UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – UFSC
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFH
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS – GCN
CURSO DE BACHARELADO EM OCEANOGRAFIA

Volney Junior Borges de Bitencourt

CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTAR DA RESERVA BIOLÓGICA MARINHA DO ARVOREDO (SC) E ÁREAS ADJACENTES

Florianópolis

2013

Volney Junior Borges de Bitencourt

CARACTERIZAÇÃO SEDIMENTAR DA RESERVA BIOLÓGICA MARINHA DO ARVOREDO (SC) E ÁREAS ADJACENTES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Oceanografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para obtenção do grau de Oceanógrafo.

Aprovado em: 21/02/2013
Nota: 9,5

BANCA EXAMINADORA

_____

Orientador: Prof. Dr. Jarbas Bonetti - GCN/UFSC

_____

Prof.ª Dr.ª Carla Van Der Haagen Custodio Bonetti - GCN/UFSC

_____

M.Sc. Mario Luiz Martins Pereira - ICMBio; PPGGEO/UFSC

Florianópolis

2013

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos ao Prof. Jarbas Bonetti, pela orientação ao longo dos últimos dois anos, pela amizade, compreensão e sua grande paciência em relação a solucionar minhas diversas dúvidas (algumas certamente "triviais"). Agradeço também a Prof.ª. Carla Bonetti, por ter atuado como uma co-orientadora informal neste período em que frequentei o LOC.

Ao pessoal do Laboratório de Oceanografia Costeira, em especial ao Mário Pereira, Felipe, Letícia, Pacheco e à Carla D'Aquino, que contribuíram para a realização este estudo. Agradeço também ao Ácmon, Jonas, Ricardo Lins, Breno e Caio Paraíba por esse tempo de convívio no LOC.

Agradeço aos professores José Gustavo Natorf de Abreu (UNIVALI) e Carlos Augusto França Schettini (UFPE) pela cessão de parte dos dados sedimentológicos utilizados nesta pesquisa.

Aos professores do curso de Oceanografia que, mesmo com algumas dificuldade de infraestrutura, sempre procuraram dar o seu melhor, para aumentar a qualidade do ensino.

A galera da primeira turma do curso Oceanografia da UFSC, na qual fiz diversos amigos que levarei para a vida inteira.

Aos amigos que conheci na Dardo's República: Paulista, Gaúcho, Gil, Zampa, Tito Galvão, Ivon, Gustavo e Mayara. Mesmo estando algum tempo sem falar com algumas destas pessoas, sempre me lembrarei das risadas, festas e discussões filosóficas que tive com essa galera sobre política, religião e formação do Universo. Ao pessoal da República Cevada e seus agregados: Rafa, Renan, Perna, Rufino, Kauê, Vitão, Marina, Iza, Nayara. Agradeço a vocês pelos diversos momentos juntos e pela grande amizade.

Gostaria de agradecer, acima de tudo, aos meus pais, Volney e Vanete, pelo apoio, críticas "construtivas" e pelo suporte nesta jornada na bela cidade de Florianópolis e ao meu irmão Leandro, que me deu conselhos valiosos e sempre esteve disposto a me ajudar.

A todos que de alguma forma me influenciaram positivamente, muito obrigado.

3.5.2 – Gráficos triangulares 25

3.5.3 – Mapas de superfície e interpolação espacial 26

3.5.4 – Representação espacial da batimetria e características sedimentológicas 26

3.5.5 – Análise estatística multivariada 29

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO 31

4.1 – Caracterização batimétrica 31

4.2 – Caracterização sedimentológica 32

4.2.1 - Distribuição textural conforme Flemming (2000) 32

4.2.2 - Classificação sedimentar de Shepard (1954) modificada por Schlee (1973) e de Folk (1954, 1974) 35

4.2.3 - Parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) 38

4.2.3.1 - Diâmetro médio 38

4.2.3.2 – Grau de seleção 39

4.2.3.3 – Assimetria 40

4.2.3.4 – Curtose 41

4.2.4 – Distribuição dos teores de matéria orgânica total 42

4.2.5 - Distribuição dos percentuais de carbonato biodetrítico 43

4.2.6 – Análise de agrupamento 44

4.2.7 – Análise de componentes principais 46

5 – CONCLUSÕES 49

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 50

ANEXO I – Tabela dos dados sedimentológicos..... 57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo 14

Figura 2. Pontos batimétricos do PLDM, nota-se a grande densidade de pontos. 20

Figura 3. Localização dos pontos amostrados pelo LOC/UFSC. 21

Figura 4. Pontos amostrais englobando campanhas do LOC e amostras de trabalhos anteriores, totalizando 84 pontos. 22

Figura 5. Gráfico da dispersão dos pontos no plano e a equação da regressão. 27

Figura 6. Diagrama ternário de Shepard (1954) modificado por Schlee (1973) utilizado no aplicativo da USGS. (Fonte: U.S. Geological Survey, 2007). 28

Figura 7. Diagrama ternário de Folk (1954) utilizado no aplicativo da USGS. (Fonte: U.S. Geological Survey, 2007). 29

Figura 8. Batimetria da REBIO Arvoredo, Baía de Tijucas e áreas adjacentes. 31

Figura 9. Diagrama ternário de Flemming (2000), utilizado para classificar as 84amostras. 34

Figura 10. Superfície interpolada utilizando a nomenclatura adaptada de Flemming (2000). 35

Figura 11. Mapa resultante da classificação proposta por Shepard, modificada por Schlee. 36

Figura 12. Diagrama de Shepard (1954). 37

Figura 13. Mapa resultante da classificação proposta por Folk (1954). 37

Figura 14. Mapa da distribuição do diâmetro médio para a área de estudo, utilizando os limites de Wentworth (1922). 39

Figura 15. Mapa da distribuição do grau de seleção para a área de estudo, utilizando os limites de Folk & Ward (1957). 40

Figura 16. Mapa da distribuição da assimetria para a área de estudo, utilizando os limites de Folk & Ward (1957). 41

Figura 17. Mapa da distribuição da curtose para a área de estudo, utilizando os limites de Folk & Ward (1957). 42

Figura 18. Distribuição dos teores de matéria orgânica total, expresso em porcentagem em massa. 43

Figura 19. Distribuição da concentração de carbonato biodetrítico, expressa em porcentagem em massa. 44

Figura 20. Dendrograma representativo do agrupamento das 84 amostras sedimentares em três subambientes, com um corte na altura de aproximadamente 60. 45

Figura 21. Distribuição dos pontos com seus respectivos subambientes formados. 46

Figura 22. Vetores referentes à PCA. A orientação e tamanho de cada vetor revela sua importância na distribuição de cada descritor. 47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Contribuição dos autovetores através da PCA 47

Tabela 2. Importância das variáveis em cada uma dos três primeiras componentes principais (eixos) extraído da matriz de correlação. Os descritores mais importantes são os com maior peso..... 48

RESUMO

Através das interpretações de parâmetros granulométricos, associados com as características de matéria orgânica e de material biodetrítico, é possível se avaliar áreas sob influência de aportes sedimentares que, juntamente com a circulação hidrodinâmica, possibilitam a identificação de setores específicos de deposição no ambiente costeiro. Neste estudo foi realizada a caracterização sedimentar da camada de fundo da Reserva Marinha Biológica do Arvoredo (REBIO Arvoredo) e áreas adjacentes como a Baía de Tijucas e a Zona de Amortecimento da Reserva. Esta pesquisa tem por objetivo colaborar com a melhor compreensão da camada de fundo da REBIO Arvoredo e áreas no entorno, através de abordagens associadas às técnicas de análise espacial visando classificar a Reserva de acordo com suas características sedimentológicas em setores distintos. Foi feito coletas de 36 amostras que juntamente com 48 de trabalhos pretéritos formaram uma densa malha amostral. A análise englobou eliminação de MOT, carbonato biodetrítico e granulometria. Foi confeccionado diversos mapas de superfície interpolados com o uso do interpolador IDW em ambiente SIG, utilizando o *software* ArcMap®. Os resultados corroboraram com os encontrados por outros autores, em trabalhos na mesma área de estudo. Com análises multivariadas foi possível compartimentalizar a área de estudo em três setores de acordo com suas características sedimentológicas.

Palavras-chave: REBIO Arvoredo, Baía de Tijucas, sedimentologia, interpolação, SIG.

1 – INTRODUÇÃO

As áreas costeiras como um todo são caracterizadas como ambientes altamente complexos, devido à interação tripla formada pelas interfaces: atmosfera, continente e oceano. Estabelece-se, todavia, uma condição de equilíbrio dinâmico em consonância com a variação de magnitudes e dinamismos de uma gama de processos regulados em parte por alguma das três interfaces. Os processos geológicos e sedimentares são influenciados pelos ventos, correntes, ondas e marés, para mencionar alguns dos agentes físicos que atuam nestes ambientes, promovendo transformações em escalas de tempo variadas (SOUZA, 2006).

Segundo Santos e Dominguez (2005) podemos utilizar as características sedimentares distintas existentes no ambiente marinho-costeiro para auxiliar pesquisas relativas à origem e evolução dos pacotes sedimentares, bem como para elucidar questões importantes quanto à hidrodinâmica e outras variáveis físicas atuantes no local. Pode-se ainda inferir que certos ambientes com associações específicas de características sedimentares podem ser considerados como uma parcela do fundo com propriedades físicas, químicas, biológicas e geológicas distintas e com certa diferenciação em relação às unidades adjacentes.

Os sedimentos atuais tem sua distribuição de acordo com determinados padrões e características, sendo consequência direta de todo um complexo de situações e condições atuantes (KUTNER, 1976 *apud* KUMPERA, 2007). Entre os diversos descritores sedimentares destaca-se o tamanho do grão. Podemos considerar, por definição, a análise granulométrica como sendo a técnica capaz de quantificar o tamanho e a distribuição dos grãos/partículas (SUGUIO, 1973). Kumpera (*op. cit.*) sugere que através das interpretações dos parâmetros granulométricos, associados com as características de matéria orgânica e de material biodetrítico, é possível se avaliar áreas sob influência de aportes sedimentares que, juntamente com a circulação hidrodinâmica, possibilitam a identificação de setores específicos de deposição no ambiente estudado. Conforme Silva (2002), com base nos resultados de uma análise sedimentar é possível propor-se uma classificação visando o reconhecimento de setores distintos, a partir de tratamentos estatísticos.

A identificação de ambientes sedimentares em regiões emersas e principalmente submersas através de mapeamentos geológicos, valendo-se de técnicas adequadas de interpolação, tem por finalidade, entre outras, caracterizar áreas de interesse a preservação. Com análises sedimentares da camada do fundo, é possível informar locais na qual se faz necessários projetos de recuperação e indicar a melhor utilização de determinadas áreas, minimizando impactos (ABREU, 1998).

Tendo por finalidade compreender a distribuição sedimentar da camada de fundo da Reserva Marinha Biológica do Arvoredo (REBIO Arvoredo) e áreas próximas e compará-la com a variação do relevo de fundo local foi desenvolvido o presente estudo. O mesmo encontra-se inserido no Projeto de Pesquisa *Análise Espacial Aplicada à Caracterização do Compartimento de Fundo da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo* – vinculado ao Laboratório de Oceanografia Costeira da Universidade Federal de Santa Catarina (LOC/UFSC), sob coordenação do Prof. Dr. Jarbas Bonetti. Esta pesquisa teve por objetivo colaborar com a melhor compreensão da camada de fundo da REBIO Arvoredo e áreas no entorno, através de abordagens associadas às técnicas de análise espacial visando classificar a Reserva de acordo com suas características sedimentológicas em setores distintos.

2 – LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Reserva Marinha Biológica do Arvoredo (REBIO Arvoredo) é uma Unidade de Conservação (UC) de Proteção Integral. É a única UC da categoria no Sul do país, constituindo uma das áreas com maior proteção legal da zona costeira do Estado de Santa Catarina e do território brasileiro (CHLUDISNKI & BONETTI, 2002). Estima-se que, em consequência da sua proximidade em relação ao continente os setores adjacentes, externos ao seu limite legal, atuem de forma considerável na Reserva sob diferentes aspectos, como lançamento de efluentes industriais e domésticos (NASCIMENTO, 2011), Logo, o uso e a ocupação do solo das áreas continentais próximas influenciam e/ou

controlam diversos fatores e processos associados ao fluxo de matéria e energia.

