Lauro Calliari
LABORATÓRIO DE OCEANOGRAFIA GEOLÓGICA – LOG, DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG

Elírio E. Toldo Jr.
CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEÂNICA – CECO, INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS

João L. Nicolodi
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS – IG/ UFRGS

Nikolai Speranski
LABORATÓRIO DE OCEANOGRAFIA GEOLÓGICA , DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG

Luiz E. S. B. Almeida
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – IPH
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS

Sávio Freire Lima
PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, IPH/UFRGS

Luciana Slomp Esteves
LABORATÓRIO DE OCEANOGRAFIA GEOLÓGICA, DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG

Luiz R. Martins
CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEÂNICA – CECO, INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS

CLASSIFICAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

Lauro Calliari
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS / LABORATÓRIO DE OCEANOGRAFIA GEOLÓGICA – LOG

Elírio E. Toldo Jr.
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS / CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEÂNICA – CECO

João L. Nicolodi
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS – IG/ UFRGS

Resumo

A costa do Rio Grande do Sul é caracterizada por uma longa barreira arenosa com orientação geral Nordeste-Sudoeste. Superimposto nesta orientação geral, alternância de segmentos levemente côncavos e convexos se estendem desde os promontórios rochosos localizados em Torres até o Arroio Chuí na fronteira entre Brasil e Uruguai. A associação entre a morfologia da plataforma continental, altura significativa das ondas em torno de 1,5 m e um regime de micromaré, proporciona um bom exemplo de uma barreira dominada por ondas, razão pela qual poucas desembocaduras lagunares e fluviais existem ao longo de 620 Km de costa. Embora a maré astrônomica seja reduzida com amplitude média anual de 0.47 m, tempestades provenientes do quadrante sul induzem marés meteorológicas que ocasionam sobrevelevação de 1.3 m amplificando sensívelmente os efeitos de erosão sobre a costa. Deriva litorânea líquida na barreira é em direção ao nordeste, como consequência, praias localizadas a montante das estruturas que fixam os canais de navegação de acesso aos sistemas lagunares e fluviais apresentam acresção. A orla do RS é caracterizada por planícies de cristas de praia com cordões litorâneos largos dominados por ondas. As unidades morfodinâmicas estão predominantemente representadas por praias intermediárias e dissipativas, onde determinados setores intermediarios adquirem temporalmente características refletivas. A intensa atividade éolica caracteristica marcante da costa do RS, a presença localizada de afloramentos rochosos e o reduzido numero de embocaduras lagunares e fluviais imprimem variabilidades adicionais ao longo da orla.

Abstract

The Rio Grande do Sul coastline is characterized by a long sandy barrier with a main Northeast-Southwest orientation. Superimposed in this general trend there are several alternated concave and convex sectors which extends from the rocky headland of Torres to Chuí at the Brazilian-Uruguayan border. Association between continental shelf width, mean significant wave height of 1.5 m and a microtidal regime provides a good example of a wave dominated barrier reason by which there are only five inlets along 620 Km of shoreline. Although the astronomic tide is reduced with a mean annual amplitude of 0.47 m, storms from the southern quadrant induce storm surges which can reach 1.3 m amplifying significantly the erosion effects over the shoreline. Net littoral drift along the barrier is toward northeast. As a consequence, beaches located south of jetties built along the inlets of the coastline are under accretion. The RS shoreline is characterized by a wave dominated barrier composed with wide beach ridges plains. The minor morphodynamic units are mainly represented by intermediated and dissipative beaches where some sectors display temporal reflective characteristics. The intense wind activity, the localized presence of rocky outcrops and the reduced number of inlets imprint additional variability along the coastline.

B1 RS_01ABR2006.pmd 438 14/9/2006, 13:09

A classificação geomorfológica da linha de costa usada no presente trabalho baseia-se numa proposta elaborada por Muehe (1999) a qual define partindo do geral para o particular, unidades macro e meso morfológicas seguidas de unidades morfodinâmicas (figuras 1, 2 e 3). Segundo o autor a classificação deve ser lida da feição de menor para a de maior hierarquia.

O litoral do Rio Grande do Sul que se estende de Torres ao Chuí é caracterizado por uma linha de costa retilinizada, com orientação SW-NE à frente de sucessões de cordões litorâneos regionalmente denominados de barreiras (Villwock *et al.*, 1986), sendo em muitos pontos recobertos por extensos campos de dunas os quais progradam sobre banhados e um conjunto de lagoas e lagunas costeiras. Tais características permitem classificá-la em termos de unidades macro e meso morfológica em cordão litorâneo largo associado a uma planície de cristas de praia (figuras 1, 2 e 3, legenda Ie IIa). A associação entre a morfologia da plataforma continental, altura significativa de ondas em torno de 1,5 m e o regime micromaré, proporciona um bom exemplo de uma barreira dominada por ondas, razão pela qual existem somente cinco desembocaduras fluviais (Figuras 1, 2 e 3, legenda IIIk) uma das quais, efêmera ao longo de 640 km de costa.

