrupamento indicou a presença de três ambientes distintos de sedimentação no interior da baía. Através da análise de componentes principais, foi possível explicar 88,79 % da variância da nuvem de pontos de coleta e identificar as principais variáveis no agrupamento dos pontos. Desta maneira foi possível reconhecer, no complexo estuarino da baía da Babitonga, três grandes ambientes deposicionais, com dois ambientes contrastantes.

Palavras-chave: Baía da Babitonga; Sedimentologia; Estatística multivariada.

1 Geógrafo do CCD/SIG da Universidade da Região de Joinville e professor do Curso de Geografia, Engenharia Ambiental e Biologia Marinha. Coordenador do Núcleo de Geoprocessamento da Prefeitura Municipal de Joinville.

2 Professor da UFSC – Departamento de Geociências e Programa de Pós-graduação em Geografia. Doutor em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

3 Professora Adjunta da UFSC. Pós-Doutora (IFREMER – França).

4 Doutor em Geografia Física (USP). Professor Adjunto da UFSC e Coordenador do Laboratório de Oceanografia Costeira.

EXTENDED ABSTRACT

This research aims at analyzing the spatial distribution of Babitonga Bay bottom sediments (Santa Catarina State, southern Brazil) through multivariate statistical analysis. Two techniques were applied to characterize 140 samples of sediments: Cluster Analysis and Principal Component Analysis (PCA). Each sample was represented by eight variables, resulting in a total of 1120 cases. The cluster analysis allowed the distinction of sedimentation environments inside the bay. Through PCA it was possible to explain 88,79 % of the variance of the sampled points in the first component and to identify the most important variables for the proposed zonation. The results indicated three large environments in Babitonga Bay estuarine complex. The first one was identified as marine influence and was composed by well selected sands with high biodebitric carbonate concentrations, and is mainly located close to bay's inlets. The second group was recognized as an estuarine environment and was composed by fine and poorly sorted sediments with a high percentage of organic matter. This group was situated mainly in the inner areas of the bay. The third environment represented a transitional zone between the areas of marine and estuarine influence.

Keywords: Babitonga Bay; Sedimentology; Mutivariate Statistics.

INTRODUÇÃO

Ao longo da colonização da região nordeste de Santa Catarina, a baía da Babitonga foi alvo de inúmeros impactos advindos da antropização dos ambientes adjacentes. Atualmente, a intensa urbanização dos municípios que circundam o complexo estuarino, bem como a alta concentração de parques fabris dos setores metal-mecânico, têm propiciado a depreciação e a alteração dos corpos aquosos da região.

Aliado ao fator de expansão das áreas urbanas e ao desconhecimento dos problemas ambientais, a construção do aterro da BR-280 promoveu o fechamento do Canal do Linguado (na década de 30) e a interrupção hidrodinâmica estabelecida no interior da baía da Babitonga. Estas mudanças causaram alterações nos processos de sedimentação internos e externos a este sistema. Na localidade da Barra Lagoa na baía da Babitonga, situada no município de Balneário Barra do Sul, houve um incremento na taxa de deposição marginal após o fechamento do canal do Linguado, o que tem levado à expansão da área urbanizada sobre os sedimentos inconsolidados depositados recentemente. Internamente, a baía da Babitonga possui problemas de alteração dos canais preferenciais de circulação e de colmatagem, devido à crescente carga de sedimentos e poluentes domésticos e industriais carreados para o interior do complexo estuarino.

Como grande parte da contaminação causada por compostos orgânicos e inorgânicos está associada aos sedimentos menores que 63 μm (Laybauer & Bidone 2001), as partículas lamosas ricas em matéria orgânica são responsáveis pelo aporte e retenção

de uma parcela significativa de poluentes. Assim, para compreender a extensão do impacto e propor soluções aos problemas decorrentes de alterações nos processos de sedimentação da zona costeira, tornam-se necessários estudos mais aprofundados da sedimentologia e dinâmica dos ambientes costeiros e marinhos, principalmente das baías e dos complexos estuarinos, ainda pouco entendidos em escala detalhada na costa catarinense.

O presente trabalho tem como objetivo analisar o padrão de distribuição espacial dos sedimentos de fundo e identificar os setores de deposição preferencial na baía da Babitonga, bem como caracterizar subambientes sedimentologicamente distintos através de técnicas estatísticas multivariadas.

ÁREA DE PESQUISA

O complexo estuarino da baía da Babitonga localiza-se entre as latitudes 26° 07' e 26° 27' sul, caracterizando-se por ser o maior complexo estuarino do Estado de Santa Catarina e por preservar a maior área de manguezal do território catarinense. A bacia hidrográfica da baía da Babitonga, com uma superfície de 1.567 km², drena terrenos de cinco municípios que circundam a baía: Garuva, Joinville, São Francisco do Sul, Araquari e Balneário Barra do Sul (Figura 1).

O clima é caracterizado como super-úmido, de acordo com a classificação de Thornthwaite (Gaplan 1986), e a precipitação média anual varia em torno de 2265 mm (Gonçalves *et al.* 2006), sendo que a direção dos ventos dominantes é principalmente de nordeste

e de leste.

O litoral norte do estado de Santa Catarina, mais especificamente o porto do município de São Francisco do Sul, encontra-se sob domínio de regime de micromarés (amplitude máxima inferior a 2m), semidiurno, com altura média de 0,84 m e máxima de 1,9 m, durante os

períodos de sizígia (DHN 2007). O complexo estuarino da baía da Babitonga é caracterizado pela dominância de maré enchente com amplificação da altura da maré (hipersíncrona) nas áreas mais interiores (Truccolo & Schettini 1999), causada principalmente por efeitos de fricção e estreitamento do canal principal.

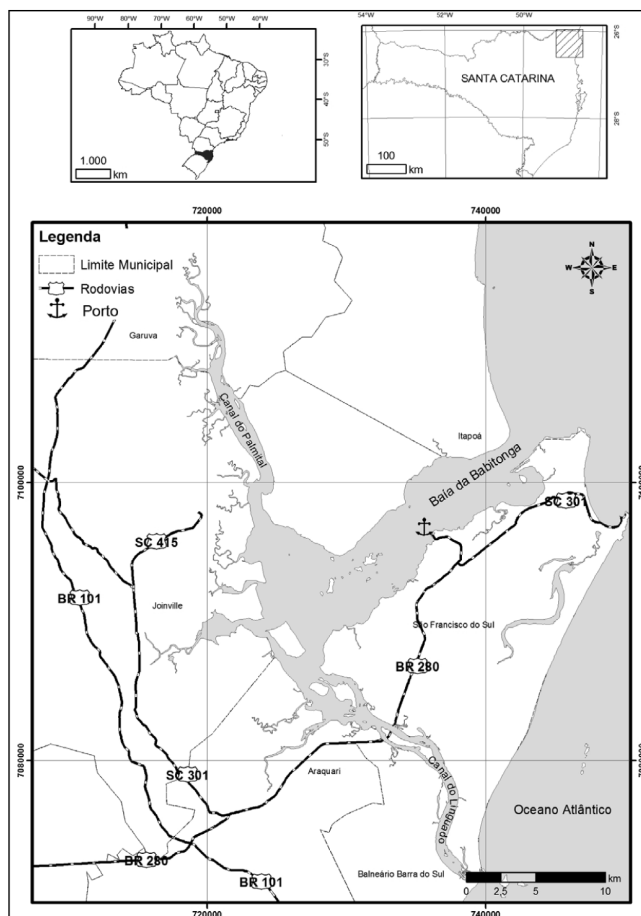


FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO LITORAL SETENTRIONAL DO ESTADO DE SANTA CATARINA

O arcabouço geológico que sustenta os morros e serras do norte catarinense é formado em grande parte por rochas metamórficas (gnaisses, migmatitos, xistos, quartzitos), diversos tipos de granitos e sequências vulcânicas e metassedimentares de metamorfismo muito brando (Horn Filho & Diehl 1994).

Quanto à geomorfologia, a área de estudo encontra-se inserida no “setor setentrional” (Diehl & Horn Filho 1996) do litoral catarinense. As principais feições litorâneas encontradas são terraços, dunas, esporões, penínsulas, enseadas, baías, planícies de maré, planície de cordões regressivos, pontais, lagoas e lagunas, praias e ilhas.

Morfologicamente, a baía da Babitonga possui um canal principal na direção NE/SW, com aproximadamente 3,8 km de largura e profundidades de até 28 m, assim como dois eixos alongados no sentido SE/NW, mais estreitos, com largura máxima de 1,5 km e profundidade média de 4 m. O eixo ao norte, denominado Canal do Palmital, diferencia-se das demais áreas por receber as maiores contribuições hidrológicas, oriundas das bacias hidrográficas da escarpa da serra do Mar. O Canal do Palmital pode ser caracterizado como um exportador de sedimentos para o interior da baía da Babitonga (Schettini & Carvalho 1999). O eixo localizado ao sul, conhecido como Canal do Linguado, apresenta

como principal característica a alteração da circulação hidrológica, por ocasião do fechamento do canal em 1937, para a construção da rodovia de acesso à ilha de São Francisco do Sul (Barbosa & Mazzer 2003), fato que promoveu intensa sedimentação no interior do Canal do Linguado.