A REBIO Arvoredo foi criada em 12 de março de 1990 através do Decreto Federal nº 99.142/90 e está localizada a aproximadamente 11 km ao norte da Ilha de Santa Catarina e a cerca de 8 km do continente (FIGURA 1), totalizando 17.600 hectares delimitados entre as coordenadas 27º09'30" e 27º17'57" S e 48º18'30" e 48º25'30" W, de acordo com o Plano de Manejo (IBAMA, 2004).

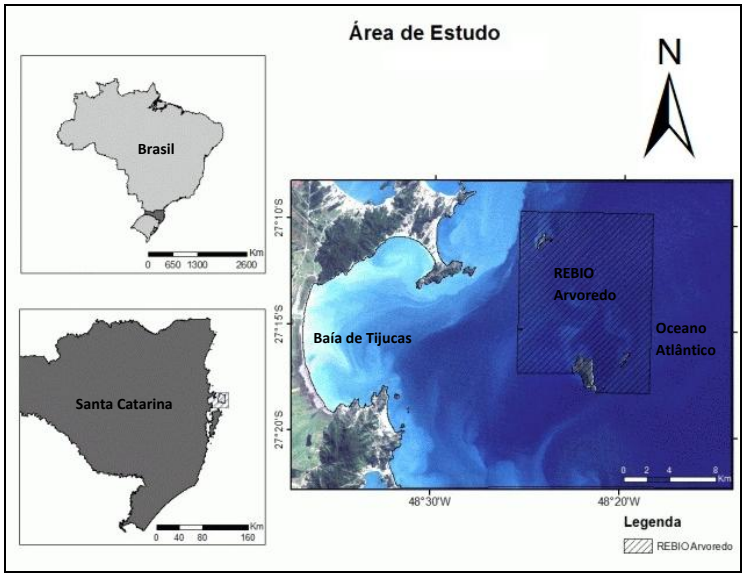

Figura 1. Localização da área de estudo

A área da Reserva engloba a ilhas do Arvoredo, Galé, Deserta e o Calhau de São Pedro. A Ilha do Arvoredo, a maior do complexo, apresenta um total de 3.704 metros de comprimento com orientação N-S e 1.853 metros de largura, possui apenas uma pequena praia arenosa no

rancho norte e seu relevo é consideravelmente acentuado. A Ilha Deserta, localizada a aproximadamente 3 km da Ilha do Arvoredo, também exibe uma forma alongada e conta com 1.052 metros de comprimento por 175 metros de largura e é rodeada por costões rochosos. A 10 km ao norte da Ilha do Arvoredo encontra-se a Ilha da Galé e o Calhau de São Pedro, a cerca de 5 km a noroeste da Ilha do Arvoredo, indica o limite oeste da Reserva (COSTA, 2003; IBAMA, 2004).

Há um zoneamento associado à gestão da UC, que se situa além dos limites legais da Reserva - a Zona de Amortecimento (ZA), com uma superfície de 1.079 km². Segundo Nascimento (2011), a ZA envolve a UC por 50 km e é, por lei, *o entorno de uma Unidade de Conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade* (Lei nº 09.985/2000, artigo 2º, inciso XVIII). Ou seja, para a confecção de um estudo com a finalidade de auxiliar a gestão da REBIO Arvoredo, é crucial englobar a ZA bem como áreas adjacentes para obter a melhor caracterização possível.

A porção Sul da Reserva situa-se defronte à Baia de Tijucas, estendendo-se em direção Norte até as imediações da praia de Mariscal, no município de Bombinhas. Sua zona de influência é formada pelos municípios de Bombinhas, Tijucas, Governador Celso Ramos e Florianópolis (CHLUDISNKI, 2001). A região apresenta um clima subtropical úmido, com o regime de chuvas bem distribuído ao longo das estações e sem a presença de épocas de secas. As estações são bem definidas, com inverno frio e verão quente. A média de temperatura é de cerca de 18ºC e os altos níveis de precipitação (média de 1700 mm anuais) são relacionados à orografia local, na qual as Serras do Leste Catarinense atuam como uma barreira para a penetração de ventos do quadrante S-SE (ALMEIDA, 2008).

2.1 – Aspectos Geológicos e Sedimentológicos

O litoral de Santa Catarina, situado entre as latitudes 25°57'41" S e 29°23'55" O, apresenta 538 km de extensão - aproximadamente 7% do

litoral do Brasil, na sua costa SE-S. No estado, a planície costeira (4,35% da superfície de SC com uma área total de 4.212 km²) representa a porção emersa das bacias marginais marinhas de Santos e Pelotas, que juntamente com a plataforma continental e o embasamento, constituem a província costeira de Santa Catarina (DIEHL & HORN FILHO, 1996). Basicamente, a planície compreende uma série de feições geomorfológicas e fácies deposicionais de diversos ambientes sedimentares (HORN FILHO *et al*, 2004). O litoral de Santa Catarina possui diversas feições diferenciadas, como promontórios, baías, costões rochosos e praias de enseada na porção central até o norte, sendo o litoral sul composto por extensas praias retilíneas com presença de campos de dunas.

Segundo Rocha *et al*. (1975 *apud* ABREU, 1998) a plataforma continental adjacente ao Estado de Santa Catarina se localiza na porção SE-S da margem continental brasileira ocupando uma área de 150.000 km^2. A topografia da plataforma neste setor é suave, recortada por vales de pequena amplitude, com as isóbatas estendendo-se, de modo geral, paralela ou subparalelamente à costa. Em valores médios, em Santa Catarina a profundidade de quebra encontra-se na isóbata de 150 m de profundidade, apresentando uma transição suave da plataforma para um talude de gradiente pouco acentuado (ZEMBRUSCKI, 1979 *apud* ABREU, *op. cit.*). O conjunto de ilhas que formam a REBIO são compostas por granito róseo e rochas sub-vulcânicas ácidas-intermediárias, diabásio, brechas e milonitos variados. Também estão presentes depósitos sedimentares quaternários (TOMAZZOLI & STRENZEL, 1994).

Caruso (1987) postula que os depósitos quaternários predominantes para a área de estudo correspondem à planície aluvial do Rio Tijucas, cujas feições sedimentares compreendem sequências fluvio-marinhas e marinhas, terraços arenosos, aluviões e mangues. Grande parte dos depósitos costeiros foram retrabalhados por ocasião das sucessivas transgressões e regressões marinhas que ocorreram ao longo do Período Quaternário (BIGARRELLA, 1965). Kowsmann *et al.* (1977) estudou a cobertura sedimentar holocênica e a estratigrafia do Quaternário na plataforma continental sul-brasileira durante o Projeto REMAC. Conforme estes autores, a cobertura sedimentar da plataforma continental entre Santa Catarina e Santos (SP) é composta por areais

clásticas terrígenas na porção mais interna da plataforma, passando a um corpo lamoso isolado no talude.

O Rio Tijucas é a principal fonte de sedimento (predominantemente com granulação fina) para a área de estudo, uma média de descarga estimada em 58 m^3/s, como resultado da sua bacia de drenagem avaliada em 2.400 km^2 (SCHETTINI *et. al.*, 1996). Segundo Schettini e Klein (1997) a contribuição do Rio Tijucas para a Baía adjacente em termos de sedimentos finos é cerca de $1,9 \times 10^5$ ton/ano.

2.2 – Aspectos Oceanográficos

A REBIO Arvoredo recebe influência direta da corrente do Brasil e da PPW, a primeira trazendo águas quentes vindas do Norte (resultado da bifurcação da Corrente Sul-Equatorial) e a segunda trazendo águas frias vindas do Sul – uma mistura com águas do estuário do Rio da Prata, corrente das Malvinas e estuário da Lagoa dos Patos. O IBAMA (2004) classifica a REBIO Arvoredo como uma área aberta na plataforma continental rasa do oceano Atlântico, salientando a importância que o fluxo de materiais vivos e mortos (detritos) ocasionados pelas massas de água tem na região.

Carvalho *et. al.* (1998) realizam uma descrição das massas d'água para a região do Litoral Centro Norte Catarinense (LCNC), na qual se encontra a área de estudo neste trabalho. Basicamente a distribuição de massas d'água no litoral Centro Norte Catarinense, entre o rio Itapocu e a Baía de Tijucas, apresenta dois padrões bem específicos conforme as estações do ano. Em período de primavera-verão a coluna d'água apresenta-se em duas camadas, com termoclina bastante acentuada. Os ventos predominantes do quadrante Norte provocam a ressurgência costeira da Água Central do Atlântico Sul - ACAS. Com a incidência de ventos do quadrante Sul há a subsidência de águas junto à costa com afundamento da termoclina. Já na situação de outono-inverno, com o predomínio de sistemas frontais de altas latitudes, a coluna d'água apresenta-se homogênea devido ao aumento da magnitude e manutenção dos ventos provenientes do quadrante Sul e afastamento da ACAS, assim como pela advecção de águas de origem subantártica influenciadas pelo aporte de águas continentais vindas do rio da Prata e

lagoa dos Patos, conhecida com *Plume Plata Water* (PPW) (PIOLA *et al.* 2005).

O regime de maré é mista com predominância semi-diuna e altura média de 0,80 m, caracterizando micromaré. (SCHETTINI *et. al.*, 1997). É evidente a ocorrência de corrente de maré ao Sul da área de estudo, devido a proximidade com a Baía Norte da Ilha de Santa Catarina. A diferença entre o nível do oceano e da baía irá formar este tipo de corrente. O estudo de Mário *et. al.* (2006) comprova que, no estreitamento, a direção das correntes está relacionada com o fluxo de maré. Durante o período de maré enchente e cheia o fluxo se deu da Baía Norte para a Sul. Situação que se inverte em maré vazante, na qual o fluxo ocorre da Baía Sul para a Norte. Este tipo de corrente deve ser uma das principais variáveis responsáveis pela distribuição sedimentar na camada de fundo da Reserva.

O clima de ondas é determinado pela ação dos ventos originados no Atlântico Sul. Na costa sul e sudeste brasileira, entre Chuí (RS) e Cabo Frio (RJ), as ondas incidentes são geradas pelos ventos alísios na maior parte do ano (ondas de NE). Para este setor, as ondas com maior capacidade de transporte sedimentar costeiro estão associadas aos sistemas frontais com origem na Antártica (TESSLER *et. al.* 2005). A área próxima mais bem compreendida neste quesito é a Ilha que Santa Catarina, onde Araújo *et. al.* (2003) descreve o regime de ondas. Segundo os autores, as ondulações (*swells*) do quadrante sul predominam em boa parte do ano, período de cerca 12 segundos, e vagas (*sea*) do quadrante leste, períodos menores e em geral, ondas irregulares. Em épocas mais frias, durante o outono e inverno, as ondulações de sul prevalecem sobre as vagas de leste; no verão há um balanço entre elas e na primavera há maior predomínio das vagas de leste (OLIVEIRA *et. al.*, 2008).

3 – MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Levantamento de dados pretéritos

A REBIO Arvoredo e áreas adjacentes já foram alvo de um grande número de pesquisas, englobando temas distintos. A maioria dos

trabalhos é da área biológica, devido principalmente à alta diversidade biológica encontrada no local (CARVALHO *et. al.* 1998). Os aspectos sedimentológicos na Reserva e região entorno também foram estudados por alguns autores, porém de relevância – principalmente devido à disponibilidade de dados sedimentológicos, para este presente estudo foram utilizadas duas dissertações de mestrado (ABREU, 1998; ALMEIDA, 2008) e um TCC (BERNARDO, 2008).