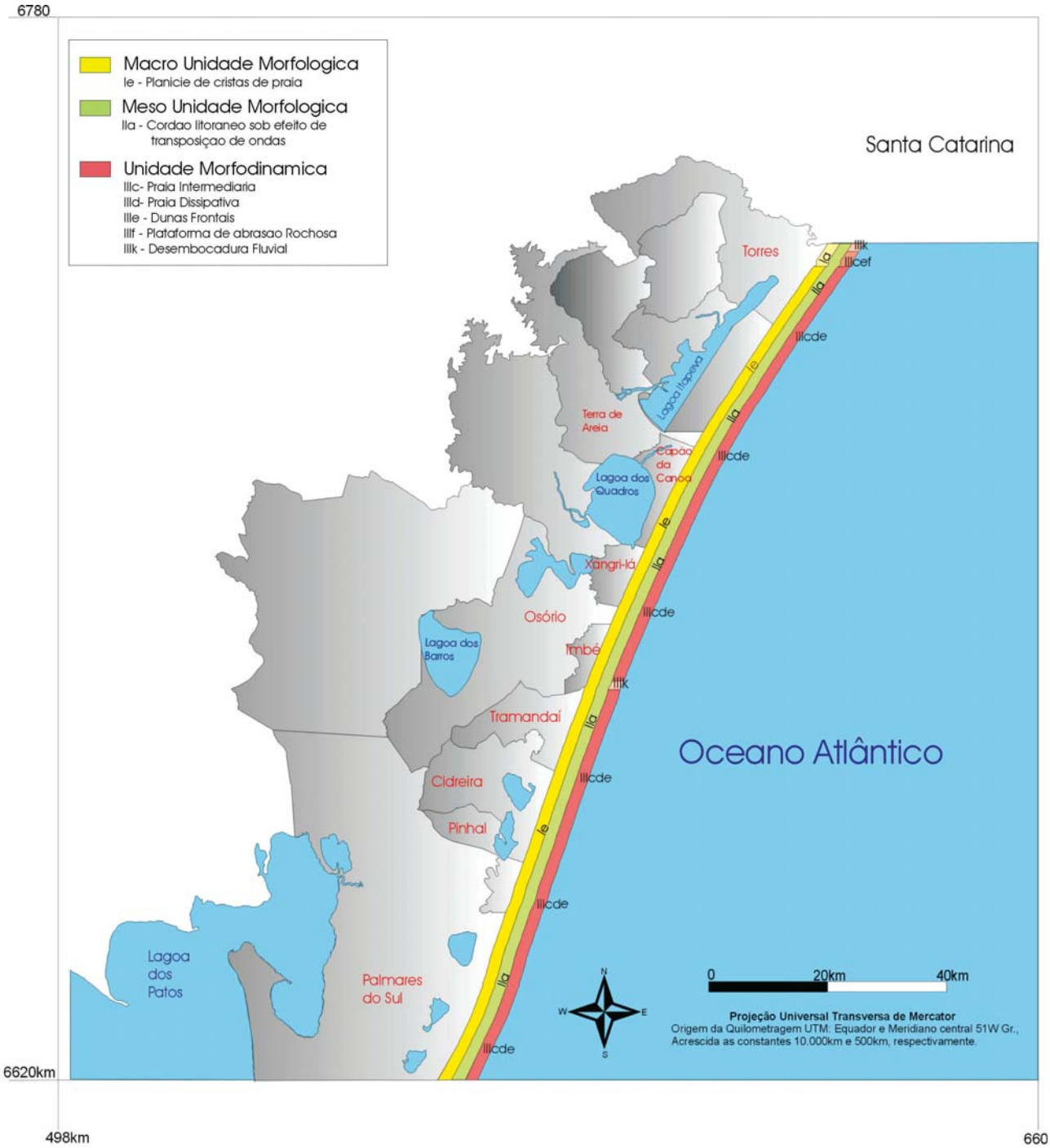
Com exceção de Torres onde as formações rochosas constituídas de arenitos, basaltos e seqüências vulcano-clásticas, conferem um pequeno grau de proteção à dinâmica costeira, as praias ao longo da costa do RS são totalmente expostas. Predominantemente são constituídas de areia fina quartzosa (Martins, 1967), apresentando baixa declividade (2º) com poucos e inexpressivos cúspides praiais. De acordo com as seqüências morfodinâmicas descritas na literatura (Wright & Short, 1984), as praias do RS variam entre intermediárias e dissipativas Tomazelli & Villwock (1992), Calliari & Klein (1992), Toldo *et al.* (1993) e Weschenfelder (1996). Mudanças neste padrão geral ao longo de certos trechos da costa são devidas a variações granulométricas sob a forma de cascalho biodetrítico e areia quartzosa grossa e média provindas da antepraia. Dois trechos de praias um de 45 km e outro de 30 km respectivamente localizados ao sul do farol do Albardão (figura 3, Litoral Sul) e nas proximidades do farol do Estreito (figura 2, Litoral Médio) apresentam características de praias refletivas e intermediárias. A praia nestes locais apresenta declive acentuado (média de 4º), escarpas erosionais no estirâncio e pós-praia e cúspides praiais bem desenvolvidos.

RJ RS_01ABR2006.pmd 439 14/9/2006, 13:00

A presença de poucas desembocaduras lagunares e fluviais fixadas por influência antrópica introduzem alterações locais no padrão morfodinâmico, tornando as praias mais dissipativas devido ao aporte de material sedimentar mais fino em suas adjacências (Villwock & Martins, 1972; Martins *et al.*, 1978, Oliveira & Calliari, 1999).

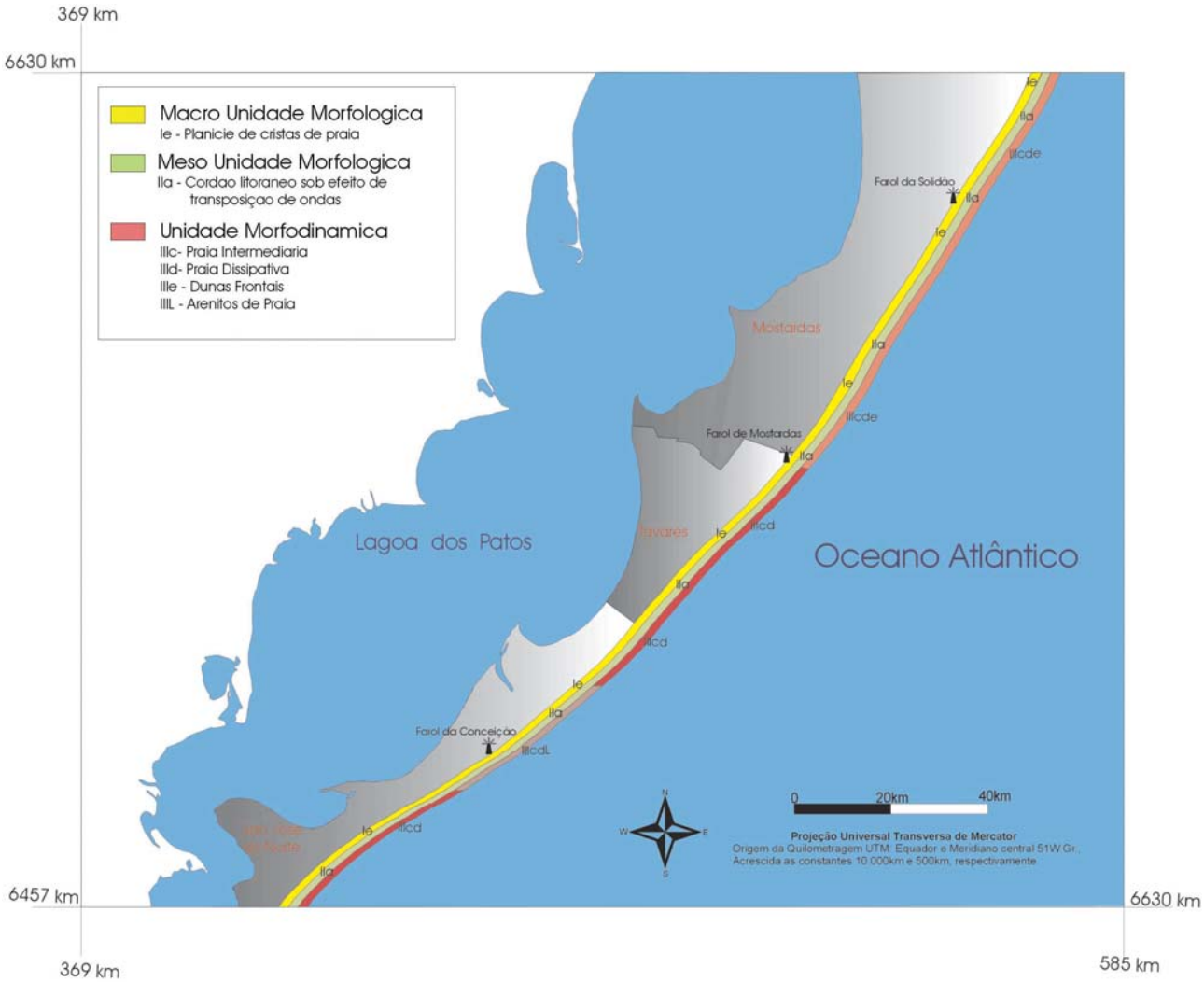
Outra característica de diferenciação entre as praias ao longo da barreira refere-se à presença e comportamento das dunas frontais. Devido a mudanças relativas a orientação da linha de costa em função dos ventos predominantes e as caracterís-