Entre as atividades econômicas sustentadas por este sistema costeiro, destacam-se as atividades portuárias, a pesca e o cultivo de organismos marinhos, principalmente a ostreicultura (Tureck *et al.* 2004). Esta última atualmente possui quatro áreas delimitadas pelo Ministério do Meio Ambiente para esta finalidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi baseada na série de dados granulométricos brutos disponibilizada pelo projeto

“Estudos Ambientais em Áreas Oceânicas e Costeiras no Sul do País”, convênio Petrobras/Furg/UFGRS/UFSC/UFPR (1997). Estes dados foram adquiridos em três campanhas realizadas na baía da Babitonga entre 1995 e 1996, totalizando 137 amostras de sedimentos superficiais de fundo coletadas com o auxílio de amostrador do tipo *Van-Veen* e georreferenciadas com receptor GPS (Figura 2).

A planilha sedimentológica original contém as seguintes informações: número da coleta, data, coordenadas geográficas (GMS), profundidade (metros), porcentagem de cascalho, porcentagem de areia, porcentagem de silte, porcentagem de argila, porcentagem de carbonato, porcentagem de matéria orgânica total (MOT), classificação textural (Folk & Ward 1957), mediana (Md), tamanho médio (Mz), desvio padrão (Dp), assimetria (Ski), curtose (Kg) segundo (Folk & Ward 1957).

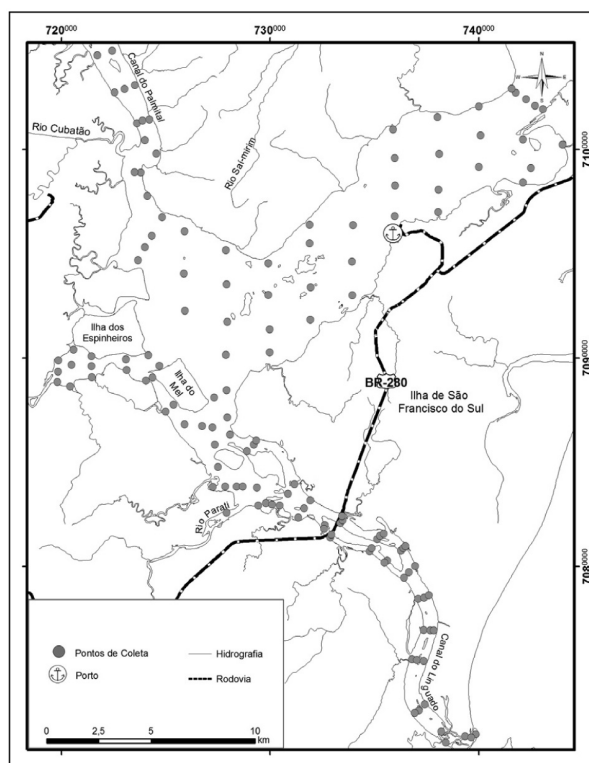


FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA DE SEDIMENTOS NA BAÍA NA BABITONGA

Este conjunto de dados foi tratado no software ArcGis 9.1, onde em parceria com o Centro de Cartografia Digital e Sistemas de Informações Geográficas (CCD-SIG) da Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE) foi elaborado um banco de dados georreferenciado das áreas emersas e submersas da região da baía da Babitonga. Os vetores referentes à linha de costa foram obtidos a partir da base topográfica digital em escala 1:50.000 das folhas Joinville, Araquari, Garuva e São Francisco do Sul, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), enquanto que a batimetria foi adquirida pelo georreferenciamento e digitalização das cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN).

O conjunto de dados foi analisado estatisticamente no software MVSP (*MultiVariate Statistical Package for Windows*) (Kovach 2005), sendo aplicadas duas técnicas estatísticas: a Análise de Componentes Principais (PCA – *Principal Components Analysis*) e a Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*). Para a realização destas análises, foram selecionadas as seguintes variáveis: porcentagem de argila, porcentagem de areia, tamanho médio (Mz), desvio padrão (Dp), assimetria (Ski), curtose (Kg), porcentagem em massa de carbonato e porcentagem em massa de matéria orgânica. Como estas variáveis possuem diferentes escalas de mensuração, não podendo ser diretamente comparadas, foi necessário recorrer à padronização das colunas, de modo que todas as variáveis passaram a ter média zero e variância unitária, o que é alcançado pela transformação dos dados em valores de “z” (Equação 1) (Landim 2000).

$$z = \frac{x - \bar{x}}{s} \quad \text{Equação 1}$$

Onde \bar{x} é a média da distribuição e s seu desvio padrão.

A Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*) tem como objetivo avaliar as similaridades entre indivíduos, ou amostras (modo Q), de modo a redefini-los em grupos. Segundo esse método, procura-se criar agrupamentos homogêneos de itens representados por pontos num espaço n dimensional em um número conveniente de grupos, relacionando-os através de coeficientes de similaridade ou de distância (Landim 2000).

De modo a agrupar os pontos de coleta de acordo com suas semelhanças sedimentológicas, os descritores selecionados foram analisados segundo o coeficiente do quadrado da distância euclidiana. A estratégia de agrupamento adotada foi a variância mínima, também

conhecida como método de Ward. A formação dos grupos amostrais, denominados como subambientes, está representada na forma de dendrograma, com um nível de corte estabelecido através do melhor ajuste espacial dos grupos na área de estudo.

A Análise de Componente Principais (PCA), por sua vez, visa o diagnóstico descritivo da estrutura do conjunto de dados e a ordenação dos descritores em gradientes dentro deste conjunto. A PCA estabelece, com base em uma matriz de semelhança, um conjunto de eixos perpendiculares. Desta maneira, a partir de uma matriz de correlação entre n variáveis, são calculados n eixos fatoriais com comprimento decrescente em razão da sua contribuição à variância total dos dados (Valentin 2000). O primeiro autovalor a ser determinado corresponderá à maior porcentagem da variabilidade total presente no conjunto de dados e assim sucessivamente. Geralmente, os dois ou três primeiros autovalores encontrados explicam a maior parte da variabilidade presente.

Na presente pesquisa, foram analisadas 137 amostras descritas por 12 variáveis sedimentológicas, além da profundidade de cada estação de coleta, o que resulta em um universo de 1781 casos a serem analisados. Com a utilização da PCA, o resultado é um sistema reduzido de coordenadas (eixos), o que proporciona melhor visualização das informações sobre as semelhanças sedimentológicas em um grupo de amostras.

A análise de PCA foi aplicada em paralelo com um método de agrupamento, conforme sugere Valentin (2000), sendo possível identificar a ordenação dos fatores (variáveis) que tiveram maior peso no agrupamento dos casos.

Após várias tentativas de ajuste de um modelo geoestatístico de interpolação dos dados, optou-se por interpolar os dados pelo método IDW (*Inverse Distance Weighted* – Inverso Ponderado da Distância), pois a morfologia da baía da Babitonga, composta por dois eixos principais alongados nas direções SE/NW e NE/SW, não permite bom ajuste da anisotropia, o que dificulta a representação espacial dos dados por outros métodos de interpolação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Batimetria

A figura 3 é uma ilustração da batimetria do complexo estuarino da baía da Babitonga, construída a partir dos dados digitalizados das cartas náuticas da DHN.