O trabalho de Abreu (*op. cit.*), aborda a distribuição sedimentar da plataforma continental do Estado de Santa Catarina entre o Rio Tijucas e Itapocu, com amostras provenientes do cruzeiro oceanográfico GEOCOSTA SUL-SC-001. Da malha amostral original foram usados 24 pontos no presente estudo. Almeida (*op. cit.*) estudou a área da baía e foz do Rio Tijucas. Os 10 pontos mais externos foram utilizados para maior detalhe da área, formando uma malha entorno da desembocadura do rio. A sedimentologia da Reserva foi também estudada por Bernardo (*op. cit.*), que igualmente utilizou os dados do cruzeiro oceanográfico GEOCOSTA SUL-SC-001 com o complemento de 14 amostras oriundas do cruzeiro GEOCOSTA SUL-SC-002.

As metodologias dos trabalhos citados foram avaliadas e consideradas compatíveis, permitindo a comparação dos resultados gerados. Com isso, foi possível obter dados de um total de 48 pontos amostrais pretéritos.

3.2 – Aquisição de dados batimétricos

Os dados batimétricos utilizados neste estudo foram processados anteriormente por Nascimento *et al.* (2011), que fez uso das bases compiladas pelo Plano Local de Desenvolvimento da Maricultura (PLDM), coordenado pelo Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometereologia de Santa Catarina (CIRAM), vinculado à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), com participação do Laboratório de Oceanografia Costeira da Universidade Federal de Santa Catarina (LOC/UFSC). A partir de Cartas Náuticas e das Folhas de Bordo da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) foi possível obter-se uma

grande quantidade de pontos batimétricos da área de estudo (>9000), Figura 2, que serviram de base para confecção de um mapa batimétrico para a área de estudo.

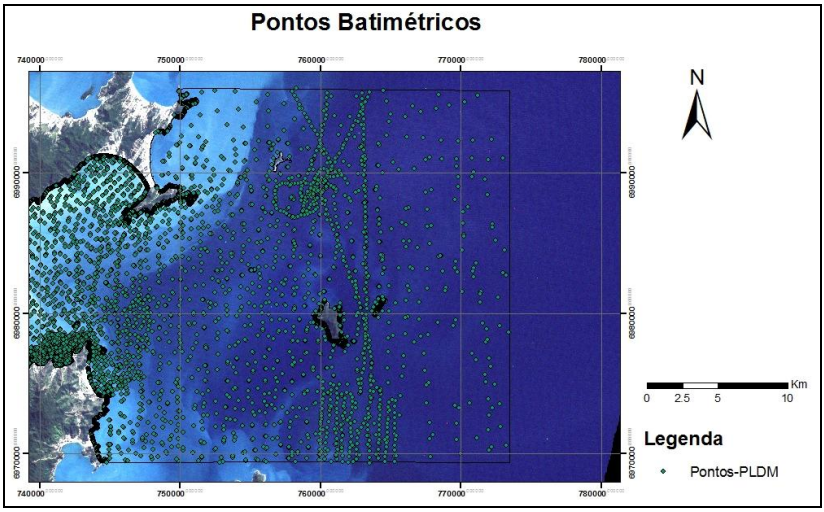

Figura 2. Pontos batimétricos do PLDM, nota-se a grande densidade de pontos.

3.3 – Coletas das amostras sedimentares

Considerando as lacunas existentes na área de estudo, o LOC/UFSC, através de uma cooperação com o Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros do Litoral Sudeste e Sul, vinculado ao Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (CEPSUL/ICMBio) realizou cinco campanhas para coleta de amostras complementares de sedimento nas seguintes datas: 08 a 09 de dezembro de 2009 (Cruzeiro ARV I), 03 a 04 de setembro de 2010 (Cruzeiro ARV III), 09 a 12 de dezembro de 2010 (Cruzeiro ARV IV), 21 a 24 de fevereiro de 2011 (Cruzeiro ARV V) e 17 a 19 de maio de 2011 (Cruzeiro ARV VI), conforme pode ser observado na Figura 3, totalizando a coleta de 36 amostras adicionais.

O equipamento utilizado foi um amostrador do tipo Van Veen operado a bordo no N/Pq. Soloncy Moura. Este foi acoplado a um

guincho motorizado, próprio do navio. A cada coleta, verificavam-se as coordenadas do ponto e a profundidade local através da ecossonda do navio. As amostras, após a coleta, foram congeladas na própria embarcação em embalagens previamente identificadas e com os metadados correspondentes. Com as amostras dos trabalhos pretéritos (48) somadas às 36 das campanhas do LOC/UFSC, a malha amostral com 84 pontos (FIGURA 4) foi considerada suficientemente densa e bem distribuída para que se permitisse a aplicação de técnicas de interpolação para toda a área de interesse.

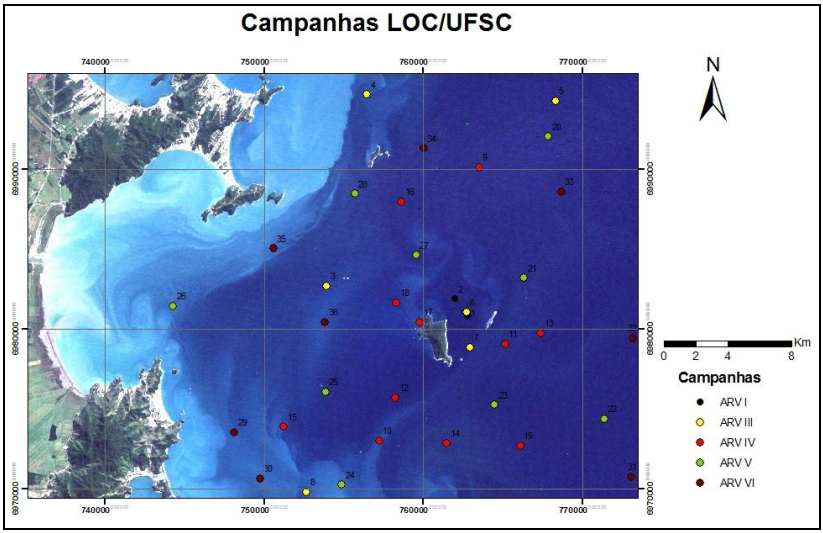

Figura 3. Localização dos pontos amostrados pelo LOC/UFSC.

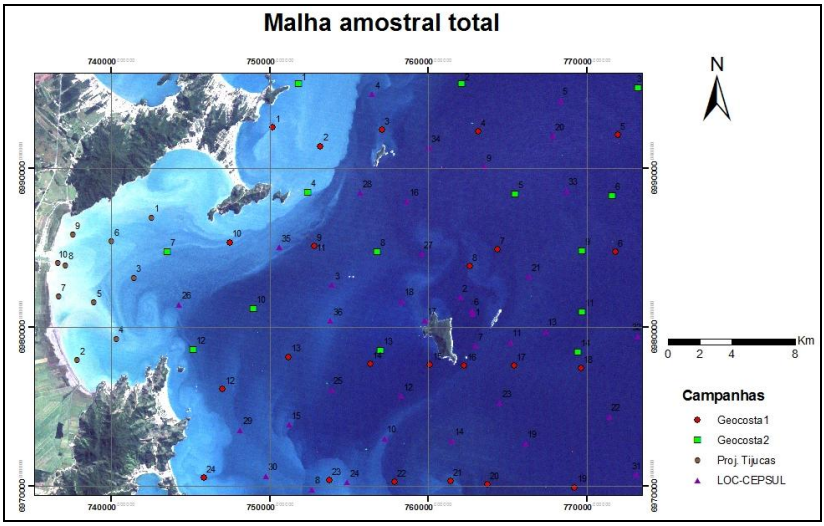

Figura 4. Pontos amostrais englobando campanhas do LOC e amostras de trabalhos anteriores, totalizando 84 pontos.

3.4 – Procedimentos de laboratório

3.4.1 – Análise sedimentar

A análise laboratorial englobou a granulometria, quantificação da matéria orgânica total e do carbonato biodetrítico, seguindo os procedimentos clássicos de sedimentologia descritos por Gross (1971) e Suguio (1973). Inicialmente as amostras foram lavadas para retirada dos sais solúveis, sendo posteriormente secas em estufa à temperatura de 60°C. Após este procedimento, o sedimento foi homogeneizado em macerador de cerâmica. É necessário frisar que procedimento adotado no LOC/UFSC prevê que apenas as partículas minerais sejam mensuradas. Assim, com as amostras secas e maceradas é necessário separar uma alíquota da amostra bruta, com cerca de 30g em balança de precisão. A partir desta massa inicial foi eliminado o carbonato biodetrítico, a matéria orgânica total e realizada então a análise granulométrica. Os dados sedimentológicos foram tabulados em

planilhas do *software* Excel 2007 e posteriormente tratados em diferentes *softwares*.

3.4.1.1 – Matéria orgânica total

A eliminação da matéria orgânica presente no sedimento é uma etapa necessária para as análises granulométricas, principalmente de amostras que contenham sedimentos finos, fornecendo o teor da matéria orgânica total (MOT) das amostras. Neste estudo a mensuração dos teores de MOT se deu através do processo de oxidação total com peróxido de hidrogênio (H_2O_2), com concentração inicial a 10%, aumentando gradualmente até uma concentração final de 30%, técnica adaptada de Gross (1971).

A partir da massa inicial de 30g, iniciou-se a eliminação da MOT em béqueres de 500 mL com a adição de H_2O_2 com concentração de 10%, deixando reagir por no mínimo 24 horas. No dia seguinte para acelerar a reação foi utilizada uma chapa quente com temperatura em 100ºC. Com a visível diminuição da reação, quando não há mais borbulhamento ou este for mínimo, aumenta-se a concentração do H_2O_2 para 30%, adicionando este reagente até quando não houver mais a formação de bolhas. Com o fim da reação, foi preciso enxaguar (lavar) a amostra com água filtrada. Este enxágue foi feito pelo menos três vezes. Como é necessário retirar o excesso de água para realizar a troca, deve-se esperar que o sedimento decante no fundo do béquer para não ocorrer perda de uma fração da amostra que possa ocasionar um erro no tratamento de dados.

Para finalizar o processo, secaram-se as amostras em estufa a 60°C, transfere-se a amostra seca para um dessecador com sílica até atingir a temperatura ambiente. Posteriormente foi realizada a pesagem com o uso de uma balança com precisão de três casas decimais. A diferença entre massa inicial e massa final da amostra irá expressar o teor de MOT existente na amostra sedimentar em gramas

3.4.1.2 – Carbonato biodetrítico

A queima do carbonato biodetrítico foi feita adaptando-se o procedimento de queima com Ácido Clorídrico (HCl), conforme Gross (1971). A partir da massa da amostra sem MOT, iniciou-se a queima em béqueres de 500 mL com a adição de HCl com concentração de 10% em temperatura ambiente. A amostra deve ser mistura com auxílio de um bastão de vidro em intervalos regulares até não haver mais reação (borbulhamento). A solução de HCl 10% é trocada diariamente até o término efetivo da reação. Com o fim da queima, seguindo o procedimento descrito no item anterior para a determinação dos teores de MOT, a amostra é lavada, posteriormente seca em estufa e resfriada no dessecador com sílica antes da pesagem. A diferença entre a massa inicial e a massa final revela a quantidade de carbonato biodetrítico presente nos sedimentos, apresentada na forma de concentração por amostra.

3.4.1.3 – Análise granulométrica

A análise do tamanho das partículas do sedimento foi realizada através dos métodos de peneiramento e pipetagem. O primeiro consiste em mensurar grãos que variam entre dois e 0,062 mm – sedimentos grossos. Já a pipetagem serve para identificar o tamanho dos sedimentos finos (silte e argila que formam a lama) com diâmetros inferiores a 0,062 mm através do registro do tempo de decantação do material fino. Ambos os processos são descrito por Suguio (1973).