Figura 1. Classificação geomorfológica da linha de costa com base nas unidades macro e meso morfológicas seguidas de unidades morfodinâmicas para o Litoral Norte do estado.



ticas morfodinâmicas das praias as dunas frontais variam de bem desenvolvidas a inexistentes ao longo dos setores costeiros. Assim entre Torres e Mostardas as dunas frontais apresentam-se bem desenvolvidas. Redução considerável na altura e continuidade das mesmas são marcantes ao sul de Mostardas e daí até São José do Norte no Litoral Médio. Já no Litoral Sul entre Rio Grande e Chuí, Seeliger (1992), classificou o sistema em dunas bem desenvolvidas (*foredunes*), *hummocks* (dunas frontais não coalescentes e menos desenvolvidas) e planícies de areia (*sand flats*), associando sua diferenciação as mudanças de variação da linha de costa e a granulometria das praias. Tal classificação de maneira geral coincide com a variação da morfodinâmica praial ao longo deste setor evidenciada por Calliari & Klein (1993), Tozzi (1999), Tozzi & Calliari (1999), mostrando a estreita interrelação entre a morfodinâmica praial e o desenvolvimento das dunas frontais. Assim nas proximidades de Rio Grande onde as praias são mais dissipativas e a componente do vento NE é mais efetiva no transporte de areia em direção à costa as dunas frontais são bem desenvolvidas. Já no trecho compreendido entre o Farol do Sarita e 15 km ao sul do Farol do Albardão a combinação de praias intermediárias com a componente de vento NE mais oblíqua à costa contribuem

Figura 2. Classificação geomorfológica da linha de costa com base nas unidades macro e meso morfológicas seguidas de unidades morfodinâmicas para o Litoral Médio do estado.



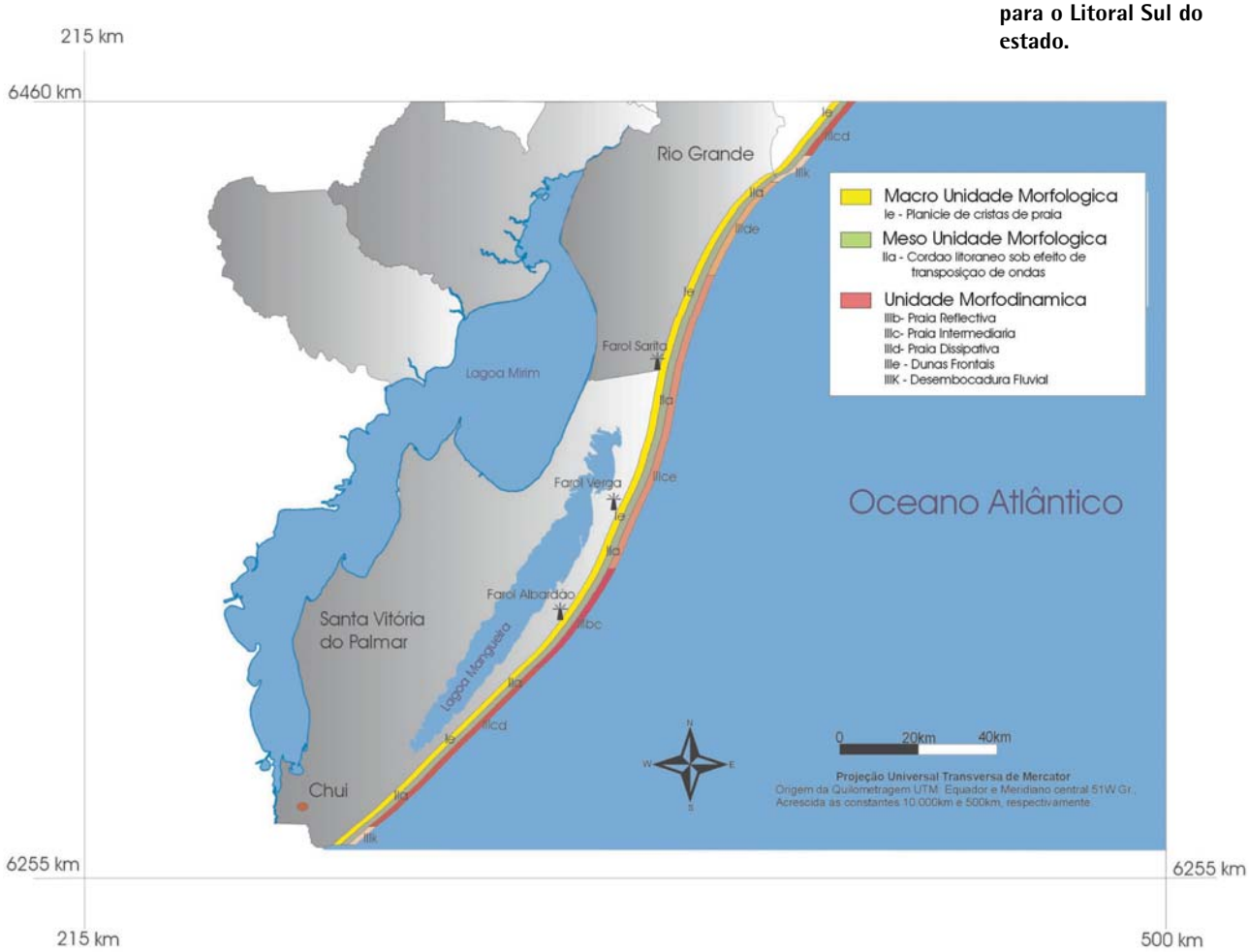
RJ RS_01ABR2006.pmd 441 14/9/2006, 13:00

para a formação de "hummocks". Mais ao sul no trecho correspondente ao setor denominado de "concheiros do Albardão" a associação entre a componente do vento NE paralelo à costa com a presença de praias mais inclinadas constituídas de sedimentos grossos induzem a formação de planícies arenosas caracterizado pela total ausência de dunas frontais.

Os estudos efetuados até o momento pelo CECO (UFRGS) e LOG (FURG), permitem classificar sob o enfoque morfodinâmico os 640 km de praias arenosas ao longo do litoral do RS. Assim as praias de Torres estudadas por Pivel (1997), Pivel & Calliari (1998) indicam que com exceção da praia da Guarita Leste a qual se encontra protegida, as demais praias (Cal, Guarita Oeste, Prainha e Praia Grande) apresentam grandes variações verticais no pacote sedimentar caracterizando assim praias do tipo intermediário.