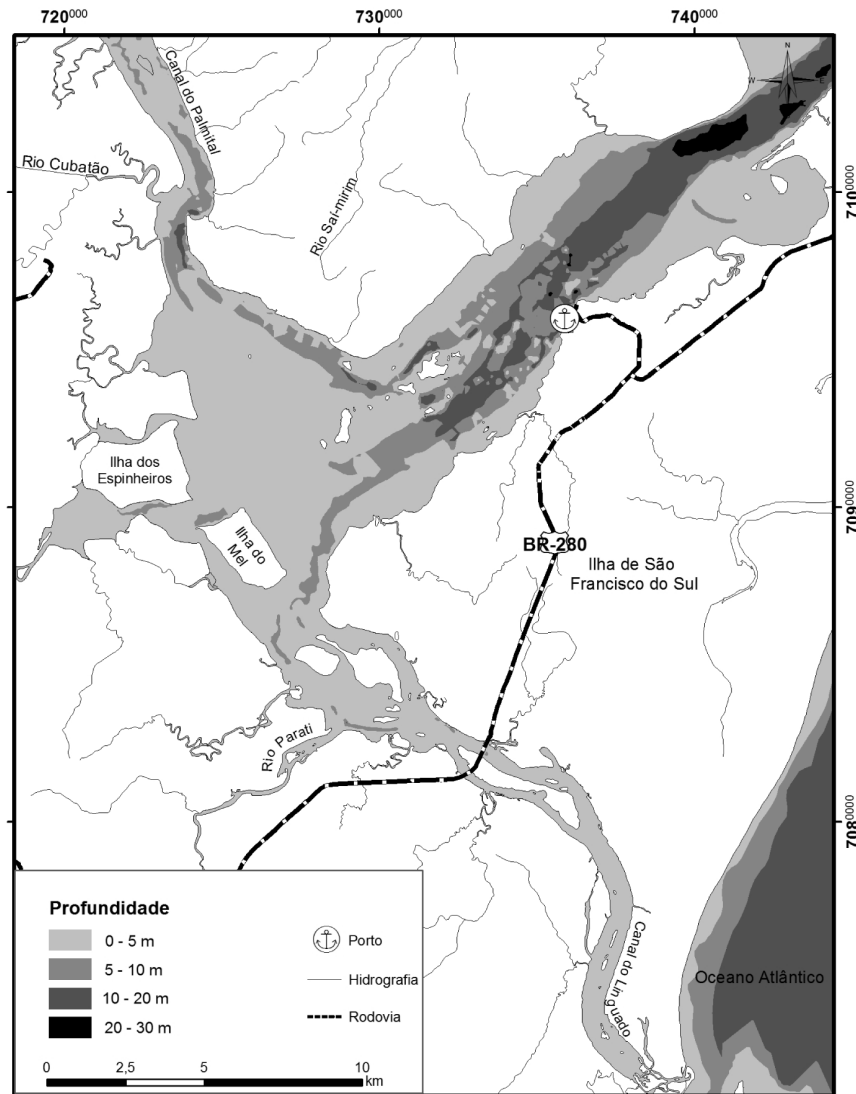


FIGURA 3 – MAPA BATIMÉTRICO DO COMPLEXO ESTUARINO DA BAÍA DA BABITONGA

Nota-se que as maiores profundidades do complexo estuarino estão localizadas no canal central próximo à desembocadura, com cotas entre 20 m e 30 m de profundidade. As cotas entre 10 m e 20 m ocorrem no setor central da baía, nas proximidades do porto de São Francisco do Sul. No interior da baía, ocorrem canais com profundidades entre 5 m e 10 m, que podem condicionar a formação de vias preferenciais de circulação e promover áreas de maior hidrodinâmica. Estes canais estão localizados principalmente próximos a margem nordeste do Canal do Palmital e no início do Canal do Linguado, em sua margem leste. As zonas com profundidades de até 5 m, caracterizadas como as áreas mais extensas da baía, localizam-se nas porções

marginais mais interiores. Nesta classe de profundidade, desenvolvem-se feições tipicamente estuarinas como baixios, coroas submersas e extensas planícies de marés. Não obstante, deve-se ressaltar que nesse padrão batimétrico há um importante condicionante antrópico, tendo em vista as sucessivas e periódicas dragagens realizadas, sobretudo na desembocadura e na área portuária.

A linha de costa do Canal do Palmital com direção predominante NW/SE, sofre inflexão para NE/SW nas imediações da foz do rio Cubatão do Norte, possivelmente devido à intensa deposição dos sedimentos carreados por este rio.

PARÂMETROS FÍSICOS DOS SEDIMENTOS DE FUNDO

A espacialização das características texturais dos sedimentos de fundo da baía da Babitonga (Figura 4) demonstra que os sedimentos presentes no complexo estuarino dividem-se em duas classes com características deposicionais distintas. Têm-se, assim, sedimentos mais grossos, classificados como areias, e mais finos, classificados como lamas (silte + argila), o que permite identificar ambientes distintos de sedimentação relacionados, principalmente, com a profundidade e com os padrões de circulação estabelecidos no interior do estuário.

Os sedimentos compostos por areias (mais de 75% desta fração granulométrica em massa) representam 37 % das amostras. As areias estão associadas às áreas de maior profundidade, e a maior granulometria pode estar associada a áreas de maior hidrodinâmica e/ou proximidade de fontes de material clástico do complexo estuarino. Nas duas conexões que a baía possui com o Oceano Atlântico, ocorre o visível predomínio da classe arenosa, assim como nas proximidades do conjunto de ilhas rochosas, no setor central da baía.

As classes constituídas por areia com lama ou lama com areia (25 a 75% de finos lutáceos) encontram-se preferencialmente em áreas transicionais entre os locais com sedimentos mais finos (lamas) e os mais grossos (areia), revelando um gradiente suave de sedimentação no interior do estuário. A soma destas classes texturais compreende 36 % dos pontos de coleta.

Os sedimentos classificados como lama (no máximo 25 % de areia), localizam-se principalmente próximo às desembocaduras fluviais, com maior representatividade espacial no extremo oeste da área de estudo, nas proximidades das ilhas dos Espinheiros e do Mel, no canal central nas proximidades do porto de São Francisco do Sul e no setor norte do canal do Linguado. As amostras pertencentes a esta classe representam 24 % das amostras coletadas, sendo que a porcentagem de silte e argila variam de 77 % a 100 %. A deposição de sedimentos mais finos próximos ao porto de São Francisco do Sul pode estar relacionada com o aporte de sedimentos em suspensão através dos canais de marés, denominados “gamboas”, que deságuam nas imediações do porto e que, ao decantarem em períodos de estofa de maré, ficam aprisionados nas áreas mais profundas, submetidas a menor intensidade de correntes.

No Canal do Palmital, ocorre uma maior homogeneidade quanto às classes texturais, que variam de areia com lama e, subordinadamente, areia. Mais ao sul, no Canal do Linguado, ocorre forte ruptura na distribuição das classes sedimentares, com diferenciação granulométrica entre os dois segmentos do canal, a norte e a sul do aterro da rodovia BR-280. No setor localizado a norte, predominam os sedimentos mais lamosos, enquanto que ao sul os sedimentos variam entre areia e lama.

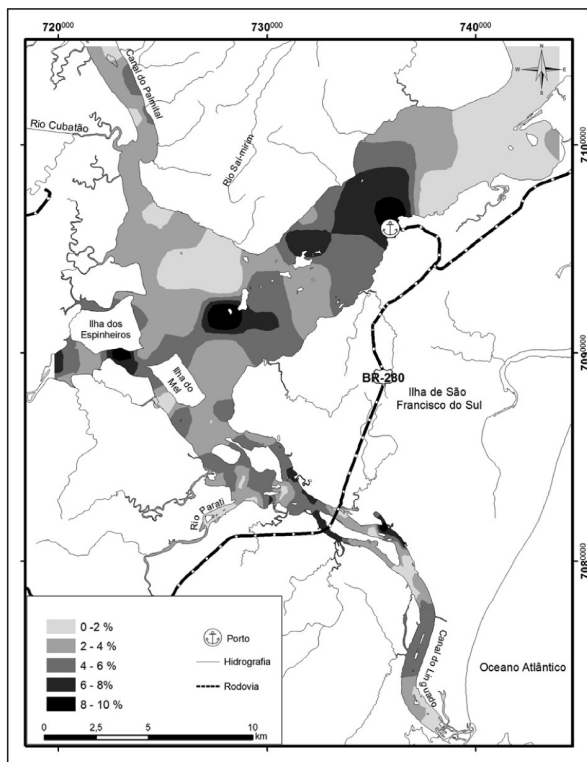


FIGURA 4 – MAPA TEXTURAL DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA BAIÁ DA BABITONGA

Quanto ao grau de seleção dos sedimentos (Figura 5), a análise de regressão de *Pearson*, indica correlação positiva ($r = 0,43$ / significativa para $p < 0,05$) entre os sedimentos mais finos e o desvio padrão, o que evidencia que os sedimentos mais grossos (areia) possuem maior grau de seleção, variando de muito bem selecionados a bem selecionados. Já os sedimentos mais finos, com assimetria positiva, passam de pobremente selecionados a extremamente mal selecionados.

A má seleção dos sedimentos mais finos pode estar relacionada a dois fatores:

a) As áreas com regime hidrodinâmico mais restrito, localizadas no interior do complexo estuarino, possuem maiores taxas de sedimentação de finos. No entanto, os cursos de água que deságuam na baía, em momentos de maior vazão, depositam cargas de sedimentos mais grossos, devido à perda de competência ao ingressar no

complexo estuarino (Suguio 1980; Laybauer & Bidone 2001). Nessa condição, fica retida também parte dos grãos da classe areia nas áreas de planície de maré.

b) Os locais expostos a maior movimentação das águas não permitem a decantação das partículas finas em suspensão, desta maneira, as plumas de sedimentos ou são exportadas para fora do complexo estuarino, ou acabam por serem depositadas em áreas de menor hidrodinâmica, nas planícies de marés. Deste modo, nas áreas com intensa hidrodinâmica, ocorre apenas a deposição dos grãos mais grossos, com consequente melhor seleção granulométrica. Já nas áreas com menor hidrodinâmica, ocorre à deposição de pacotes sedimentares de diferentes texturas, sendo que estas áreas estão sujeitas a aumento do desvio padrão (pior grau de seleção).

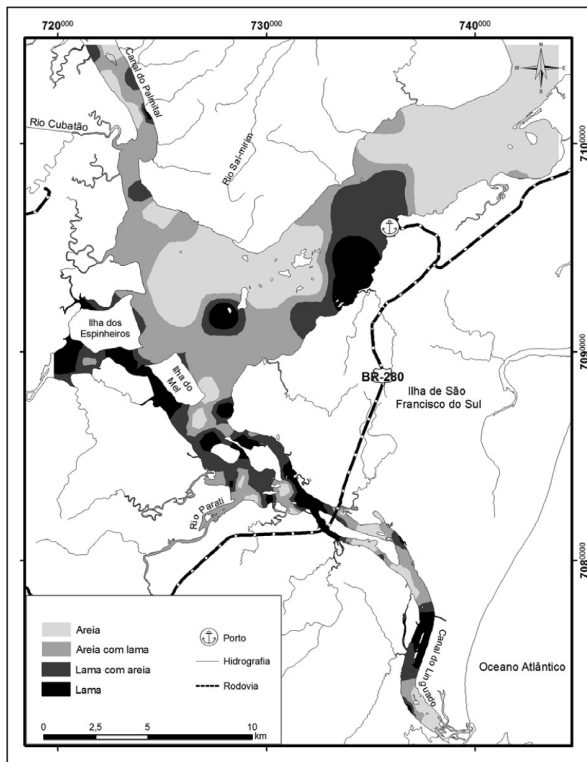


FIGURA 5 – MAPA DO GRAU DE SELEÇÃO DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA BAIÁ DA BABITONGA

Embora a baía da Babitonga possua uma média geral de 13,4 % de carbonato nos sedimentos, os maiores teores (superiores a 30 %) estão associados às areias bem selecionadas do canal central, possuindo ainda relação com as áreas de maior profundidade (Figura 6). Os locais com as menores concentrações de carbonato (< 10 %) estão situados na desembocadura central da baía da Babitonga e entre o porto de São Francisco do Sul e as ilhas rochosas, formando duas zonas com baixa concentração de biodetritos em torno da área de deposição principal deste componente na baía. Concentrações intermediárias (entre 10 e 20%) de carbonato foram encontradas em todo o interior do

complexo estuarino e estão possivelmente relacionadas a material biogênico autóctone.