Após a eliminação da MOT e queima do carbonato biodetrítico, com as amostras já lavadas, secas e maceradas é necessário realizar o peneiramento a úmido em peneira de 63µm a fim de separar as populações grosseiras e finas das amostras. O conjunto das partículas que passa pela malha da peneira será pipetado com o uso de provetas graduadas com 1000 mL de água filtrada e adição de 1 g de dispersante (Pirofosfato de Sódio) devido à tendência da argila de se aglutinar pelo excesso de cargas negativas. É um método baseado na velocidade de decantação das partículas expressa pela Lei de Stokes, com o tempo de pipetagem determinado em relação à temperatura do laboratório de

análise (24ºC). Os sedimentos grossos que ficam retidos na peneira foram secos em estufa a 60ºC e posteriormente peneirados com um intervalo de 0,5 fi (Ø) num conjunto de peneiras entre -1 a 4 Ø.

3.5 – Análise estatística e espacial de dados

3.5.1 – Parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957)

Os dados sedimentológicos foram tratados no *software* Sysgran 3.1. Foram obtidos os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957). Os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (*op cit.*) permitem a determinação do diâmetro médio (Mz), grau de seleção (Dp), assimetria (Ski) e curtose (Kg). Segundo Coimbra *et al.* (1991, *apud* Oliveira, 2004) o diâmetro médio consiste numa descrição unimodal da textura do sedimento predominante, podendo evidenciar as relações energéticas (hidrodinâmicas) locais, o grau de seleção é representado pelo desvio padrão, inserido nas relações energéticas e viscosidade do ambiente deposicional, podendo refletir a proveniência do sedimento. Ainda segundo este autor, a assimetria é a medida de afastamento do diâmetro médio em comparação com a mediana e a curtose, por seu turno, é uma medida de grau de achatamento da curva de frequência em relação à curva normal.

3.5.2 – Gráficos triangulares

O sedimento é composto por quatro grandes classes texturais, de acordo com diferentes intervalos de tamanho de grão: cascalho, areia, silte e argila. Representar estas classes graficamente através de qualquer método de classificação quaternária é algo difícil, por isso é usual utilizar diagramas ternários triangulares nos quais cada vértice representa 100% de uma classe elementar (comumente as classes do diagrama correspondem à areia, silte e argila). Os diagramas triangulares facilitam a visualização das proporções entre as classes e apoiam as interpretações sobre a e a hidrodinâmica sobre a qual o sedimento está sofrendo influência. (ALVEIRINHO DIAS, 2004). Para

este estudo, foram confeccionados os diagramas de Flemming (2000) através da rotina para o *software* Matlab 7.6.0 R2008a desenvolvida por Carl Sandrock (20020827) e de Shepard (1954) com o uso de uma rotina utilizada por Schettini *et. al.* (2002).

3.5.3 – Mapas de superfície e interpolação espacial

Um Modelo Digital de Terreno (MDT) consiste numa representação gráfica matemática de uma distribuição espacial de certa propriedade associada a uma superfície real, especialmente altura e/ou profundidade (LOPES, 1996). De forma similar a um MDT, podemos gerar mapas em duas dimensões a partir de diversas propriedades, tendo por base uma tabela com latitude, longitude e propriedade característica associada a um ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica). Após a interpolação dos dados é obtida um mapa de grade contínua da propriedade selecionada para uma área pré-definida.

Para a interpolação dos dados de batimetria foi utilizado o método *Inverse Distance Weighted* (IDW), disponível na extensão *Spatial Analys*t do *software* ArcGIS 9.3.1, tendo-se obtido bons resultados devido à grande quantidade de pontos disponíveis. No interpolador, por tentativa e erro, utilizou-se potência 1, número de pontos vizinhos amostrados igual a 12, raio variável e tamanho de célula final de 50 metros. O interpolador IDW é um método exato, capaz de representar a superfície real com grande fidelidade. O principal problema na utilização desta técnica de interpolação espacial, está na criação de núcleos circulares (*bull's eye*) (BULHÕES *et. al.*, 2012).

3.5.4 – Representação espacial da batimetria e características sedimentológicas

Para a confecção dos mapas de distribuição espacial das propriedades sedimentológicas foram empregados os parâmetros de Folk e Ward (1957), porcentagem de MOT, porcentagem de carbonato biodetrítico e porcentagens de areia e lama. Utilizou-se a mesma metodologia de interpolação para os dados batimétricos.

Bernardo (2008), que utilizou os 14 pontos amostrais do cruzeiro GEOCOSTA SUL-SC-002 não analisou dados de MOT. Com isso, para continuar com uma malha suficientemente densa de pontos, optou-se por realizar um tratamento estatístico (análise de regressão) para estimar tais valores.

Primeiramente foi conduzido um teste de correlação. O valor do coeficiente r que mede a intensidade da correlação foi de 0,77 indicando uma correlação forte. O coeficiente de determinação R^2 foi avaliado em 0,87, ou seja 87% da variância dos teores de MOT na área de estudo pode ser explicada pelo diâmetro médio do sedimento. O nível de significância estatística da correlação entre porcentagem de lama e MOT foi testada com o Teste T e posteriormente foi utilizado o Teste F. Com base nisso, foi feita a regressão linear com a aplicação da equação y = (0.0975*(x)) + 0.2097, da Figura 5, para se inferir os dados inexistentes para as 14 amostras do referido cruzeiro.

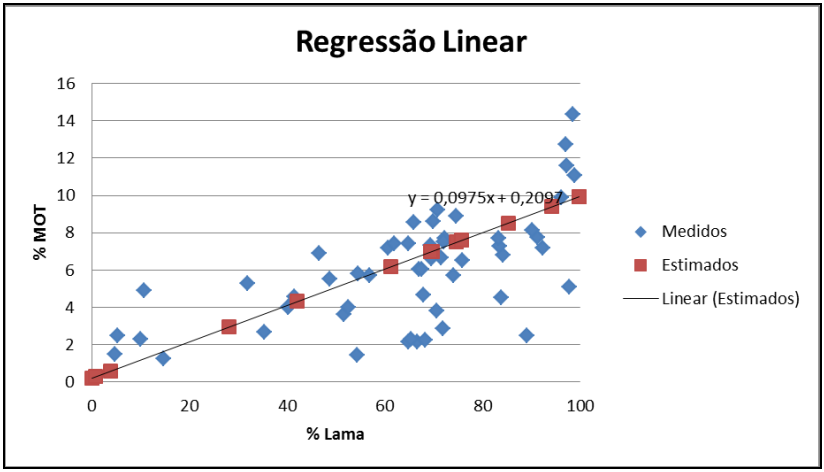

Figura 5. Gráfico da dispersão dos pontos no plano e a equação da regressão.

Uma melhor caracterização dos subambientes da área da REBIO Arvoredo foi realizada com o uso do aplicativo *Sediment Classification Tool* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, em inglês), disponível para o para o ArcGIS 9.3.1. Esta extensão do USGS é

baseada no programa *Sedclass* (POPPE *et al.* 2003). Este aplicativo permite fazer uma classificação da área através da sobreposição de quatro camadas *raster* (porcentagem de cascalho, areia, silte e argila) interpolados com o uso do método *Natural Neighborhs* (Vizinho Natural). É possível realizar duas classificações distintas, a de Shepard (1954) modificada por Schlee (1973) (FIGURA 6) e a de Folk (1954) (FIGURA 7).

Em síntese, através de técnicas de Geoprocessamento foram gerados mapas com o uso de diferentes métodos para análise do relevo submerso e das características sedimentológicas da REBIO Arvoredo.

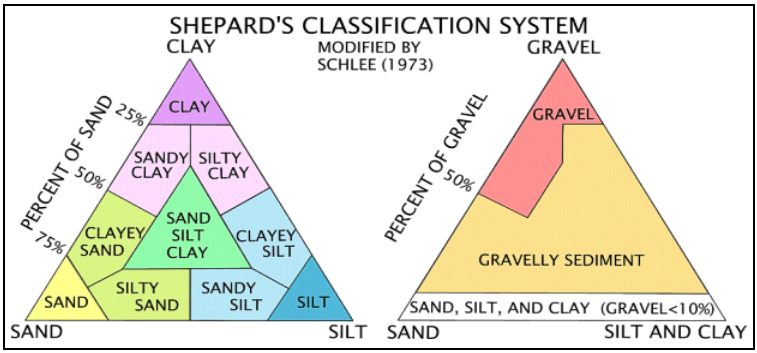

Figura 6. Diagrama ternário de Shepard (1954) modificado por Schlee (1973) utilizado no aplicativo da USGS. (Fonte: U.S. Geological Survey, 2007).

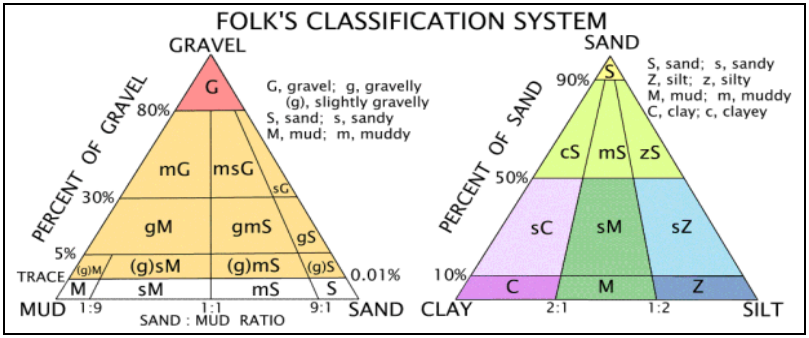

Figura 7. Diagrama ternário de Folk (1954) utilizado no aplicativo da USGS. (Fonte: U.S. Geological Survey, 2007).

3.5.5 – Análise estatística multivariada

A fim de se obter uma síntese dos resultados dos parâmetros granulométricos para a área de estudo, foram aplicadas uma Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*) e uma Análise de Componentes Principais (PCA – *Principal Components Analysis*). Sobre os dados obtidos.

A Análise de Agrupamento permite verificar se há um grau de similaridade estatisticamente significativo entre os pontos de coleta (Modo Q), podendo reuni-las num mesmo conjunto. Segundo Landim (2000) esse método visa criar agrupamentos homogêneos de itens representados por pontos num espaço n dimensional em um número conveniente de grupos, fazendo uso de coeficientes de similaridade ou de distância para relacionar as variáveis. Para a realização da análise de agrupamento, foi utilizado o coeficiente do quadrado da distancia euclidiana e a estratégia de agrupamento foi a da variância mínima (método de Ward). A PCA busca realizar um diagnóstico descritivo do conjunto de dados e a ordenação dos descritores em gradientes dentro deste conjunto. Este método estabelece, com base em uma matriz de semelhança, um conjunto de eixos perpendiculares. Desta forma, 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 *apud* VIEIRA *et al.* 2008). Basicamente, a PCA irá permitir que se avalie a contribuição de cada variável responsável pelo agrupamento.

Ambas as técnicas estatísticas foram aplicadas através do *software* MVSP (*MultiVariate Statistical Package for Windows*) (KOVACH, 2005) com a utilização as das seguintes variáveis: porcentagem de lama, diâmetro médio (Mz), grau de seleção (Dp), assimetria (Ski), curtose (Kg), e porcentagem em massa de carbonato biodetrítico. Como estas variáveis possuem diferentes magnitudes, foi necessária uma padronização dos dados em valores "z".

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Caracterização batimétrica

A Figura 8 exibe o mapa batimétrico da área de estudo utilizando os pontos de sondagem compilados pelo PLDM. A área de estudo, após interpolação, apresentou profundidade máxima de cerca de 56 metros em sua porção leste.