No Litoral Norte e porção do Litoral Médio até a latitude do farol de Mostardas predominam praias intermediárias a dissipativas (III cde no mapa) com dunas frontais bem desenvolvidas conforme trabalhos desenvolvidos em Tramandaí por Tomazelli & Villwock (1992), Toldo Jr. *et al.* (1993), e entre Imbé e Arroio do Sal por Weschenfelder (1996).

Figura 3. Classificação geomorfológica da linha de costa com base nas unidades macro e meso morfológicas seguidas de unidades morfodinâmicas para o Litoral Sul do estado.



R1 RS_01ABR2006.pmd 442 14/9/2006, 13:00

Barletta (1997) e Barletta & Calliari (2000), classificam as praias entre o Farol da Solidão e São José do Norte como predominantemente intermediárias a dissipativas com dunas frontais pouco desenvolvidas (III cd). Estes autores notaram, entretanto variação temporal no estágio morfodinâmico das praias adjacentes ao Farol do Estreito a qual pode se aproximar de estágios refletivos durante períodos de verão quando areia média predomina no pós-praia e estirâncio. Trabalhos anteriores em S.J. do Norte (Alvarez *et al.*, 1981) caracterizaram a alternância dos perfis acrescionais e erosionais durante a passagem de frentes frias.

Embora apresentem o mesmo grau de exposição à dinâmica costeira, as praias do Litoral Sul apresentam maior variabilidade espacial devido a variações texturais dos sedimentos que as compõem. Imediatamente ao sul da desembocadura da Lagoa dos Patos e prolongando-se por 12 km (até os destroços do Navio Altair), encontram-se as praias mais dissipativas da barreira com presença de dunas frontais (III de). Tal fato deve-se a presença dos sedimentos praiais mais finos ao longo da costa do RS (entre 2,75 e 2,5 Ø) indicando a influência da descarga lagunar na zona costeira. Isso significa que neste trecho de praia de 12 km a granulometria dos sedimentos é aproximadamente 0.030 mm mais fina que as praias ao sul. Trabalhos efetuados por Calliari & Klein (1993, 1995), Tozzi (1995, 2000), Tozzi & Calliari (2000), Oliveira & Calliari (2000), contribuíram para o detalhamento das características morfodinâmicas e sedimentológicas desta área, a qual sem dúvida constitui-se no trecho de praias mais estudado da costa do RS. Entre os 12 km dos molhes de Rio Grande e o km 165 predominam praias intermediárias com dunas frontais bem desenvolvidas e *hummocks* (III ce). Conforme já mencionado anteriormente, Seeliger (1992), identificou entre Cassino e Chuí três tipos diferentes de sistemas de dunas frontais: entre Cassino e proximidades sul do farolete da Verga, área caracterizada por dunas frontais bem desenvolvidas apresentando expressões topográficas de 3 a 6 m de altura; o extremo sul da área (entre os km 160 e 205 ao sul da barra do Rio Grande), caracterizado por planícies arenosas sem expressões topográficas significativas. Separando estas duas regiões existe uma transição (entre o farolete da Verga e proximidade sul do Farol do Albardão) dominada por dunas do tipo *hummocks* (com expressão topográfica de 1 a 2 m de altura), representando um tipo de fisiografia intermediária entre a planície arenosa e as dunas frontais. Os estudos mais detalhados nesta área foram realizados por Pereira da Silva (1995) e Pereira da Silva & Calliari (1997), quando do estudo do comportamento dos sangradouros entre Rio Grande e Chuí. Variações de volume de sedimentos entre malhas de levantamento topográfico de 50 x 50 entre o pós-praia e o nível médio do mar nestas praias intermediárias acusaram valores da ordem de 800 m^3 entre os extremos acrescionais e erosivos devido ao efeito destes cursos d'água efêmeros. Praias reflectivas a intermediárias (IIIbc) ocorrem num trecho próximo ao extremo sul (quilômetros 160 a 205), características estas devida à interação da hidrodinâmica com sedimentos polimodais constituídos por

RJ RS_01ABR2006.pmd 443 14/9/2006, 13:00

cascalho e areia grossa biodetrítica e areia quartzosa grossa a fina (Calliari & Klein, 1993), Klein (1996), Klein & Calliari (2000), Serau (1999), Serau & Calliari (2000). Entre os quilômetros 205 e 217 (molhes do Arroio Chuí) ao sul da Barra de Rio Grande as praias são intermediárias a dissipativas (III cd). Nesta região localiza-se os Balneários do Hermenegildo e Chuí, o primeiro submetido a um processo intenso de erosão por marés meteorológicas (*storm surges*) as quais causam freqüentemente perda de patrimônio público e privado em sua zona urbanizada (Calliari *et al*., 1998; Klein & Calliari, 1997, Esteves *et al*., 2000).

Referências bibliográficas

ALVAREZ, J.A., GRÊ, J.C., TOLDO, JR. E.E., 1981. Estudos da praia a nordeste do molhe de Rio Grande, Rio Grande do Sul. Pesquisas, 14: 131-147.

BARLETTA, R.C., 1997. Aspectos Morfodinâmicos das praias situadas ao norte da desembocadura da Laguna dos Patos-Farol da Conceição e praias adjacentes, R.S. Trabalho de Graduação do curso de Oceanologia da FURG. 77 pp.

BARLETTA, R.C., CALLIARI, L.J., 2000. Detalhamento dos aspectos atmosféricos e ondulatórios que determinam as características morfodinâmicas das praias do Litoral Central do Rio Grande do Sul. Universidade do Vale do Itajaí. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar. Anais o Simpósio Brasileiro sobre praias arenosas: morfodinâmica, ecologia, usos, riscos e gestão.Antonio Klein (organizador)- Itajaí: Editora da Univali, 2000, p 168-170.

CALLIARI, L.J., KLEIN, A.F., 1992. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. 37° Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo, SBG. Boletim de Resumos Expandidos V. 1 77, 1992.

CALLIARI, L.J., KLEIN, A.H.F., 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, R.S. Pesquisas 20 (1), 48-56. UFRGS. Porto Alegre, Brasil.

ESTEVES, L. S., OLIVEIRA, U.R., SILVA, A.R.P., VRANJAC, M.P., PIVEL, M.A.G., BARLETTA, R.C., VANZA, A., 2000. Seasonal changes in beach profile inducing response of beachfront owners in southern Brazil. Universidade do Vale do Itajaí. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar. Anais o Simpósio Brasileiro sobre praias arenosas: morfodinâmica, ecologia, usos, riscos e gestão.Antonio Klein (organizador)- Itajaí: Editora da Univali, 2000, p 361-362.

KLEIN, A.H. F., 1996. Concheiros do Albardão: Variações espaço-temporais dos sedimentos e da morfologia praial. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências da UFRGS. 120 p.

MARTINS, L.R., 1967. Aspectos deposicionais e texturais dos sedimentos praiais e eólicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Publicação Especial da Escola de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 13, 102 p.