De acordo com a classificação de Larsson (1977 *apud* Dias & Medeiros 2005), os sedimentos de fundo da baía da Babitonga podem ser agrupados em duas fácies distintas em função da quantidade de carbonato biodetrítico: litoclástica (carbonatos < 30 %) e litobioclástica (> 30 % carbonatos < 50 %). A quantidade de carbonato presente nos sedimentos possui correlação negativa, ou inversa, com o diâmetro médio dos sedimentos dado em phi ($r = -0,20 / p < 0,05$), ou seja, a porcentagem de carbonato aumenta proporcionalmente com o tamanho dos grãos.

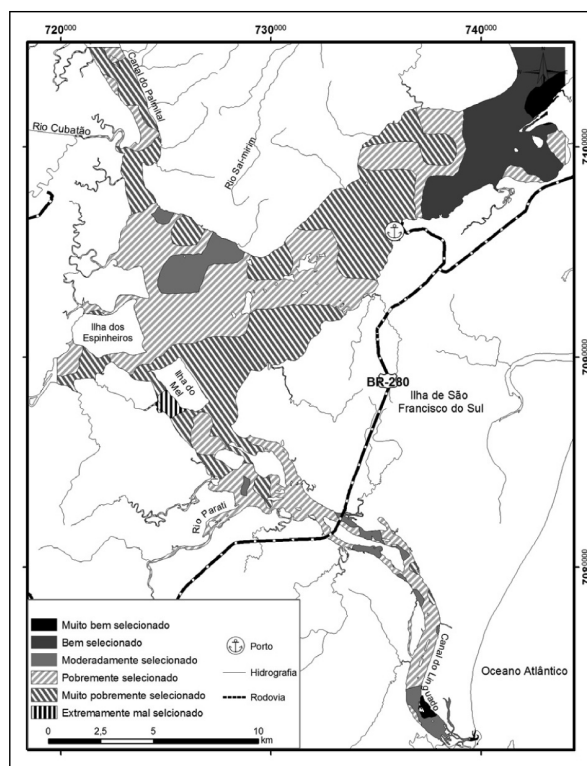


FIGURA 6 – MAPA DE PORCENTAGEM DE CARBONATO DOS SEDI-
 MENTOS DE FUNDO DA BAÍA DA BABITONGA

A concentração de matéria orgânica nos sedimentos de fundo na baía da Babitonga pode ser considerada baixa, com valor máximo de 8 %, relacionada principalmente aos sedimentos finos depositados em áreas de hidrodinâmica fraca (Figura 7). A análise de Pearson indica significativa correlação positiva ($r = 0,63$ / $p < 0,05$) entre a porcentagem de matéria orgânica e a porcentagem de argila presente nos sedimentos.

Os locais com menor porcentagem de matéria orgânica, com no máximo 2 %, encontram-se nas áreas reconhecidas como de maior hidrodinâmica, situadas na desembocadura do canal sul e no canal central da

baía da Babitonga, assim como na desembocadura do Canal do Palmital, no interior da baía. Já as áreas com concentrações intermediárias de matéria orgânica, entre 2 % e 4 %, amplamente distribuídas no sistema, encontram-se associadas às classes areno-lamosas e lamo-arenosas. Manchas com menor expressão espacial, contendo teores entre 6 e 8% de matéria orgânica, são encontradas nas proximidades do porto de São Francisco do Sul, nas ilhas do canal central da baía, no extremo oeste da área de estudo, na ilha dos Espinhoiros e no aterro do Canal do Linguado.

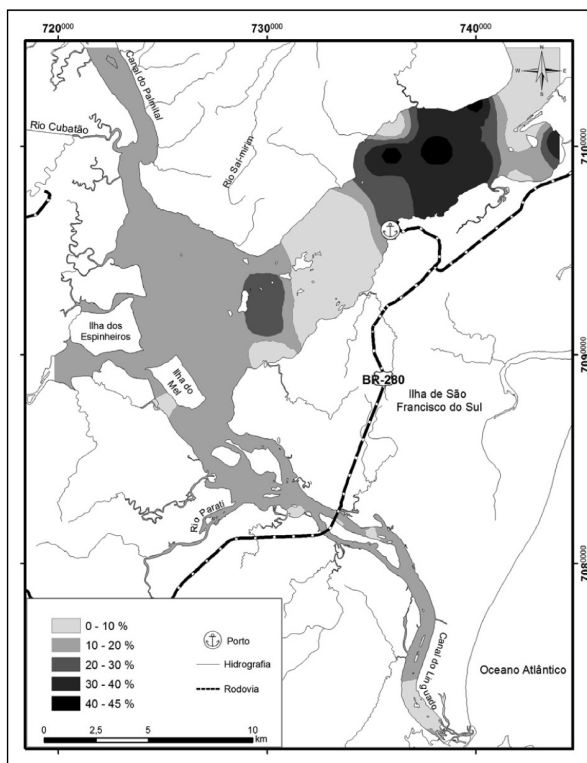


FIGURA 7 – MAPA DE PORCENTAGEM DE MATÉRIA ORGÂNICA DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DA BAÍA DA BABITONGA

ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

O agrupamento dos pontos de coleta de acordo com suas semelhanças sedimentológicas levou à formação de três grupos amostrais, com uma semelhança maior entre os grupos 1 e 2, conforme representado no

dendrograma obtido a partir da Análise de Agrupamento (Figura 8). A formação e a estrutura destes grupos, aqui denominados subambientes, podem ser melhor compreendidas com o emprego complementar da Análise de Componentes Principais.

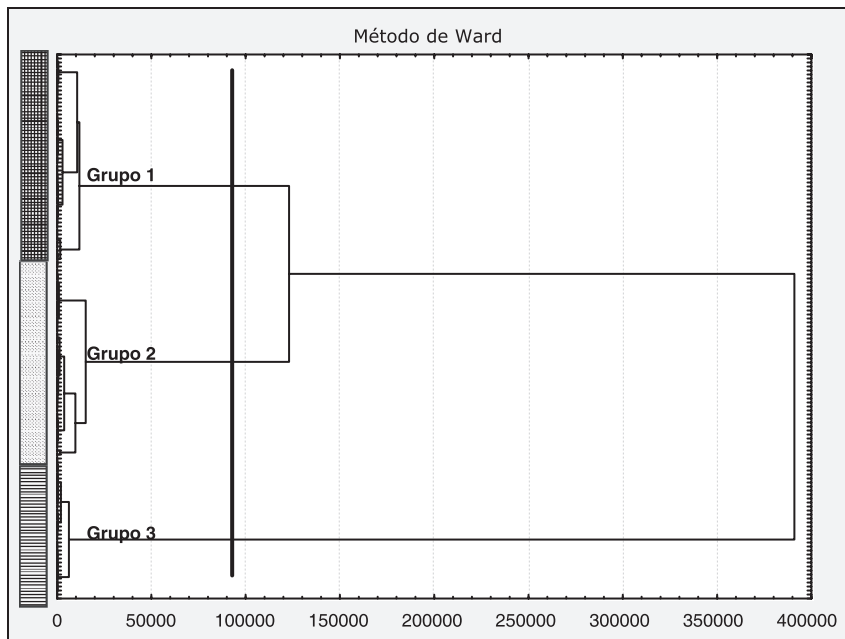


FIGURA 8 – DENDROGRAMA REPRESENTATIVO DO AGRUPAMENTO DAS 137 ESTAÇÕES DE COLETA SEDIMENTOS SUPERFICIAIS NA BAÍA DA BABITONGA EM TRÊS SUBAMBIENTES DISTINTOS, OBTIDOS A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DO COEFICIENTE DE ASSOCIAÇÃO DISTÂNCIA EUCLIDIANA E DA ESTRATÉGIA DE AGRUPAMENTO DE WARD (VARIÂNCIA MÍNIMA)

ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Na análise de PCA, foram adotados os quatro primeiros autovetores (eixos) que explicam 88,79 % da

dispersão da nuvem de pontos (Quadro 1). Tal nível de corte foi adotado segundo a regra de Jolliffe.

Vetores	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4
Autovalores	4,10	1,21	1,07	0,71
Porcentagem	51,28	15,17	13,45	8,89
Porcentagem acumulada	51,28	66,45	79,90	88,79

QUADRO 1 – CONTRIBUIÇÃO DOS AUTOVETORES

No quadro 2, é possível visualizar cada variável adotada para a descrição do complexo estuarino da baía da Babitonga e a sua importância em cada autovetor. A matriz de dados pode ser interpretada como uma matriz

de correlação, onde as variáveis possuem maior ou menor valor de correlação, sendo que o sinal indica se esta correlação é positiva ou negativa.