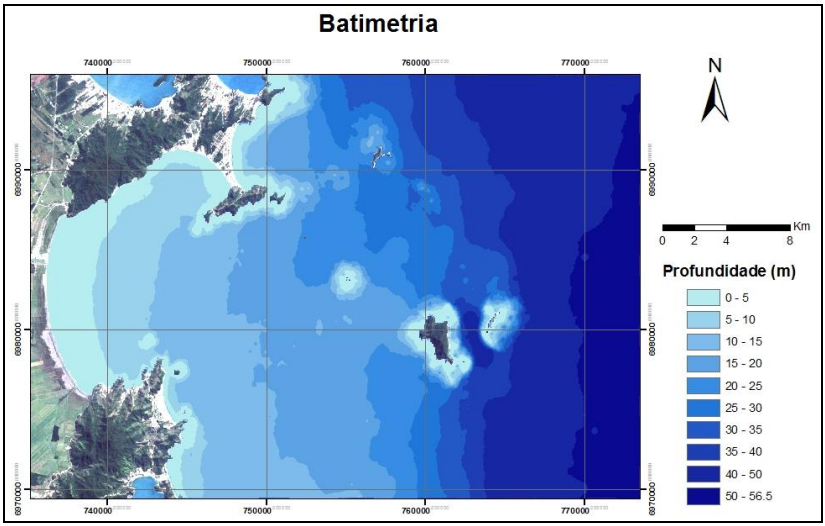

Figura 8. Batimetria da REBIO Arvoredo, Baía de Tijucas e áreas adjacentes.

Basicamente as isóbatas acompanham a orientação da linha de costa – que apresenta um comportamento irregular pela presença da Baía do Rio Tijucas situada entre dois promontórios rochosos (alguns com presença de pequenas reentrâncias) (ABREU, 1998). A Baía do Rio Tijucas apresentou profundidades entre 0 a 15 metros, sendo a porção com menor profundidade média da área de estudo.

Verifica-se a presença de uma "língua" com menor profundidade situada perpendicularmente à desembocadura do Rio Tijucas. Provavelmente, a descarga do rio influenciou diretamente na formação deste canal, aliado à ilha do Arvoredo que oferece uma proteção direta da ação mecânica de ondas oceânicas, o que fez com que ocorresse uma acumulação de sedimentos neste local (ABREU, 1998).

A partir da isóbata de 20 m, é possível verificar que há um aumento mais abrupto da profundidade, na qual as isolinhas encontram-se mais estreitas, aumentando o gradiente em direção a alto mar, sendo que as diversas ilhas locais têm uma influência de destaque no contorno batimétrico. Entre a ilha do Arvoredo e a ilha Deserta ocorre a formação de um canal com alta profundidade, da ordem de 50 metros, possivelmente devido ao afunilamento do fluxo pela presença das ilhas. Este canal/vale pode ter uma influência direta na penetração das massas d'água de fundo na região (CHLUDINSKI & BONETTI FILHO, 2002). Os resultados corroboram com os obtidos anteriormente por Bernardo (2008). Na ocasião, a autora usou o interpolador Vizinho Natural (*Natural Neighbors*) justificando que este método apresentou curvas batimétricas mais suavizadas.

4.2 – Caracterização sedimentológica

4.2.1 - Distribuição textural conforme Flemming (2000)

As características hidrodinâmicas permitem identificar áreas com maior predisposição à deposição de sedimentos com classes granulométricas distintas. Via de regra, há maior acumulação de sedimentos finos (menores que 0,062 mm) em locais menos energéticos (COIMBRA *et al.*, 1991) As forçantes hidrodinâmicas da área de estudo foram avaliadas de modo indireto através de uma adaptação Diagrama de Flemming (2000), apresentado na Figura 9.

Este diagrama constitui um bom indicador das relações energéticas e de sedimentação associadas à cada ponto amostral, levando em consideração as frações granulométricas areia, silte e argila.

No diagrama obtido observa-se a formação de três grupos de

amostras entre as 84 analisadas, já descritos por Nascimento (2011). Grupo 1: tendendo a elevados percentuais de areia, com muitas amostras com teor >95%, sendo associadas a maior hidrodinâmica, predominando em áreas mais abertas. Grupo 2: lama arenosa a lama levemente arenosa, ambas tendendo para maiores concentrações de argila (grupo mais homogêneo), sendo uma característica típica de regiões confinadas, no caso a Baía de Tijucas. Grupo 3: mais distribuído, variando de lama arenosa à lama, tendendo a maiores concentrações de silte, predomina na plataforma continental adjacente à área de estudo (leste da Reserva).

O mapa da distribuição textural simplificado de Flemming (2000), que usa uma classificação baseada na porcentagem de lama presente nas amostras, evidencia a presença de seis classes distintas na área de estudo (FIGURA 10). É possível verificar que a porção sul, oeste e sudoeste da ilha do Arvoredo apresentam os sedimentos superficiais com maior diâmetro, classificados principalmente nas litofácies areia, areia levemente lamosa e areia lamosa. Provavelmente, por esta ser uma área mais aberta e com a presença da Baía Norte da Ilha de Santa Catarina ao sul, ocorre maior circulação devido à corrente de maré vazante na localidade, como evidenciado por Oliveira (2008), formando um ambiente propício à deposição de sedimentos mais grossos. Vale ressaltar que a profundidade desta área com sedimentos mais grossos se situa num patamar intermediário, entre 5 e 30 metros de profundidade.

Como dito anteriormente, Abreu (1998) explica que a Baía do Rio Tijucas é basicamente preenchida por sedimentos finos devido ao bloqueio imposto pela presença do Arquipélago do Arvoredo, atuando de forma direta na diminuição da hidrodinâmica da Baía, o que faz com que esta aprisione os mesmos, facilitando a deposição de sedimentos finos que provém da drenagem continental através da desembocadura do Rio Tijucas. Ainda segundo Schettini e Klein (1997), a característica estratificada do estuário do rio permite a formação de uma pluma fluvial que evolui em direção ao norte. Como a Báia de Tijucas é confinada devido à presença da península de Porto Belo e do tombolo de Zimbros, o ambiente é propício à acumulação de sedimentos, especialmente de granulação fina.

Na porção leste da área de estudo, já no limite da plataforma interna, há presença de lama arenosa e lama levemente arenosa, sendo

que o tamanho da partícula de sedimentos diminui à medida que a profundidade aumenta. Também é possível inferir que existe uma faixa transicional de material entre lama e areia na direção norte-sul, possivelmente por haver uma corrente de maior intensidade nesta área, em comparação com a Baía de Tijucas.

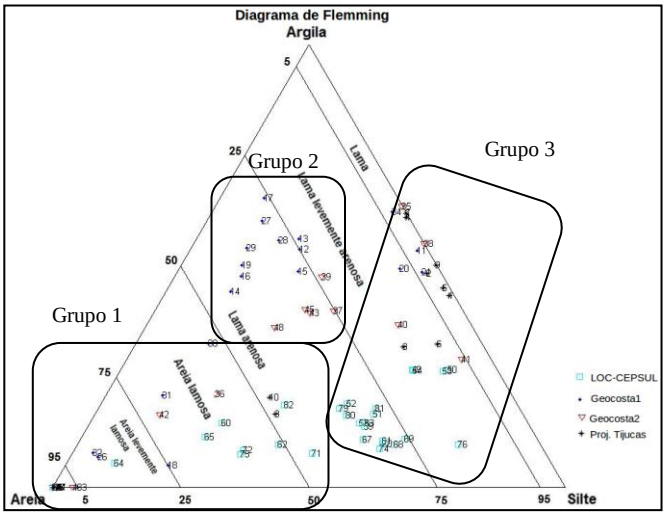

Figura 9. Diagrama ternário de Flemming (2000), utilizado para classificar as 84amostras.

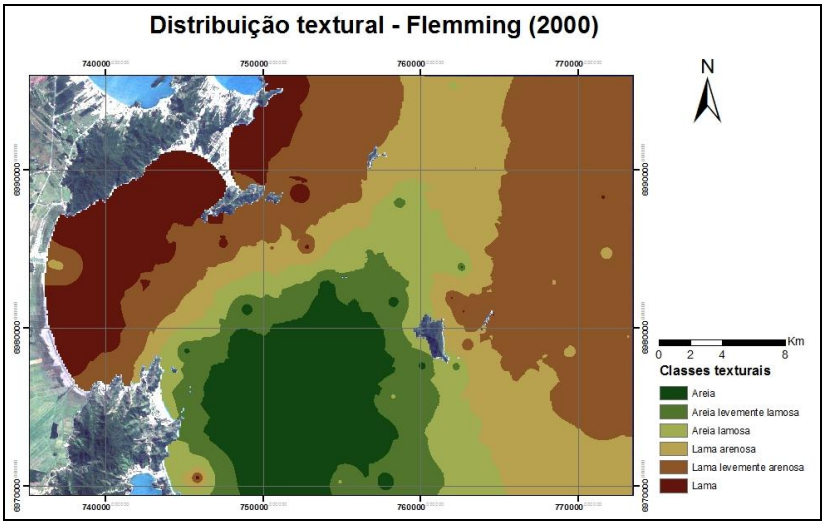

Figura 10. Superfície interpolada utilizando a nomenclatura adaptada de Flemming (2000).

4.2.2 - Classificação sedimentar de Shepard (1954) modificada por Schlee (1973) e de Folk (1954, 1974)

A classificação de Shepard (1954) é uma classificação puramente descritiva, na qual não há inferências sobre a hidrodinâmica, assim como a classificação de Folk (1954). O mapa resultante da classificação de Shepard (*op. cit.*) modificado por Schlee (1973) para a área de estudo, Figura 11, apresenta nove das 12 classes texturais propostas pelo autor. Podemos notar que por este método não há presença das classes texturais genéricas argila, silte e cascalho, conforme pode ser observado no Diagrama de Shepard (*op. cit.*) na Figura 12. Isto deve ao fato das diferentes escalas adotadas pelos autores.

A Figura 13 exibe o mapa resultante da classificação de Folk (1954), na qual são representados proporcionalmente os conteúdos de

cascalho, areia e lama. O autor utilizou vários princípios científicos nesta classificação, por exemplo, é dada uma grande importância na porcentagem de cascalho presente no sedimento devido à alta hidrodinâmica envolvida no processo de sedimentação desta classe (ALVEIRINHO DIAS, 2004). Esta classificação prevê um total de 25 classes (sendo composta por dois diagramas triangulares para sedimentos grossos e finos).

Em ambos os mapas, é possível perceber a semelhança com a caracterização sedimentar de Flemming (2000) apresentada no item anterior, com leve predominância de sedimentos finos. Conforme Cintrón & Schaeffer-Novelli (1983, *apud* BERNARDO, 2008) esta é uma característica de ambientes de baixa energia.

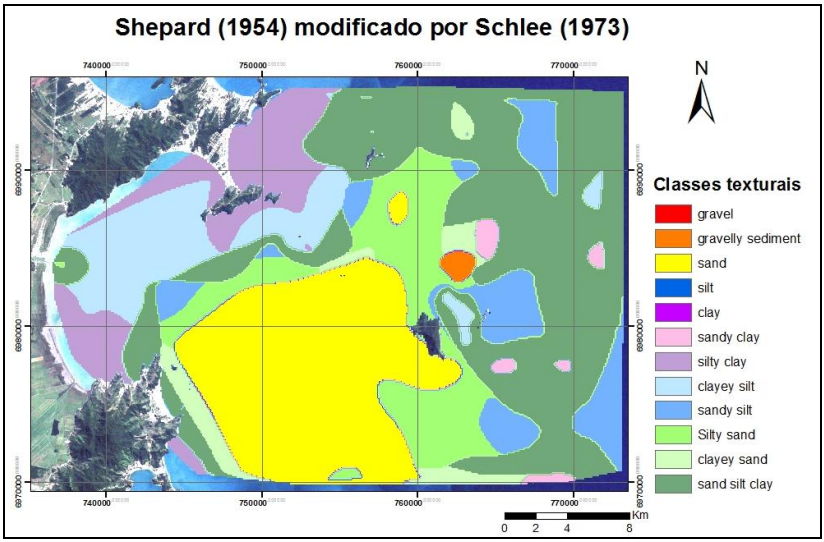

Figura 11. Mapa resultante da classificação proposta por Shepard, modificada por Schlee.