MARTINS, L.R., MARTINS, I.R., VILLWOCK, J.A., CALLIARI, L.J., 1978. Ocorrência de lama na praia do Cassino, (RS). Anais Hidrográficos, 35: 159-170.

MUEHE, D., 1999. Proposta de itemização e metodológica para o Atlas de Erosão Costeira. (documento preliminar que será inserido no Atlas de Erosão Costeira do Brasil a ser produzido pelo Programa de Geologia e Geofísica Marinha (PGGM).

OLIVEIRA, M. B., CALLIARI, L.J., 2000. Evolução de depósitos lamíticos em uma praia arenosa oceânica aberta - Cassino (RS). Universidade do Vale do Itajaí. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar. Anais o Simpósio Brasileiro sobre praias arenosas: morfodinâmica, ecologia, usos, riscos e gestão.Antonio Klein (organizador)- Itajaí: Editora da Univali, 2000, p 148-151.

PEREIRA DA SILVA, R. 1995. Comportamento morfodinâmico dos sangradouros entre a praia do Cassino e Chuí, RS. Trabalho de Graduação. Curso de Oceanologia, Fundação Universidade do Rio Grande. 43 p.

PEREIRA DA SILVA, R. E CALLIARI, L.J., 1997. Erosão costeira causada por sangradouros ao longo do litoral sul-riograndense: Trecho Rio Grande - Chuí. In: VI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário e Reunião sobre o Quaternário da América do Sul. Resumos expandidos p. 420-423. Curitiba, Paraná. Brasil.

R1 RS_01ABR2006.pmd 444 14/9/2006, 13:00

PIVEL, M. A.G., 1997. Caracterização morfodinâmica e sedimentológica das praias de Torres (RS). Trabalho de Graduação. Curso de Oceanologia da FURG. 72p.

PIVEL, M.A.G., CALLIARI, L. J., 1998. Caracterização preliminary das praias de Torres (RS) sob um enfoque morfodinâmico. XI Semana Nacional de Oceanografia. Oceanografia e suas Interfaces. Resumos expandidos. P 441-443

SEELIGER, U., 1992. Coastal foredunes of southern Brazil: physiography, habitats, and vegetation. In: Seliger, U. (ed). Coastal plant communities of Latin America. Academic Press, New York, pp 367-381.

SERAU, A.K., 1999. Alterações morfológicas e sedimentares induzidas por tempestades costeiras. Praia dos concheiros do Albardão, RS, Brasil. Tese de mestrado. Instituto de Geociências da UFRGS. Porto Alegre. 141 p.

SERAU, A. K. E CALLIARI, L.J., 2000. Variações morfo-volumétricas de uma face praial oceânica do extremo sul do Brasil frente à aproximação, evolução e subsidência de um evento de tempestade costeira. Universidade do Vale do Itajaí. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar. Anais o Simpósio Brasileiro sobre praias arenosas: morfodinâmica, ecologia, usos, riscos e gestão.Antonio Klein (organizador)- Itajaí: Editora da Univali, 2000.P. 90-91

TOLDO JR. E.E., DILLENBURG, S.R., ALMEIDA, L.E.S.B., TABAJARA, L.L., MARTINS, R.R., CUNHA, L.O.B.P., 1993. Parâmetros morfodinâmicos da Praia de Imbé, RS. Pesquisas. UFRGS, 20 (1): 27-32.

TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A. 1992. Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. Pesquisas, 19 (1): 3-12.

TOZZI, H.A.M., 1999. Influência das tempestades extratropicais sobre o estoque subaéreo das praias entre Rio Grande e Chuí, RS. Campanha do Outono e Inverno de 1996. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências da UFRGS, 115 p.

TOZZI, H.A.M., CALLIARI, L.J., 2000. Monitoring Storm's impact on Rio Grande do Sul, coastline, southern Brazil. Universidade do Vale do Itajaí. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar. Anais o Simpósio Brasileiro sobre praias arenosas: morfodinâmica, ecologia, usos, riscos e gestão.Antonio Klein (organizador)- Itajaí: Editora da Univali, 2000, p. 186-189.

TOZZI, H.A.M., CALLIARI, L.J., 2000. Morfodinâmica da Praia do Cassino, RS. Pesquisas em Geociências, 27 (1): 29-42.

WESCHENFELDER, J. 1996. Variabilidade morfodinâmica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Porto Alegre: UFRGS, Curso de Pós-Graduação em Geociências. Dissertação de mestrado.

VILLWOCK, J.A., 1984. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis. Pesquisas, 16: 5-49.

VILLWOCK, J.A. & TOMAZELLI, L.J.T., 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas: (8). Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica. Instituto de Geociências da UFRGS.

VILLWOCK, J.A. & MARTINS, L.R., 1972. Depósitos lamíticos de pó-praia, Cassino (RS). Pesquisas, 1 (1): 69-75.

WRIGHT, L.D., SHORT, A.D., 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. Marine geology, 56: 93-118.

RJ.RS_01ABR2006.pmd 445 14/9/2006, 13:00

PADRÕES DE REFRAÇÃO DE ONDAS PARA A COSTA DO RIO GRANDE DO SUL E SUA RELAÇÃO COM A EROSÃO COSTEIRA

Nikolai Sergevich Speranski
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS / LABORATÓRIO DE OCEANOGRAFIA GEOLÓGICA

Lauro Júlio Calliari
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS / LABORATÓRIO DE OCEANOGRAFIA GEOLÓGICA

Resumo

O presente trabalho representa uma tentativa de classificar a costa do Rio Grande do Sul (RS) com base em padrões obtidos por diagramas de refração e sua relação com processos costeiros de primeira ordem representados pela erosão e acresção na linha de costa. Ondas relativamente longas, com períodos maiores que 9 s foram consideradas. Diagramas de refração confeccionados com períodos e direção de onda com incrementos respectivamente de 1 s e 10 graus revelaram quatro tipos de processos de tempestade; convergente ou "foco"; divergente; variável e sem refração. Todos demonstraram estabilidade definida em relação a variações no período e direção de propagação das ondas provindas de mar aberto. A classificação é feita na forma de cartas. Os resultados indicam uma forte relação entre a localização de pontos com "foco" de ondas e localidades com praias em erosão. Tais evidências estão relacionada as áreas do farol da Conceição e praia do Hermenegildo, respectivamente localizadas no litoral médio e extremo sul do RS. As áreas tem extensões de 30 Km a 50 Km e as taxas de retração costeira obtidas através de cinco anos de monitoramento de perfis de praia são de 0.5 m/ano na praia do Hemenegildo e 3.6 m/ano no farol da Conceição. Paralelamente não encontrou-se uma relação clara entre padrões divergentes e variáveis e eventos costeiros. Adicionalmente, este enfoque não explica a causa da erosão costeira na escala de 1 Km para a praia de Lagamarzinho no litoral central do RS. O papel das ondas de curto período (menos que 9 s) também é obscuro.