	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3	Eixo 4
Tamanho médio (Mz)	-0,45	0,06	-0,01	-0,31
Desvio padrão (Dp)	-0,32	-0,38	-0,01	0,61
Assimetria (SKi)	0,06	-0,79	0,34	0,03
Curtose (Kg)	0,29	-0,41	-0,17	-0,64
Carbonato (%)	0,10	-0,18	-0,89	0,19
Matéria orgânica (%)	-0,39	-0,15	-0,25	-0,20
Finos (%)	-0,47	-0,03	-0,01	-0,15
Areia (%)	0,47	0,05	0,02	0,14

QUADRO 2 - PESO DAS VARIÁVEIS SEDIMENTOLÓGICAS EM CADA UM DOS QUATRO PRIMEIROS COMPONENTES PRINCIPAIS (EIXOS) EXTRAÍDOS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO. AS VARIÁVEIS MAIS IMPORTANTES SÃO AQUELAS COM OS MAIORES PESOS. O SINAL INDICA SE A CORRELAÇÃO É POSITIVA OU NEGATIVA

Normalmente, os dois primeiros eixos fatoriais (CP 1 e CP 2) sintetizam a maior parte da variabilidade dos dados (Figura 9), permitindo reconhecer entre as variáveis analisadas aquelas que melhor explicam o gradiente de diferenciação dos casos. Neste estudo, foram consideradas, portanto, como as variáveis que

melhor definem o comportamento sedimentológico da área de estudo. Os demais eixos fatoriais revelam correlações secundárias entre as variáveis, que podem ser importantes para reforçar algumas correlações ou explicar desvios na tendência geral de distribuição dos casos (Figuras 10 e 11).

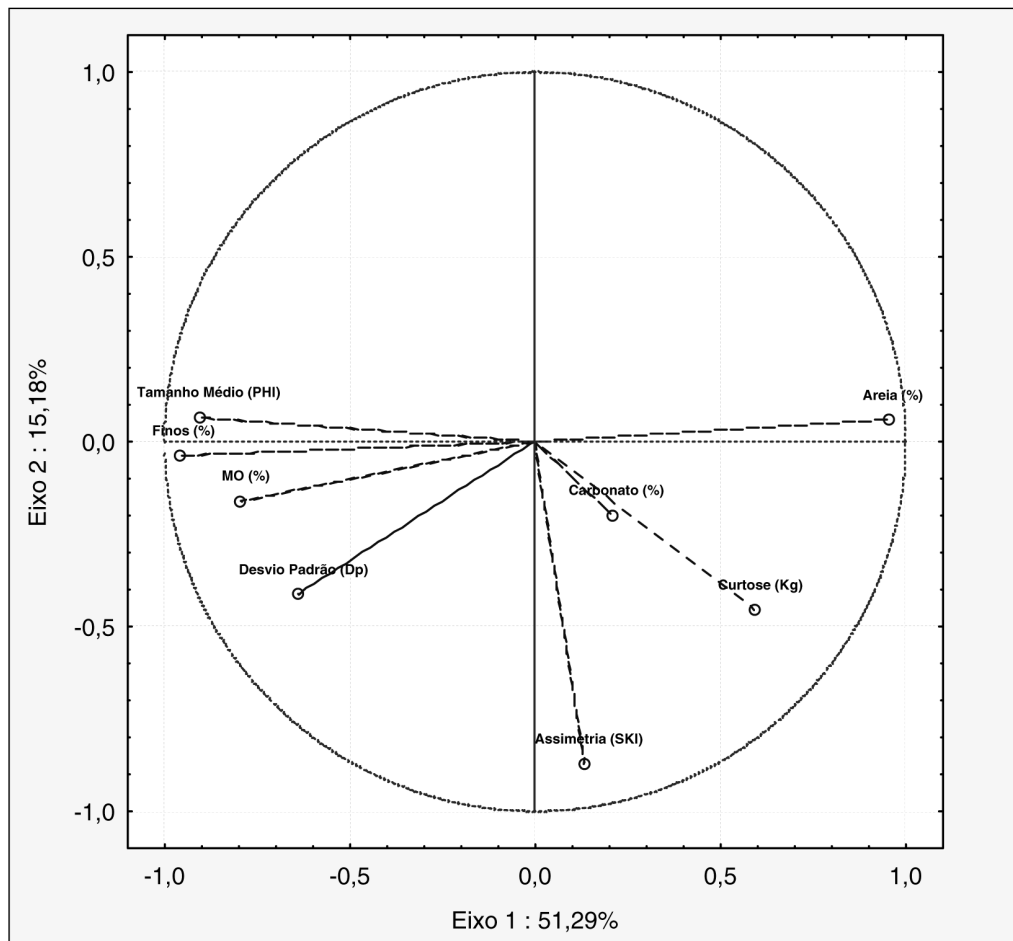


FIGURA 9 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS COORDENADAS DAS VARIÁVEIS SEDIMENTOLÓGICAS E SUAS CORRELAÇÕES COM OS EIXOS FATORIAIS 1 E 2

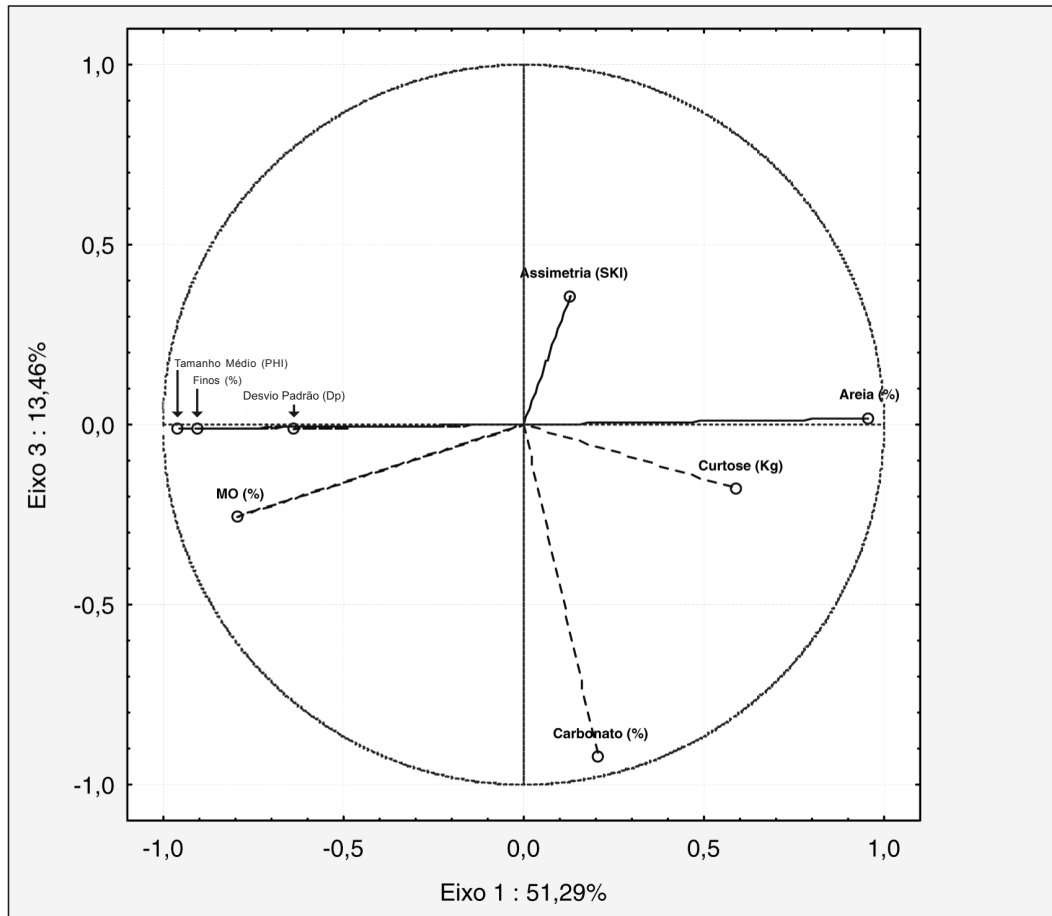


FIGURA 10 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS COORDENADAS DAS VARIÁVEIS SEDIMENTOLÓGICAS E SUAS CORRELAÇÕES COM OS EIXOS FATORIAIS 1 E 3