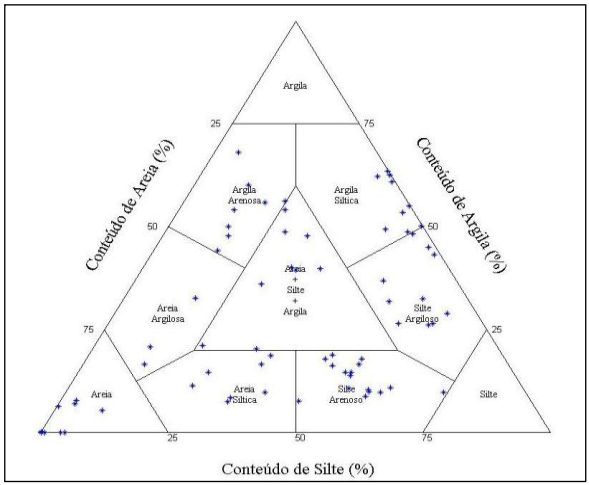

Figura 12. Diagrama de Shepard (1954).

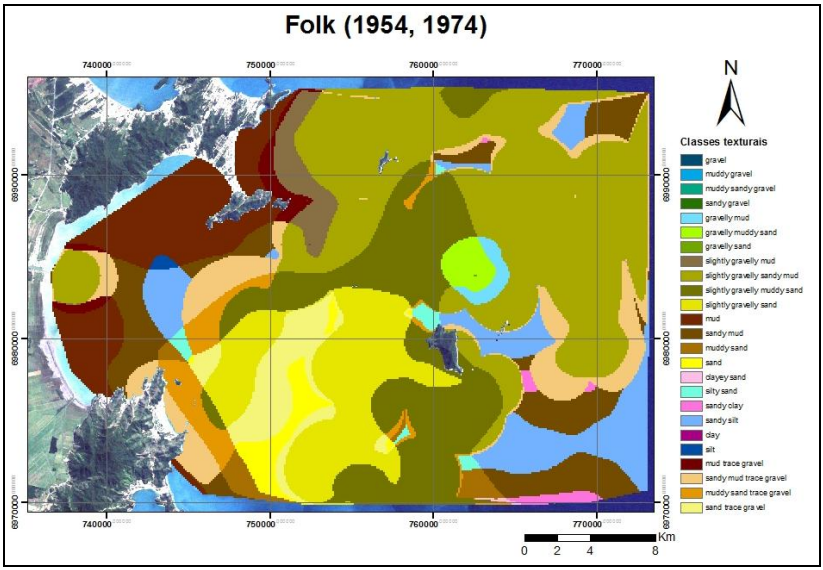

Figura 13. Mapa resultante da classificação proposta por Folk (1954).

4.2.3 - Parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957)

4.2.3.1 - Diâmetro médio

A Figura 14 exibe a distribuição espacial do diâmetro médio (expresso em Ø) baseado na nomenclatura proposta por Wentworth (1922). É possível notar um padrão semelhante ao mapa da classificação textural proposta por Flemming (2000)apresentada anteriormente, salientando que a nomenclatura de Wentworth (*op. cit.*) faz uso de 15 classes, sendo que 10 foram encontradas na área de estudo.

O diâmetro médio variou entre 0,14 e 9,25 Ø, ou seja, entre areia grossa e ultra-argila (os sedimentos finos representaram aproximadamente 74% da distribuição). A granulação média está associada diretamente com a fonte de sedimentos e com o nível de energia atuando em diferentes subambientes; sedimentos mais grossos são encontrados em ambientes com maior energia, enquanto clásticos finos são depositados em ambientes menos energéticos (COIMBRA *et al.*, 1991). Na área de estudo, aparentemente a granulometria média é influenciada tanto por fonte de clásticos como pelos padrões de circulação.

Na imagem, podemos verificar que na foz do Rio Tijucas, os sedimentos têm maiores diâmetros médios em comparação com o entorno, provavelmente a velocidade da descarga do rio não permite a deposição de sedimentos com tamanho médio muito inferior.

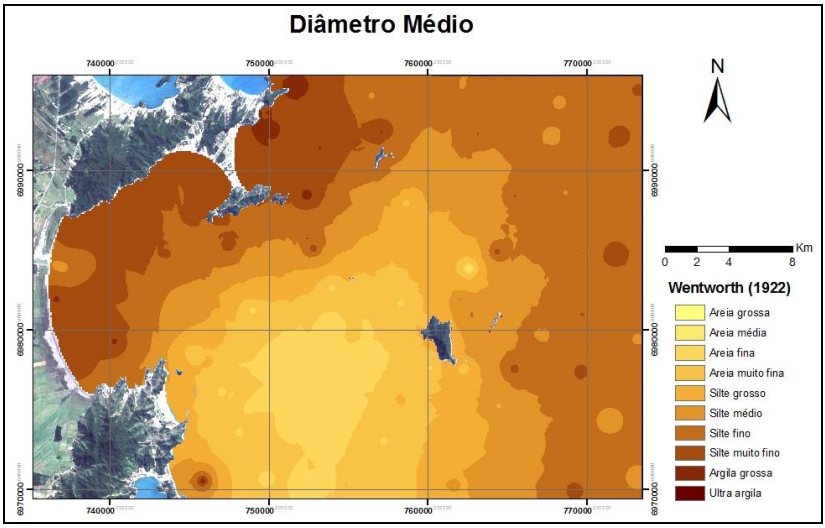

Figura 14. Mapa da distribuição do diâmetro médio para a área de estudo, utilizando os limites de Wentworth (1922).

4.2.3.2 – Grau de seleção

A área de estudo apresentou cerca de 53.5% de sedimentos classificados como 'Muito pobremente selecionados', 25% como 'Pobremente selecionados', 14.5% classificados como 'Bem selecionados', 4.75% 'Moderadamente selecionados' e 1.25% "Extremamente mal selecionados" (apenas um caso) como pode ser observado na Figura 15. Não houve presença de sedimento "Muito bem selecionado". Esta melhor seleção deve estar intimamente relacionada com a granulometria do sedimento e com a baixa profundidade do substrato, que potencializam as correntes de maré (CORRÊA e ÁVILA, 2001 *apud* BERNARDO, 2008). Estes resultados concordam com Bernardo (*op. cit.*), que classificou a área de estudo com 71% de sedimentos muito pobremente selecionados. Provavelmente esta diferença explica-se na quantidade de pontos amostrados em ambos os trabalhos e à adição de pontos adicionais nesta pesquisa. As amostras bem selecionadas e moderadamente selecionadas corresponderam às frações entre areia grossa e areia fina. Sedimentos muito pobremente

selecionados são em sua maioria silte e argila, estando localizados na Baía de Tijucas e nas porções mais a leste da área de estudo.

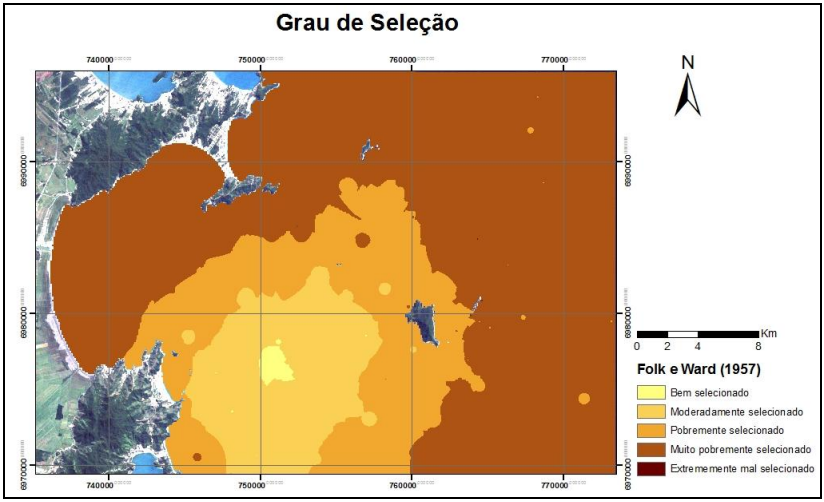

Figura 15. Mapa da distribuição do grau de seleção para a área de estudo, utilizando os limites de Folk & Ward (1957).

4.2.3.3 – Assimetria

Os valores de assimetria podem ser positivos ou negativos. Caso se situem no lado esquerda da média são negativos, sendo positivos para a direita. A assimetria positiva indica que a amostra possui uma cauda de grãos mais finos, enquanto a assimetria negativa indica uma cauda de sedimentos mais grossos. Aproximadamente 31% das amostras foram classificadas com assimetria muito positiva, 21% aproximadamente simétrica, 20% assimetria positiva, 15% assimetria negativa e 12% assimetria muito negativa (FIGURA 16).

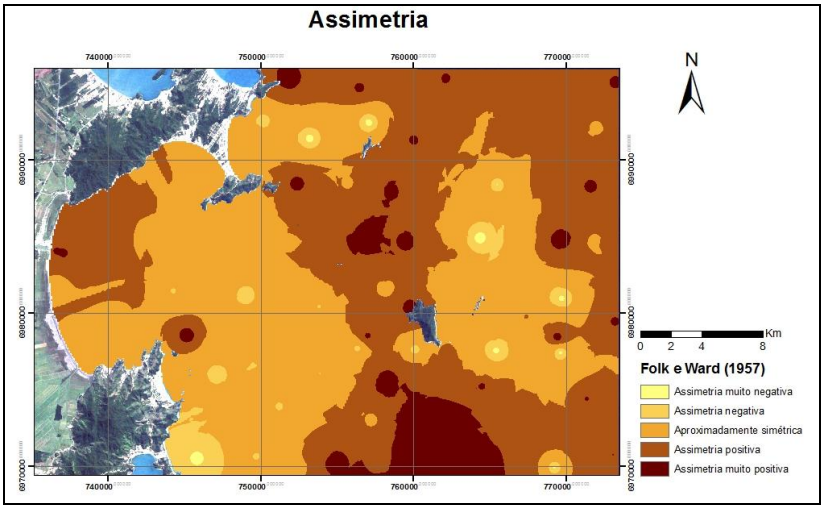

Figura 16. Mapa da distribuição da assimetria para a área de estudo, utilizando os limites de Folk & Ward (1957).

4.2.3.4 – Curtose

A Figura 17 exibe o resultado das interpolações utilizando os dados de curtose. A maior parte das amostras foi distribuída entre Muito Platicúrtica (42%) e Platicúrtica (41%), estando relacionadas a sedimentos mais finos. Verificou-se, portando, maior achatamento dos histogramas em comparação com a distribuição normal.

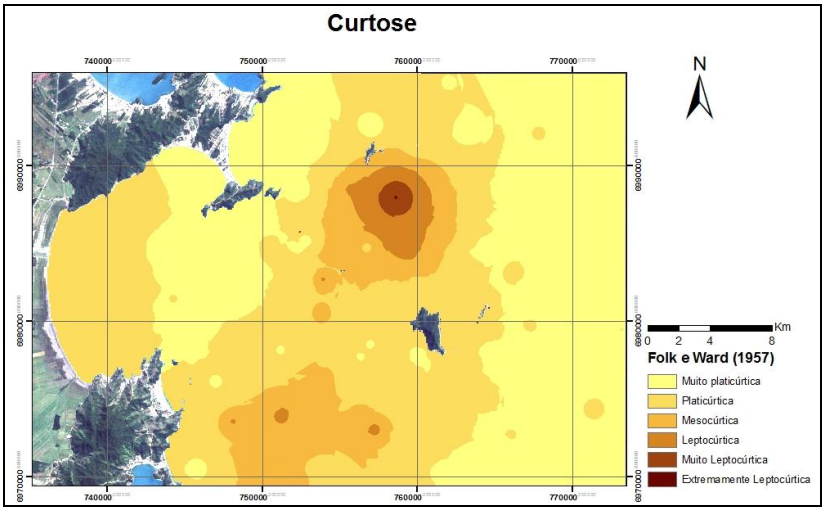

Figura 17. Mapa da distribuição da curtose para a área de estudo, utilizando os limites de Folk & Ward (1957).

4.2.4 – Distribuição dos teores de matéria orgânica total

A quantidade de MOT presente na camada mais superficial do sedimento inconsolidado é microbiologicamente muito importante, pois constitui um substrato para colônias de bactérias heterotróficas que degradam proteínas e carboidratos, e que pode causar alterações físico-químicas no ambiente (MAGLIOCA *et al*. 1964 *apud* OLIVEIRA, 2004). Ainda segundo esse autor, a MO possui uma relação direta com a topografia do fundo e com a distribuição textural, na qual a matéria orgânica é depositada sob as mesmas condições energéticas favoráveis à deposição de sedimentos finos.