Abstract

An attempt is made to classify the Rio Grande do Sul (RS) coastline on the basis of wave refraction patterns and its relationship with first order coastal processes such as erosion and accretion. Relatively long waves with period higher than 9 s were under consideration. Refraction diagrams constructed with wave period and direction increments of 1 s and 10 degrees respectively, revealed four types of storm processes: convergent or focus; divergent; variable and without refraction. All of them demonstrated definite stability in relation to changeable wave period and direction of propagation from the open sea. The classification itself is made in the form of charts. As a result, a strong relation was found between the location of wave focus spots and localities with beach erosion. Such evidences are related to Conceição lighthouse area and Hermenegildo beach respectively located in the middle and at the extreme southern littoral of the RS coastline. The areas have extensions of 30 Km to 50 Km and the coastal retreat rate as indicated by five years of beach profile monitoring is 0.5 m/year in Hermenegildo beach and up to 3.6 m/year in Conceição lighthouse. At the same time, no clear relation have been found between divergent and variable patterns and coastal events. Moreover this approach is not able to explain the cause of coastal erosion at scales of 1 Km for Lagamarzinho beach at the central littoral. The role of relatively short waves period (less than 9 s) is also unclear.

RJ RS_01ABR2006.pmd 446 14/9/2006, 13:00

Relevo do fundo na costa gaúcha

As causas principais de erosão numa costa aberta similar à costa gaúcha relacionam-se geralmente a mudanças abruptas na orientação da linha de costa, presença de *inlets*, ou influência antrópica, tais como estruturas de engenharia construídas na zona costeira. Entretanto deve-se salientar que em ambas secções erodidas tais razões não são evidentes. Tal fato sugere que os processos erosivos devem estar conectados com a complexa batimetria tridimensional tanto ao longo como transversalmente a linha de costa. Tal batimetria provoca variações no campo de ondas de tempestade que por sua vez produzem campos de ondas e correntes responsáveis pela erosão em locais específicos. Na verdade, na frente de ambas áreas, a plataforma interna e o perfil da antepraia é caracterizada pela presença de bancos lineares, terraços marinhos, afloramentos de *beachrocks* lineares e, também, distribuídos de maneira aleatória.

Modelagem total e os diagramas de refração

Para estudar a influência do fundo e gradientes laterais em altura de ondas, devemos analisar todos os campos de onda possíveis, os quais dependem da variabilidade em altura, período e direção de propagação em águas profundas. A quantidade destes campos é uma função da variação dinâmica, forma e orientação da área estudada, precisão da análise e do algoritmo selecionado para o cálculo. Para esta quantidade nós precisamos avaliar o número de subintervalos de altura de onda ($\triangle H$), direção ($\triangle \alpha$) e período ($\triangle T$). A divisão de toda a variação de energia de onda pode ser baseada na idéia de que cada subintervalo seguinte deve ter dez vezes mais energia que o prévio. Neste caso uma seqüência possível de alturas é representada na forma de quatro termos: 0,3 m, 1 m, 3,3 m, 10 m. O limite superior desta serie foi selecionada de acordo com o *Atlas of oceans, wind and wave climate* (Young & Holland, 1996). O subintervalo mínimo ($\triangle \alpha$) pode ser avaliado em função do espalhamento dos componentes do espectro principal das ondas de tempestade de acordo com as medidas efetuadas por um ondógrafo direcional. De acordo com as oscilações superficiais medidas de um ondógrafo bidimensional (2D) localizado a uma profundidade de 15 m nas proximidades da embocadura da Lagoa dos Patos a escala de variação do espalhamento das ondas

RJ RS_01ABR2006.pmd 447 14/9/2006, 13:00

varia entre 7º e 9º. Então, a resolução interna mínima dos campos de onda é da ordem de 10º. Assim, os valores desejáveis para ($\triangle\alpha$) podem ser de 10º. Já os valores dos subintervalos do período ($\triangle$T) é uma medida da precisão de nossa análise. Estudos prévios (CALLIARI *et al.*,1998) mostraram que ($\triangle$T) = 1s é suficiente para resultados confiáveis.

Calculando a quantidade de diagramas de refração (Nr) para as condições acima formuladas e considerando a orientação e configuração da costa gaúcha, podemos aceitar que as direções das ondas de água profunda variam entre $50^0 \leq \alpha \leq 240^0$.

Para ($\triangle\alpha$) = 10º teremos 20 direções independentes. Desde que as medições obtidas para os períodos variam entre 5 s $\leq$ T $\leq$ 18 s, o número de subintervalos de período é igual a 14 para ($\triangle$T)= 1 s. Dessa forma a quantidade total de diagramas de refração é: Nr= 20 x 14 = 280. Com a finalidade de manter este número em nosso estudo selecionamos o algoritmo de Munk-Arfthur o qual é independente da altura de onda, ao mesmo tempo em que mostra bons resultados para cálculos feitos em condições reais (Horikawa, 1988).

No caso de batimetria complexa, os raios das ondas calculados pelo método de Munk-Artur podem apresentar caústicas. Entretanto, isso não implica em grandes problemas na análise qualitativa. Assim com a finalidade de considerar toda a variação dinâmica, construímos 280 diagramas para cada secção erodida.

O que indicamos por modelagem total são os cálculos e análises relacionadas a todos os campos dinâmicos os quais são possíveis para uma área dada. Usando este procedimento podemos fazer uma analise sistemática sem o risco de omitir algum evento.

Focos de raios de onda e lentes batimétricas

Sabe-se que a influência de batimetria complexa leva a gradientes laterais no campo de ondas. Este é o conceito do chamado "foco do surf" sugerido por Glushkov em 1935 (Zenkovitch, 1967).

Como resultado de tal efeito, determinadas secções da costa podem sofrer atividade de ondas relativamente altas sendo este efeito de nosso interesse como uma possível causa de erosão localizada. Geralmente, "foco" de ondas de tempestade é relativamente fixo para uma determinada direção de incidência e período de ondas. Neste estudo entretanto, considera-se um caso mais raro no qual o "foco" existe permanentemente dentro de uma escala grande de variações de direção de propagação e período de ondas. Assim, chamamos essa característica localizada de "foco estável" o que significa que o efeito existe quando as variações são maiores que os ($\triangle\alpha$) e ($\triangle$T) correspondentes.