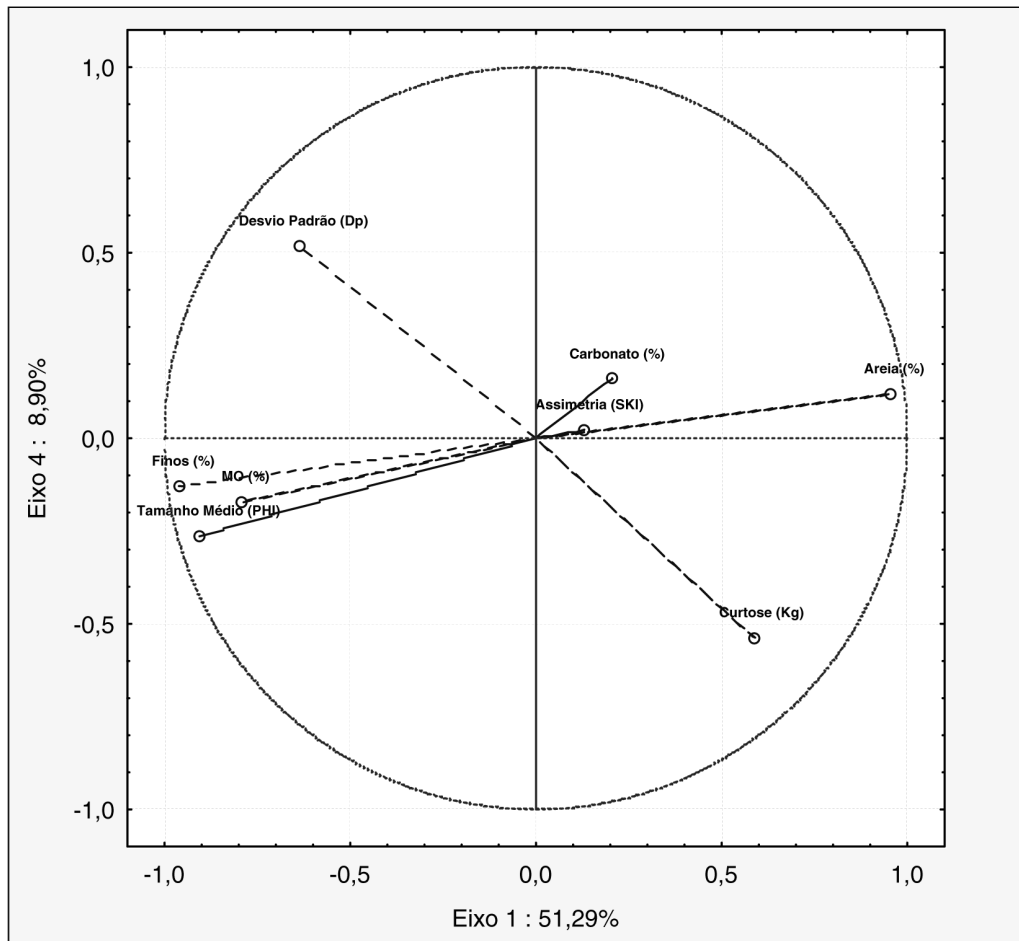


FIGURA 11 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS COORDENADAS DAS VARIÁVEIS SEDIMENTOLÓGICAS E SUAS CORRELAÇÕES COM OS EIXOS FATORIAIS 1 E 4

Neste trabalho, cada um dos Componentes Principais obtidos pode ser caracterizado da seguinte forma:

Eixo 1 – é principalmente ligado às coordenadas negativas das variáveis: tamanho médio do grão (em phi), teor de matéria orgânica, grau de seleção dos grãos e porcentagem de finos. Em oposição, projetam-se positivamente no eixo I as variáveis curtose e,

principalmente, porcentagem de areia. Este eixo sintetiza a relação dos sedimentos finos com o gradual aumento da matéria orgânica e do grau de seleção, revelando que os pontos com maiores porcentagens de areia possuem melhor grau de seleção.

Eixo 2 – este eixo expressa a importante participação da assimetria e, secundariamente, da curtose na

distribuição da nuvem de pontos.

Eixo 3 – é principalmente ligado às coordenadas positivas da variável porcentagem de carbonato biodetrítico, em oposição à assimetria. Este componente principal evidencia a nítida relação entre as grandes concentrações de carbonato com os pontos com tendência a sedimentos mais grosseiros (areias), de assimetria negativa.

Eixo 4 – revela a relação inversa entre o desvio padrão e a curtose. Através deste eixo, é possível identificar que os sedimentos mais bem selecionados possuem altos valores de curtose (leptocúrticos) e as distribuições granulométricas com valores platicúrticos indicam má seleção da população de grãos.

Optou-se por analisar os planos fatoriais através do cruzamento do eixo 1 com os demais eixos da PCA, pois o eixo 1 possui a maior porcentagem na variância da nuvem de pontos e representa o eixo principal de análise. Deste modo, o plano fatorial dos eixos 1 e 2 (Figura 12) explica 66,45 % da variância das amostras

e indica a nítida influência da porcentagem de areia no isolamento do grupo 1, assim como a porcentagem de finos no grupo 3. A relação inversa do desvio padrão com a porcentagem de areia indica que o grau de seleção aumenta conforme aumenta a porcentagem de areia nos sedimentos. As amostras do grupo 1 possuem correlação inversa com as porcentagens de matéria orgânica e de finos, e uma correlação positiva com a porcentagem de carbonato biodetrítico. Esta situação indica que o grupo 1 é constituído por sedimentos arenosos, bem selecionados, com grandes concentrações de carbonato biodetrítico. Já o grupo 3 é constituído por sedimentos finos, mal selecionados e associados à maior porcentagem média de matéria orgânica (5,5 %) da área de estudo. Os casos reunidos no grupo 2 possuem características sedimentológicas intermediárias entre os grupos 1 e 3, sendo compostos por amostras predominantemente arenosas, com distribuição platicúrtica e assimetria negativa.

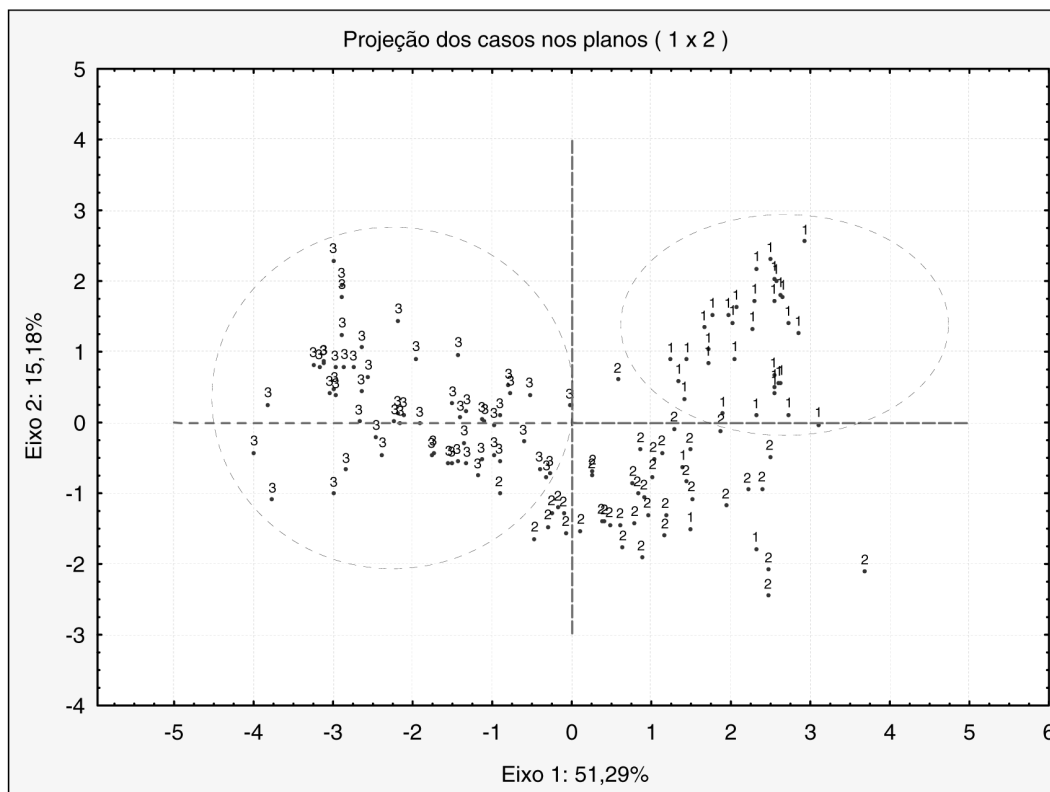


FIGURA 12 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS COORDENADAS VETORIAIS DAS ESTAÇÕES ANALISADAS NA BAÍA DA BABITONGA, AGRUPADAS EM RELAÇÃO AOS TRÊS SUBAMBIENTES PREVIAMENTE IDENTIFICADOS, E SUAS RELAÇÕES DE DISTÂNCIA COM OS EIXOS FATORIAIS 1 E 2

O plano fatorial dos eixos 1 e 3 elucida 64,73 % da variância (Figura 13) e, assim como no plano fatorial anterior, permite individualizar três grupos de estações na área de estudo. A distinção do grupo 3 deve-se, neste caso, às altas correlações entre a porcentagem de finos e matéria orgânica. No grupo 1, visto que é o agrupamento com maior influência do carbonato biodetrítico, é possível identificar a ocorrência das amostras com as maiores concentrações de carbonato, subdividindo o grupo em duas zonas. Já, o grupo 2, distingue-se pouco, pois a nuvem de pontos correspondente é influenciada

principalmente pelas variáveis de assimetria e curtose, que avaliadas isoladamente não representam bons indicadores ambientais. Não obstante as amostras do grupo 2 ocorrerem intercaladas com as amostras do grupo 1 e do grupo 3, os vetores indicam que as amostras do grupo 2 possuem relação inversa com a porcentagem de finos e matéria orgânica, o que significa que este grupo reúne as amostras compostas por sedimentos mais arenosos e com melhor seleção, se comparados com as amostras do grupo 3.