Os valores de MO (FIGURA 18) encontrados variaram entre 0% a 19,01%. Os altos teores encontrados na área de estudo, indicam uma condição hidrodinâmica de confinamento (indicativo de ambientes redutores ou de baixa degradação de matéria orgânica). Devido à maior presença de sedimentos finos, maior grau de confinamento além da influência antrópica, a Baía do Rio Tijucas apresentou as maiores concentrações de MO em comparação com as áreas adjacentes.

Ocorrem sedimentos com baixos teores de MO a oeste da Ilha do Arvoredo, com esse padrão se estendendo em uma faixa aproximadamente de norte a sul. Os resultados aqui apresentados corroboram em parte com os obtidos por Santos *et. al.* (1996 *apud* IBAMA, 2004). Na ocasião, o autor encontrou utilizou 25 pontos amostras e o maior valor encontrado foi de 12% no interior da Baía de Tijucas.

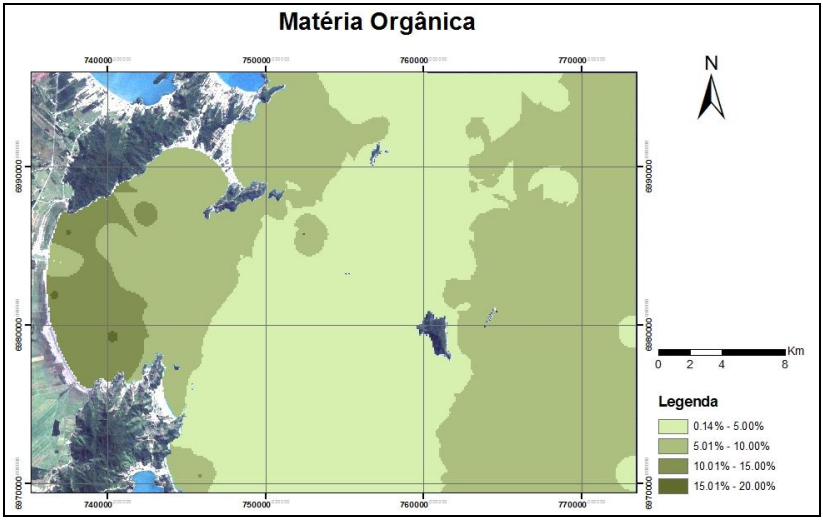

Figura 18. Distribuição dos teores de matéria orgânica total, expresso em porcentagem em massa.

4.2.5 - Distribuição dos percentuais de carbonato biodetrítico

Ocorreu uma variação entre 0,75 e 37,93% de carbonato biodetrítico na área. O maior valor ocorre ao norte da Ilha do Arvoredo, possivelmente por influência de um banco de algas calcárias (METRI, 2006 *apud* BERNARDO, 2008) como pode ser visto na Figura 19. A Baía de Tijucas bem como a área mais ao sul da área de estudo - com muita influência da Baía Norte, aparentam influenciar a concentração de carbonato biodetrítico; a Baía devido ao aporte de sedimentos finos e a

região de trocas de águas entre a Baía Norte e as águas oceânicas adjacentes pela maior circulação.

Segundo a classificação de Larsonneur (1977 *apud* VIEIRA *et al.*, 2008), os sedimentos superficiais de fundo podem ser agrupados em duas fácies distintas em função da quantidade de carbonato biodetrítico: litoclástica (carbonatos < 30%; sendo predominante) e litobioclástica (> 30 % carbonatos < 50 %).

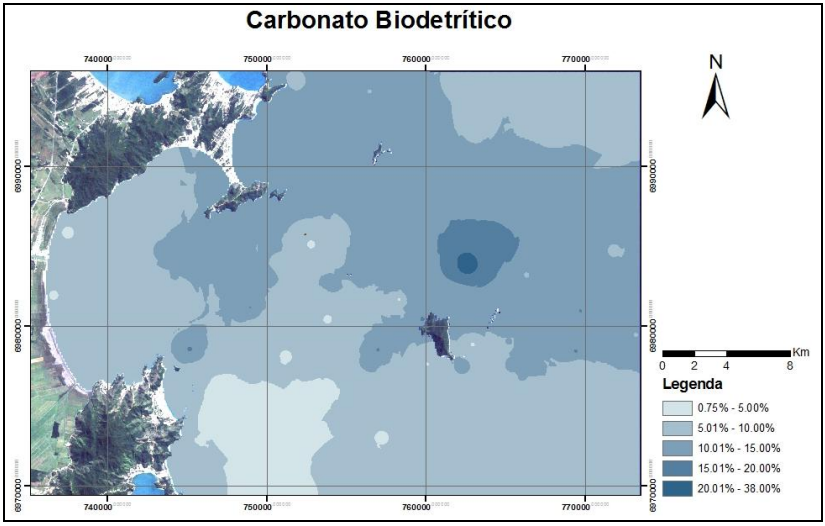

Figura 19. Distribuição da concentração de carbonato biodetrítico, expressa em porcentagem em massa.

4.2.6 – Análise de agrupamento

O agrupamento das amostras de acordo com as suas características sedimentológicas levou à identificação de três grupos amostrais, ou seja, podem ser reconhecidos três subambientes sedimentares distintos. Pela avaliação do dendrograma (FIGURA 20) obtido a partir da Análise de Agrupamento é possível notar uma maior semelhança entre os Grupos 2 e 3. O resultado espacial da classificação

em subambientes para a área de estudo pode ser visto na Figura 21. O Grupo 1, é caracterizado por sedimentos com maior tamanho médio, já os demais grupos possuem menor tamanho médio – finos em geral. Estes subambientes formados podem ser mais bem compreendidos com uso da PCA, no próximo item.

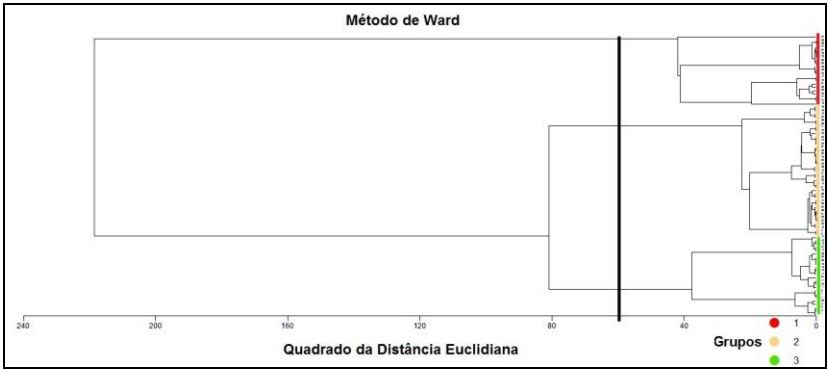

Figura 20. Dendrograma representativo do agrupamento das 84 amostras sedimentares em três subambientes, com um corte na altura de aproximadamente 60.

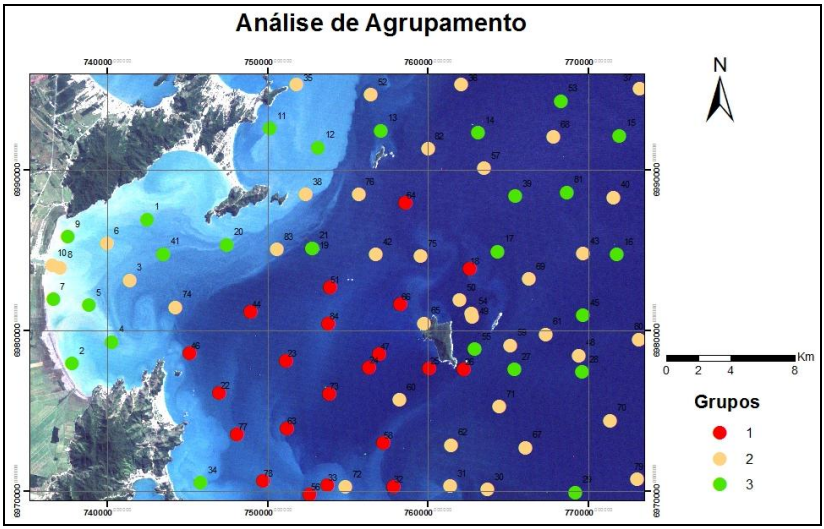

Figura 21. Distribuição dos pontos com seus respectivos subambientes formados.

4.2.7 – Análise de componentes principais

A matriz de dados utilizada nesta análise foi a mesma utilizada na Análise de Agrupamento e o gráfico com os descritores relacionados com as amostras encontra-se na Figura 22. Os três primeiros autovetores (eixos) explicam cerca de 83 % da distribuição (TABELA 1). No Tabela 2, é possível visualizar a importância de cada variável e sua contribuição. A matriz de dados pode ser entendida como uma grade de correlação, na qual existe um peso para a importância de cada vetor na correlação, o sinal negativo expressa correlação negativa, ao contrário para o sinal positivo.

Vetores	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3
Autovalores	3,586	1,218	0,993
Porcentagem	51,227	17,405	14,185
Porcentagem acumulada	51,227	68,632	82,817

Tabela 1. Contribuição dos autovetores através da PCA

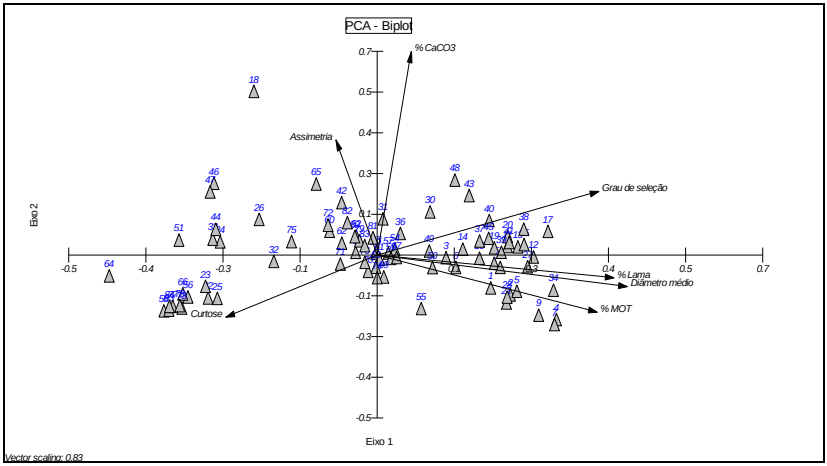

Figura 22. Vetores referentes à PCA. A orientação e tamanho de cada vetor revela sua importância na distribuição de cada descritor.

Descritores sedimentológicos	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 3
Finos (%)	0,448	-0,087	0,207
Carbonato (%)	0,069	0,784	-0,223
Matéria orgânica (%)	0,447	-0,219	0,200
Diâmetro médio (Mz)	0,508	-0,121	0,080
Grau de seleção (Dp)	0,451	0,246	-0,009
Assimetria (Ski)	-0,084	0,444	0,806
Curtose (Kg)	-0,308	-0,238	0,460

Tabela 2. Importância das variáveis em cada uma dos três primeiras componentes principais (eixos) extraído da matriz de correlação. Os descritores mais importantes são os com maior peso.

Neste estudo, cada um dos Componentes Principais obtidos podem ser caracterizados da seguinte forma:

- Eixo 1: Apresenta maior relação inversa com as variáveis: porcentagem de finos, matéria orgânica, diâmetro médio e grau de seleção. Há relação positiva com a porcentagem de areia. Neste eixo, é notável a relação de aumento da lama com maior concentração de matéria orgânica. E sedimentos com maior porcentagem de areia possuem maior grau de seleção.

- Eixo 2: Este componente esboça a importância da concentração de carbonato biodetrítico em oposição à curtose na distribuição da nuvem de pontos.