RJ.PS_01ABR2006.pmd 448 14/9/2006, 13:00

A fim de estudar o efeito de foco deve-se construir diagramas de refração para toda escala de variação de ondas com o propósito de revelar o efeito de foco e em seguida analisar sua estabilidade. Assim, na análise dos diagramas de refração construídos para a costa Gaúcha, toda a variação de períodos $5\ s \leq T \leq 18\ s$ foi dividida em tres grupos da seguinte forma:

1) $5\ s \leq T \leq 7\ s$ (ondas curtas)
2) $9\ s \leq T \leq 18\ s$ (ondas longas) e
3) $7\ s \leq T \leq 9\ s$ (ondas intermediárias)

Esta subdivisão convencional foi feita no escopo deste trabalho. Nas áreas erodidas as ondas curtas não sofrerão refração a profundidades entre $10\ m \leq D \leq 50\ m$. Estas ondas se propagam ou de uma forma retilínea ou divergindo levemente e do ponto de vista do estudo de foco, elas não são importantes. Ondas com períodos $7\ s \leq T \leq 9\ s$ caracterizadas como intemediárias sofrem refração pronunciada na antepraia da costa Gaúcha. Algumas vezes monstram efeito de foco o qual entretanto desaparece quando os parâmetros de onda variam em valores da ordem de ($\triangle T$) ou ($\triangle \alpha$). As ondas longas entretanto sofrem acentuada refração nas profundidades acima mencionadas. Adicionalmente sob condições apropriadas à refração de ondas longas leva ao aparecimento de zonas estáveis de convergência e divergência.

A área norte

Diagramas de refração mostraram efeito de foco para ondas longas no seguinte intervalo de direções de ondas de água profunda: $160^o \leq \alpha \leq 230^o$ (para 170°, 190° e 215°). O tamanho da zona de foco situa-se entre 10 e 20 km e sua posição é nas vizinhanças da isóbata de 10 m. A posição do foco ao longo da costa depende da direção das ondas no mar aberto e migra em direção ao norte de acordo com o aumento do ângulo de incidência (α). A velocidade média do deslocamento do foco (isto é, dependência $\triangle S/\triangle \alpha$, onde $\triangle S$ é o deslocamento) é aproximadamente 0,7 km/grau. A posição do foco não depende do período das ondas na variação das ondas longas, significando que o foco na área norte é um efeito estável em relação a mudanças em T e á dentro da escala $9\ s \leq T \leq 18\ s$ e $160^o \leq \alpha \leq 230^o$. Desde que a topografia do fundo revela algumas propriedades de convexidade (lentes positivas) concentrando os raios das ondas, é significativo introduzir o termo "lentes batimétricas"

A área sul

Esta área apresenta uma batimetria muito complexa e as ondas refratam mesmo sob condições de propagação normal em direção a linha de costa. Quando as ondas voltam-se para o sul (iniciando em $\alpha = 150^o$) convergência de raios aparece

em frente ao Cabo Polônio. Diagramas de refração demonstram foco contínuo de raios nos intervalos de direções $150^0 \leq \alpha \leq 220^0$.

Assim o efeito de foco estável situa-se dentro de um setor de 70º. O tamanho da zona de foco de ondas é da ordem de 10 a 20 km e situa-se próximo a isóbata de 10 m, isto é, próximo ao limite da zona de surf durante tempestades severas. Da mesma forma que para a área norte, o foco migra em direção ao norte quando α aumenta, entretanto a velocidade de seu deslocamento é cerca de 2 km/ grau sendo três vezes mais rápido do que na área norte. Ao mesmo tempo, a posição do foco não depende do período das ondas longas e isto significa que as lentes côncavas do sul são similares as do norte no sentido das propriedades do foco.

Assim, algumas partes da antepraia e plataforma interna da costa gaúcha apresentam lentes côncavas que condicionam as seguintes características aos raios de ondas:

- foco estável sob ondas longas
- existência de foco quase em escalas iguais da direção de propagação das ondas
- foco migra com mudanças da direção
- a posição do foco independe do período das ondas longas

Lentes batimétricas e erosão praial

Sabe-se que convergência de raios leva ao crescimento local da energia das ondas de tempestade. Geralmente as características das ondas superficiais mudam à medida que a tempestade se desenvolve. Assim, muito freqüentemente o período de onda aumenta quando ondas de vento se transformam em ondulações (*swell)*. A direção das ondas depende do campo de velocidade do vento o qual é controlado por sistemas atmosféricos móveis. Assim, lentes batimétricas existem numa banda relativamente larga de período e direções. Foco estável significa que o foco como uma zona de ondas mais altas pode existir durante varias fases de evolução de um sistema de tempestade o qual pode durar vários dias.

De uma maneira geral, esta duração é maior quando a escala de variação do foco é mais ampla. Quando a direção das ondas muda, a zona de foco se desloca dentro da área específica a qual é orientada ao longo da linha de costa. É significativo que ambas secções que apresentam erosão (norte e sul) coincidem com zonas de foco estável migratório. Levando em consideração que o foco representa uma área de ondas altas posicionada próximo a zona de arrebentação, podemos assumir que lentes batimétricas são responsáveis pela erosão localizada nas praias e então por retração costeira.

RJ.RS_01ABR2006.pmd 450 14/9/2006, 13:00

Modelagem de toda a costa

A análise dos diagramas de refração mostra que na antepraia da costa gaúcha, existem quatro tipos de padrões de tempestade: convergente ou foco, divergente, variável e sem refração (figuras 1, 2 e 3). Sabe-se que convergência de energia de ondas pode causar erosão na área costeira adjacente. Trabalhos anteriores (Calliari *et al.*, 1998; Speranski & Calliari, 2000) evidenciaram a existência de dois focos estáveis correlacionados com áreas de erosão bem como propuseram o mecanismo responsável pela erosão. Com base nestes, concluiu-se que padrões