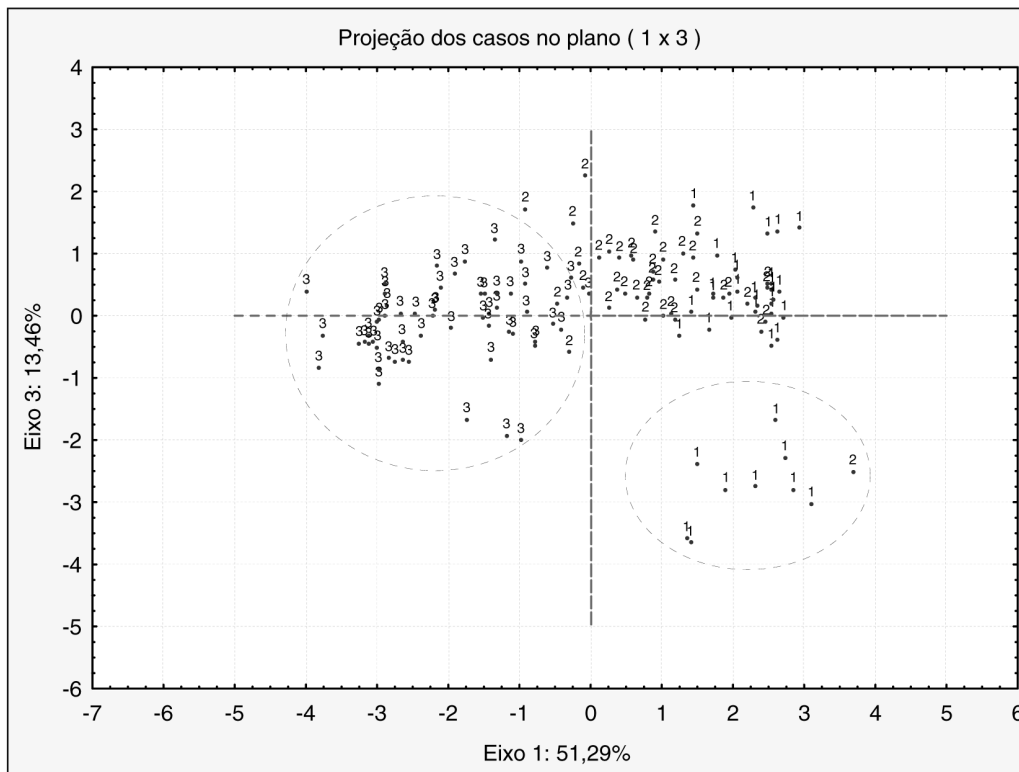


FIGURA 13 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS COORDENADAS VETORIAIS DAS ESTAÇÕES ANALISADAS NA BAÍA DA BABITONGA, AGRUPADAS EM RELAÇÃO AOS TRÊS SUBAMBIENTES PREVIAMENTE IDENTIFICADOS, E SUAS RELAÇÕES DE DISTÂNCIA COM OS EIXOS FATORIAIS 1 E 3

O plano fatorial dos eixos 1 e 4 esclarece 60,19 % da variância na distribuição das amostras (Figura 14) e indica novamente o contraste ente os grupos 1 e 3,

sendo que o grupo 2 permanece intercalado entre eles, porém com maior associação ao grupo 1.

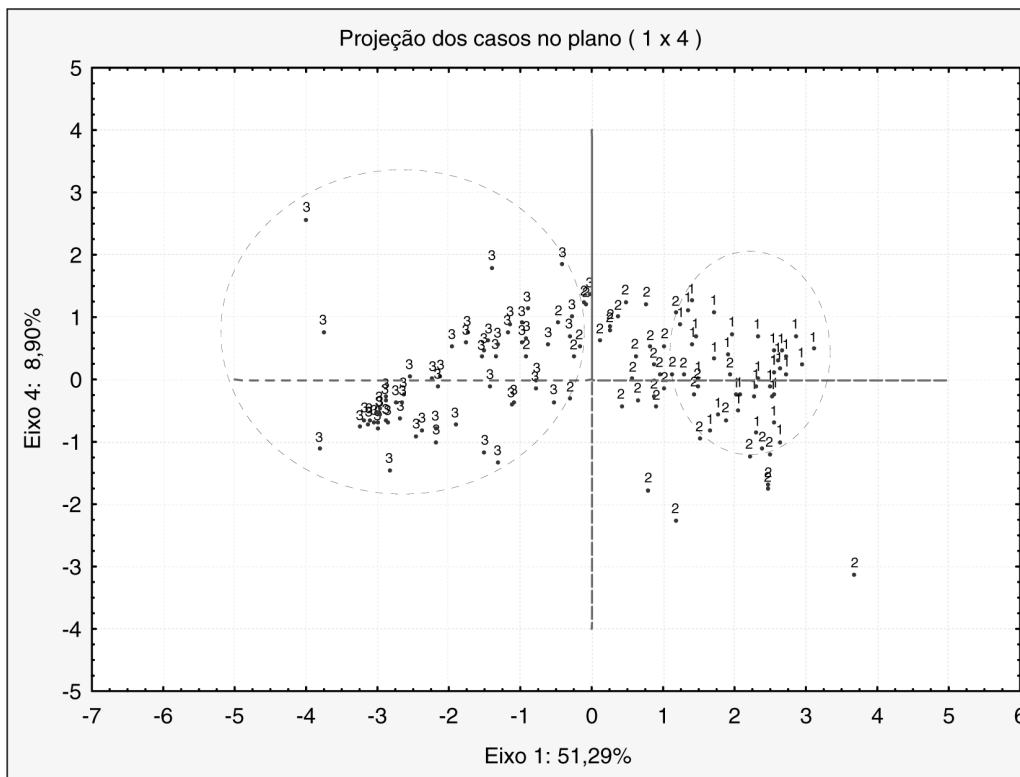


FIGURA 14 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DAS COORDENADAS VETORIAIS DAS ESTAÇÕES ANALISADAS NA BAÍA DA BABITONGA, AGRUPADAS EM RELAÇÃO AOS TRÊS SUBAMBIENTES PREVIAMENTE IDENTIFICADOS, E SUAS RELAÇÕES DE DISTÂNCIA COM OS EIXOS FATORIAIS 1 E 4

Setorização do complexo estuarino da baía da Babitonga

A síntese dos grupos formados encontra-se relacionada no quadro 3.

Grupos	Tamanho Médio (phi)	Desvio Padrão (Dp)	Carbonato (%)	Matéria Orgânica (%)	Finos (%)	Areia (%)
Grupo 1	2,38 ± 0,54	0,83 ± 0,59	16,86 ± 13,43	1,27 ± 1,33	7,41 ± 7,34	92,54 ± 7,56
Grupo 2	3,10 ± 0,68	1,68 ± 0,57	12,02 ± 5,22	2,67 ± 1,87	31,71 ± 12,42	69,78 ± 10,42
Grupo 3	4,90 ± 0,92	2,10 ± 0,70	12,36 ± 4,94	5,53 ± 1,96	75,62 ± 19,90	26,26 ± 21,60

QUADRO 3 - SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS DOS SUBAMBIENTES IDENTIFICADOS NA BAÍA DA BABITONGA. VALOR MÉDIO E DESVIO PADRÃO DAS PRINCIPAIS VARIÁVEIS ADOTADAS NAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Desta maneira, as zonas deposicionais podem ser entendidas da seguinte forma:

Grupo 1 – Reúne amostras compostas por sedimentos arenosos (92,54 %, com areia fina como classe granulométrica dominante), moderadamente selecionados, com teor médio de 16,86 % de carbonato biodetrítico, podendo alcançar valores de até 44,68 % em algumas áreas, sendo classificados como sedimentos litobioclásticos. Estas estações localizam-se normalmente nas áreas de maior profundidade da baía da Babitonga, refletem um ambiente com intensa hidrodinâmica e podem ser entendidas como as áreas com maior influência marinha.

Grupo 2 – Composto por sedimentos arenosos mais finos (areia muito fina), pobremente selecionados, classificados como litoclásticos, possui valores intermediários entre os grupos 1 e 3 para todas as variáveis sedimentológicas analisadas: pode ser interpretado como uma zona de transição entre estes dois grupos sedimentologicamente distintos.

Grupo 3 – Composto pelos sedimentos mais finos do complexo estuarino (silte grosso), com média de 75,62 % de silte mais argila e com pior seleção (muito pobremente selecionados). Possui as maiores porcentagens de matéria orgânica, com média de 5,53 % e máximo de 12,13 %. Este grupo pode ser interpretado como correspondente a áreas tipicamente estuarinas, de fraca hidrodinâmica, essencialmente deposicional.

A partir da integração das variáveis sedimentológicas e da identificação destes grupos amostrais, foi possível elaborar uma proposta de espacialização das zonas

deposicionais do complexo estuarino, conforme ilustrado na figura 15.

O grupo 1, reconhecido como área de influência marinha, localiza-se principalmente nas desembocaduras norte e sul do complexo estuarino da baía da Babitonga, que devem atuar como fonte local de sedimentos mais grossos: este grupo compreende um total de 36 pontos de coleta. Já as áreas identificadas como de influência estuarina (grupo 3), localizam-se nas porções mais interiores do complexo estuarino e próximo à zona portuária na ilha de São Francisco do Sul e totalizam 59 pontos de coleta. Entre as zonas determinadas entre estes dois grupos, ocorrem áreas de transição, caracterizadas pelo grupo 2, com 42 pontos de coleta.

Ao comparar os sedimentos de fundo do complexo estuarino da baía da Babitonga com estudos em diversos ambientes de baías e estuários no Brasil (Silva 2002; Odreski 2002; Corrêa 2005; Dias 2005b) pôde-se observar semelhanças na disposição das zonas de deposição.