- Eixo 3: Podemos notar a relação presente entre assimetria e carbonato biodetrítico, e a não relação deste descritor com grau de seleção e curtose.

5 – CONCLUSÕES

Este estudo caracterizou a distribuição sedimentar da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e áreas adjacentes. A área de estudo em questão já foi alvo de alguns estudos que abordaram aspectos sedimentológicos, porém, nenhuma utilizou uma malha amostral tão densa como a da presente pesquisa. Foi aplicado diferentes técnicas de análise espacial e estatística a fim de se obter as porções com maior similaridade sedimentológica do fundo da REBIO Arvoredo.

A Baía de Tijucas apresentou sedimentos finos, ricos em matéria orgânica e com as amostras distribuídas entre os Grupos 2 e 3. A leste da Reserva, nas porções mais profundas da área de estudo, é observado o mesmo padrão de distribuição espacial, ambos com amostras tendendo à sedimentos finos. Porém, em comparação com a Baía de Tijucas, os teores de MO são consideravelmente menores. A porção da área de estudo com sedimentos mais grosseiros, ocupou basicamente o Grupo 1. É evidente a maior hidrodinâmica local, devido à ação das correntes de marés locais. Os teores de carbonato biodetrítico foram pequenos nesta porção.

Foi possível classificar o substrato da área do estudo em três subambientes, com base em diferentes descritores sedimentológicos. As diferentes propostas de classificação textural utilizadas demonstraram a complexidade dos sedimentos superficiais na Reserva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J. G. N. *Contribuição à sedimentologia da plataforma continental interna de Santa Catarina entre a foz dos rios Tijucas e Itapocu*. 1998. 67f. Dissertação (Mestrado em Geologia Marinha) – Universidade Federal Fluminense, Niterói. 1998.

ALMEIDA, D. C. de. *Diagnóstico da distribuição de sedimentos finos e processos físicos associados na Baía de Tijucas – SC*. 2008. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí. 2008.

ALVEIRINHO DIAS, J. M. *A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos*. 2004. Disponível em <http://w3.ualg.pt/~jdias/JAD/eb_Sediment.html>. Acesso: 15/12/2012.

ARAÚJO, C.E.S.; FRANCO, D.; MELO FILHO, E.; PIMENTA, F. Wave Regime Characteristics of Southern Brazilian Coast. *International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries* - COPEDEC, 6, Colombo, Sri Lanka, Paper No.97, 15p. 2003.

BERNARDO, N. A. *Sedimentologia da área de entorno da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo*. 2008. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí. 2008.

BIGARRELA, J.J. Subsídios para o estudo das variações de nível oceânico no quaternário brasileiro. *Academia Brasileira de Ciências*. v.37, suplemento, p. 263-278, 1965.

BONETTI, J.; NUNES, M. G.; OLIVEIRA, M. S. C. CARVALHO, J.L.B. & SCHETTINI, C.A.F. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica do litoral Centro Norte de Santa Catarina. *Reunião Especial da SBPC*, Florianópolis, 3, p. 406, 1996.

BULHOES, E ; DRUMOND, M. Análises e Testes de Interpolação de Dados Batimétricos e Granulométricos: Exemplos em Armação dos

Búzios, *Rio de Janeiro. Cadernos de Estudos Geoambientais*, v. 1, p. 6-31, 2012.

CARUSO Jr, F. *Geologia do Cenozóico de Santa Catarina*. 11º Distrito do DNPM. Relatório Interno, Florianópolis, p. 197-204, 1987.
CARVALHO, J. L. B.; SCHETTINI, C. A. F.; RIBAS, T. M. Estrutura Termohalina do Litoral Centro-Norte Catarinense. *Notas Técnicas Facimar* - 2:181-197- 17 p, 1998 .

CHLUDINSKI, A.P. *Integração de Dados Oceanográficos e de Sensoriamento Remoto na Analise Espacial de Águas Costeiras Visando a Setorização da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Baía de Tijucas, SC*. 2001. 147f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

CHLUDINSKI, A. P.; BONETTI, J. Aplicação de um Modelo Digital de Terreno na Caracterização do relevo submerso da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo e Baía de Tijucas – SC. *Gerenciamento Costeiro Integrado*, vol. 1, n. 2, p. 13-14, 2002.

COIMBRA, A.M.; GÓES, A.M.; YAMAMOTO, J.K. Análise Granulométrica de Sedimentos. *Apontamentos de Sedimentologia* - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

COSTA, R.G. *Gestão compartilhada: uma perspectiva para a efetiva implementação da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo - SC*. 2003. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

DIEHL, F.L. & HORN FILHO, N.O. *Compartimentação geológico-geomorfológica da zona litorânea e planície costeira do Estado de Santa Catarina*. Notas Técnicas, 9, p. 39-50, 1996.

FLEMMING, B.W. A Revised Textural Classification of Gravel-Free Muddy Sedimentation the Basis of Ternary Diagrams. *Continental Shelf Research*, 20, p. 1125-1137, 2000.

FOLK, R. L. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *Journal of Geology*, v. 62, n 4, p. 344-359, 1954.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.27, n.1, p. 3-26. 1957.

FOLK, R.L. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin: Hemphill Publishing Co., 1974. 182 p.

GROSS, M.G. Carbon Determination. *Carver, R.E (Ed) Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley Interscience, New York, 1971.

GUIMARÃES, M. de S. D.; CATANZARO L. F.; BAPTISTA NETO, A.; VILELA, C.; BREHME, I. Caracterização Textural dos Sedimentos Superficiais e de Fundo e Dinâmica Sedimentar na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro. *Revista Tamoios*, Rio de Janeiro, n. 2, Ano IV. ISSN 1980 – 4490. 2007.

HORN FILHO, N.O.; DIEHL, F.L.; AMIN JR, A.H.; MEIRELES, R.P. ABREU, J.G.N. Coastal Geology of the Central-Northern cost of the state of Santa Catarina, Brazil. *Journal of Sedimentary Research*. SI.39, p. 1723-1726. 2004.

IBAMA. 2004. Plano de Manejo da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo: Encarte 3 – Análise da UC. Brasília, 209p.

LANDIM, P.M.B. *Analise Estatística de Dados Geológicos Multivariados*. Textos Didáticos 3. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 120p, 2000.

LOPES, E.S.S. Curso de Geoprocessamento – Formatos de Dados em um SIG, Representação Geográfica e Topologia. *Módulos de um SIG*. São José dos Campos: Centro de Ciências Exatas Naturais e Tecnológicas CCENT, LabGeo. Universidade de Ribeirão Preto, 1996, p.52-68.

KOWSMANN, R.O.; COSTA, M.P.A; VICALVI, M.A.; & GAMBOA, L.A.P. Modelo da Sedimentação Holocênica na Plataforma Continental Sul-brasileira. *Evolução Sedimentar Holocência da Plataforma Continental e do Talude Sul do Brasil*, Rio de Janeiro. Série Projeto REMAC, n 2, 96 p. PETROBRAS, CENPES, DINTEP. 1977.

KOVACH, W. L.. *MVSP - A MultiVariate Statistical Package for Windows*, V 3.1. Kovach Computing Services, Pentraeth, Wales, U.K. 2005.

KUMPERA, B. *Contribuição ao processo sedimentar atual no Canal do Ararapira, sistema-estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP)*. 2007. 118 p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Geológica) – IOUSP – São Paulo, 2007.

MÁRIO, H. F. S.; FRANCO, D.; GUIMARÃES, S. C. Contribuição ao estudo da dinâmica de marés e correntes na Baía de Florianópolis. In*: II Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica* - Rio Grande, 9p, 2006.

NASCIMENTO, L. V. R. P. *Caracterização da paisagem marinha do compartimento de fundo da reserva do Arvoredo – SC com base em técnicas de análise espacial*. 2011. 6f. Relatório de Iniciação Científica (CNPq) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2011.

NASCIMENTO, L. V. R. P.; PACHECO, F.C.; PAQUETTE, M. L.; ABREU, J. G. N. de; BONETTI, J. Caracterização Sedimentológica da Área de Entorno da Reserva Biológica Marinha do Arvoredo Com Base na Proporção Entre Areia e Lama. *Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, 2011, Armação dos Búzios. XIII ABEQUA, 2011.

OLIVEIRA, D. A. G. *Caracterização bio-sedimentológica e proposta de setorização das lagunas de Camacho & Garopaba do Sul e Santa Marta, Santa Catarina, Brasil*. 2004. 99f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

OLIVEIRA, U. R. ; BARLETTA ; PEIXOTO, J. R. V. ; HORN FILHO, N.O. Variabilidade Morfológica da Praia do Pântano do Sul, Ilha de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 38, p. 566-576, 2008.

PIOLA, A. R.; MATANO, R. P.; PALMA, E. D.; MÖLLER JR, O. O.; CAMPOS, E. J.D. The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf. *Geophysical research letters*, vol. 32, 18 p. 2005.

POPPE, L.J., ELIASON, A.H., AND HASTINGS, M.E. A Visual Basic program to classify sediments based on gravel-sand-silt-clay ratios. *Computers & Geosciences*, v. 29, no. 6, p. 805-809. 2003.

SANTOS, C.A. & J.M.L. DOMINGUEZ. Sedimentação na plataforma continental entre Serra grande e Olivença – costa central da Bahia. *Congresso da Associação Brasileira de Estudo do Quaternári*o – ABEQUA, 10. Guarapari, ES, 9 a 16 de outubro de 2005.

SCHETTINI, C.A.F.; CARVALHO, J.L.B.; JABOR, P. Hidrologia e Distribuição de Material em Suspensão de Quatro Estuários de Santa Catarina. *Simpósio Sobre Oceanografia*, 3, São Paulo, Resumos. IO-USP, p333. 1996.

SCHETTINI, C.A.F.; KLEIN, A.H.F. Aspectos da Dinâmica Sedimentar da Baía de Tijucas. *Anais Semana Nacional de Oceanografia*, 10, Itajaí, Resumos Expandidos. FACIMAR/UNIVALI, pp493- 495. 1998.

SCHETTINI, C.A.F. ; SANTOS, M. I. F. ; ABREU, J. G. N. Observações dos Sedimentos de Fundo de uma Plataforma Abrigada sob Influência de Atividade de Dragagem: Saco dos Limões, Florianópolis, SC. *Notas Técnicas da FACIMAR*, Itajaí, v. 6, p. 165-175, 2002.

SCHLEE, J. Atlantic continental shelf and slope of the United States – sediment texture of the northeastern part. *U. S. Geological survey professional paper*, 529 L, 64 p. 1973.

SHEPARD, F.P. Nomenclature based on sand-sil-clay rations. *Journal of Sedimentary Petrology*. v.24, n.3, p. 151-158, 1954.

SILVA, L. F. da. Identificação de sub-ambientes na Baía Sul (SC) com base na análise de variáveis oceanográfico-sedimentares. 2002. 105 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

SOUZA, L.A.P. *Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas*. 2006. 311p. Tese (Doutorado em Oceanografia Geológica) – IOUSP – São Paulo, 2006.

SUGUIO, K. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo: Ed Edgard Blucher Ltda, 1973. 317 p.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. *ArcMap Sediment Classification Tool: Installation and User Guide*. John O'Malley, Reston, Open-File Report 2007-1186, 2007. 38 p.

TESSLER, M. G. ; CAZZOLI Y GOYA, S. V. . Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. *Revista do Departamento de Geografia (USP)*, v. 17, p. 11-23, 2005.

TOMAZZOLI, E.R.; STRENZEL, G.M.R. Aspectos geológicos da Ilha do Arvoredo – SC. Anais *38º Congresso brasileiro de geologia*, Balneário Camboriú, v.3, p. 9-10, 1994.

VIEIRA, C.V.; HORN FILHO, N. O.; BONETTI, J.; BONETTI, C.V.C. Caracterização morfosedimentar e setorização do complexo estuarino da baía da babitonga/SC. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, n. 62-63, p. 85-105, 2008.

WENTWORTH, C.K. A scale os grade and class terms for clastic sediments. *Journal of geology*, v. 30, 377-392 p. 1922.