Estes estudos indicam que as áreas expostas a uma maior ação hidrodinâmica possuem sedimentos mais grossos (areias) e bem selecionados, sendo que os teores mais elevados de carbonato biodetrítico também se relacionam com estas mesmas áreas. Já as zonas mais interiores, com baixa hidrodinâmica, caracterizam-se pela deposição de sedimentos mais finos (silte e argila), marcados pela má seleção e com os teores mais elevados de matéria orgânica. Estes sedimentos muito pobremente selecionados indicam a atuação de diferentes processos de sedimentação, com influência de diversos fatores como períodos de maior vazão dos cursos de água, amplitude de marés e correntes.

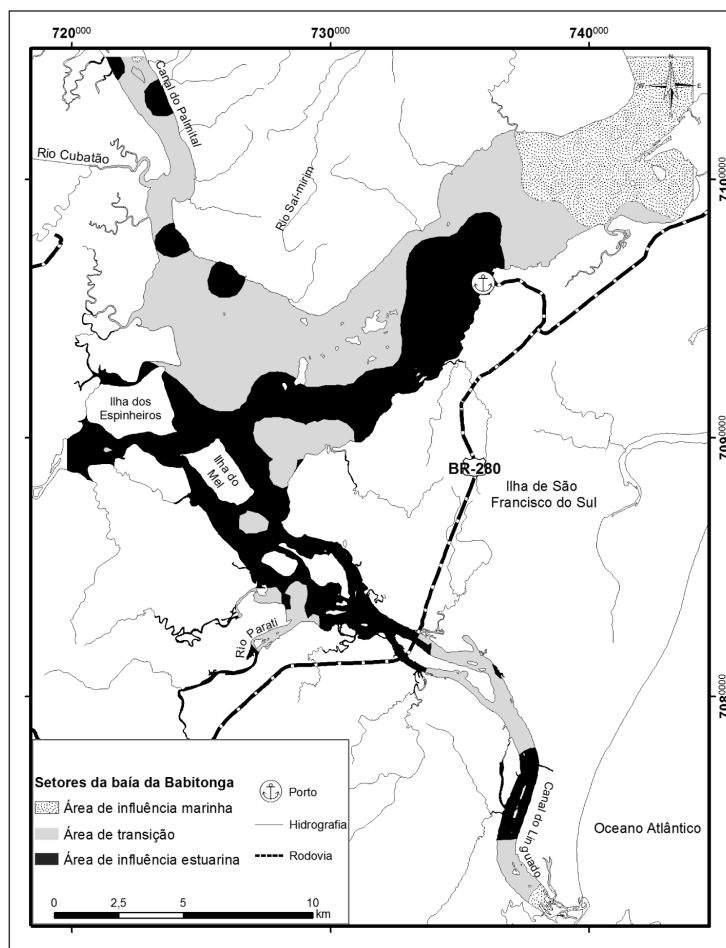


FIGURA 15 – MAPA DE AGRUPAMENTO DOS PONTOS DE COLETA NO COMPLEXO ESTUARINO DA BAÍA DA BABITONGA

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos demonstram a importância da integração de dados sedimentológicos como meio de compreender a dinâmica deposicional de ambientes estuarinos complexos de importante produção biológica, onde se concentram os principais centros urbanos do país. Os dados sedimentológicos referentes à granulometria, concentração de matéria orgânica e carbonato biodetrítico, revelaram-se bons indicadores dos ambientes de deposição, expressando indiretamente a energia hidrodinâmica. No entanto, parâmetros físico-químicos da coluna da água da baía da Babitonga poderão oferecer detalhamento maior dos processos de transporte e circulação deste ambiente, sobretudo em estudos que privilegiem fenômenos sazonais.

Na Baía da Babitonga é possível reconhecer três

grandes subambientes deposicionais, com dois deles contrastantes: um de caráter marinho raso, composto de areias bem selecionadas e maiores concentrações de carbonato biodetrítico, e outro com características tipicamente estuarinas, composto de material mais fino, mal selecionado e rico em matéria orgânica. O terceiro sub-ambiente individualiza uma zona de transição entre as áreas de maior influência marinha e as de influência continental.

As zonas reconhecidas como de deposição de sedimentos finos (Grupo 3 da Figura 11) constituem também áreas preferenciais para a deposição e acumulação de poluentes e, desta maneira, devem ser sítios preferenciais de monitoramento geoquímico, tendo em vista o histórico de poluição da baía da Babitonga e a concentração de indústrias metal-mecânicas e centros urbanos desprovidos de saneamento

básico. Recomenda-se, assim, a continuidade a este trabalho, detalhando-se preferencialmente estas áreas, sobretudo a composição orgânica e metálica de seus sedimentos.

Cabe também relatar a importância de acesso, do meio acadêmico-científico, aos dados brutos das análises realizadas por pesquisas pretéritas, pois novas informações sobre o ambiente podem ser adquiridas com o avanço das técnicas de tratamento de dados, dispensando num primeiro momento a coleta de novos dados. Da mesma forma, a exploração de dados já disponíveis, de diferentes datas, permite que se desenvolvam estudos temporais comparativos sobre a dinâmica do ambiente estuarino.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, A. & Mazzer, A. M. 2003. Mudanças geomorfológicas ocorridas na desembocadura no sul do canal do Linguado no período de 1938-1989. *Revista da Univille*, 9(1): 117-124.
- Corrêa, I. C. S. 2005. Aplicação do diagrama de Perjup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da baía de Marajó-PA. *Pesquisas em Geociências*, 32(2): 109-118.
- Dias, G. T. M. & Medeiros, M. F. 2005a. Proposta de metodologia para a elaboração de cartas sedimentológicas. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 10, 2005, Guarapari. *Anais...* Guarapari: ABEQUA, 1 CD-ROM.
- Dias, G. T. M. & Medeiros, M. F. 2005b. Cartas sedimentológicas da baía da Ilha Grande. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 10, 2005, Guarapari. *Anais...* Guarapari: ABEQUA. 1 CD-ROM.
- Diehl, F. L. & Horn Filho, N. O. 1996. Compartimentação geológico-geomorfológica da zona litorânea e planície costeira do Estado de Santa Catarina. *Notas Técnicas*, Porto Alegre, 9:39-50.
- DHN. Diretoria De Hidrografia E Navegação Tábua das marés – Porto de São Francisco do Sul/SC. Banco nacional de dados oceanográficos. Disponível em: <http://www.mar.mil.br>. Acesso em: 23/6/2007.
- Folk, R. L. & Ward, W. C. 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27:3-27.
- GAPLAN. 1986. *Atlas de Santa Catarina*. Subchefia de Estatística, Geografia e Informática. Rio de Janeiro: Aerofoto Cruzeiro, 173p.
- Gonçalves, M. L. & Zanotelli, C. T. & Oliveira, F. A. 2006. *Diagnóstico e prognóstico das disponibilidades e demandas hídricas do rio Cubatão do Norte – Joinville – Santa Catarina*. Joinville: Editora da Univille, 96p.
- Horn Filho, N. O. 1997. *O Quaternário costeiro da ilha de São Francisco do Sul e arredores, nordeste de do Estado de Santa Catarina: aspectos geológicos, evolutivos e ambientais*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 312p.
- Horn Filho, N. O. & Diehl, F. L. 1994. *Geologia da planície costeira de Santa Catarina*. *Alcance*, 1(1):95-102.
- Kovach, W. L. 2005. MVSP - A MultiVariate Statistical Package for Windows, ver. 3.1. Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, U.K.
- Landim, P.M.B. 2000. Análise estatística de dados geológicos multivariados. Laboratório de Geomatemática, DGA, IGCE,UNESP/Rio Claro, Texto Didático 03, 128p. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>. Acesso em: 15/5/2006.
- Laybauer, L. & Bidone, E. D. 2001. Caracterização textural dos sedimentos de fundo do lago Guaíba (sul do Brasil) e sua importância em diagnósticos ambientais. *Pesquisas*, 28(1):13-26.
- Odreski, L. L. R. 2002. *Evolução sedimentar e batimétrica da baía de Antonina - PR*. Curitiba, Universidade federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Dissertação de Mestrado, 79p.
- PETROBRAS/FURG/UFGRS/UFSC/UFPR. 1997. Estudos Ambientais em áreas oceânicas e costeiras no sul do país. Relatório PETROBRAS.
- Schettini, C. A. F. & Carvalho, J. L. B. 1999. Caracterização hidrodinâmica do estuário do rio Cubatão, Joinville. *Notas Técnicas Facimar*, 3: 87-97.
- Silva, L. F. 2002. *Identificação de subambientes na baía Sul (SC) com base na análise de variáveis oceanográfico-sedimentares*. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, Dissertação de Mestrado.
- Suguio, K. 1980. *Rocha sedimentares: propriedades, gênese, importância econômica*. São Paulo: Edgard Blucher.
- Truccolo, E. C. & Schettini, C. A. F. 1999. Marés astronômicas na baía da Babitonga, SC. *Notas Técnicas Facimar*, 3: 57-66.
- Tureck, C. R. & Oliveira, T. M. N. & Cremer, M. J. & Breiter, R. & Neesse, T. & Torrens, B. M. O. & Marcucci, A. & Amaral, E. B. 2004. Avaliação do crescimento em *Crassostrea gigas* (molusca, bivalve) cultivada na baía da Babitonga, litoral norte do Estado de Santa Catarina. *Revista da Univille*, 9 (edição especial): 17-26.
- Valentin, J. L. 2000. *Ecologia numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos*. Rio de Janeiro: Interciência, 117.