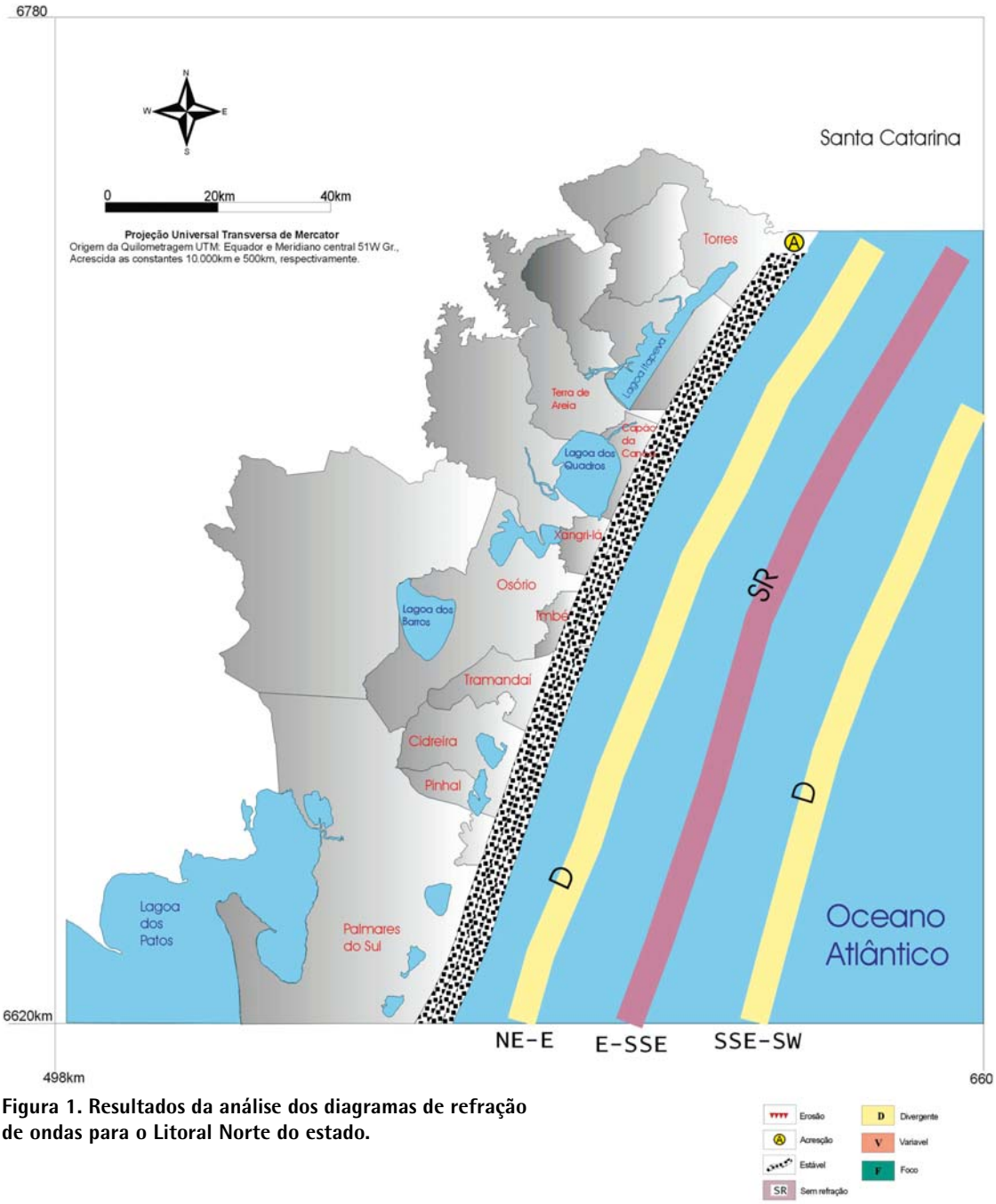


Figura 1. Resultados da análise dos diagramas de refração de ondas para o Litoral Norte do estado.

R1 RS_01ABR2006.pmd 451 14/9/2006, 13:00

convergentes na costa gaúcha são responsáveis pela erosão localizada nas áreas do Farol da Conceição e Hermenegildo (figuras 2 e 3).

Padrões convergentes (foco) foram identificados para ondas relativamente longas (com período ≥ 9 s) provenientes do setor SSE-SW. Investigações mais recentes mostram que ocorrem os três padrões na zona costeira. A porção norte é dominada pelo padrão divergente tornando o clima de ondas de águas rasas mais suave em relação ao mar aberto (figura 1). O mesmo padrão (embora menos evidente) existe para a área do Farol do Albardão (figura 3), ao passo que as outras áreas da zona costeira estão dominadas por padrões variáveis.

Outro conjunto de padrões existe sob a ação de ondas propagando-se do setor NE-E. Tais ondas não mostram padrões convergentes e conseqüentemente não produzem efeito de foco. Da mesma forma que sob a ação das ondas de sul, observa-se na parte norte da costa gaúcha (de Torres a Mostardas) acentuada

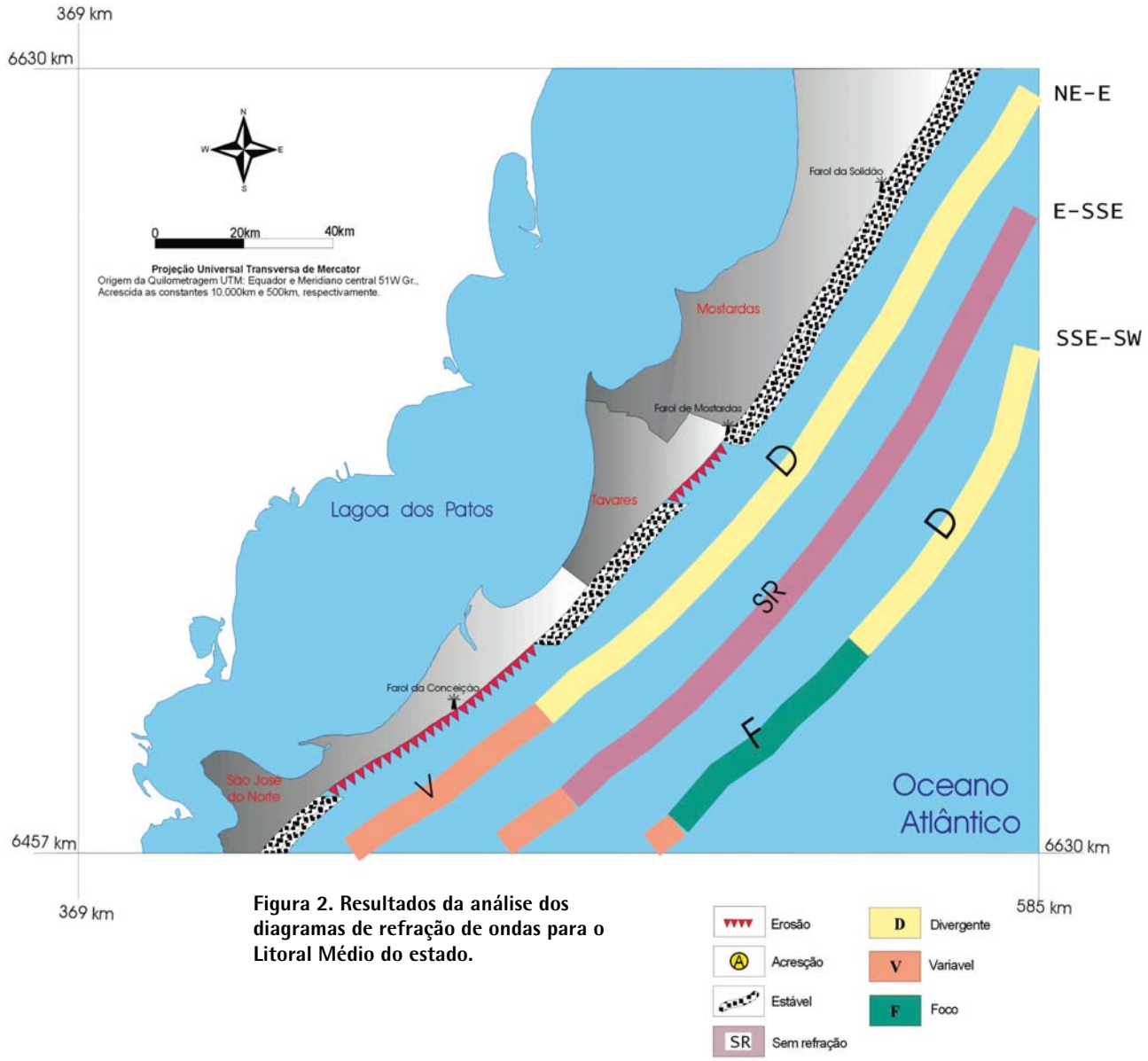


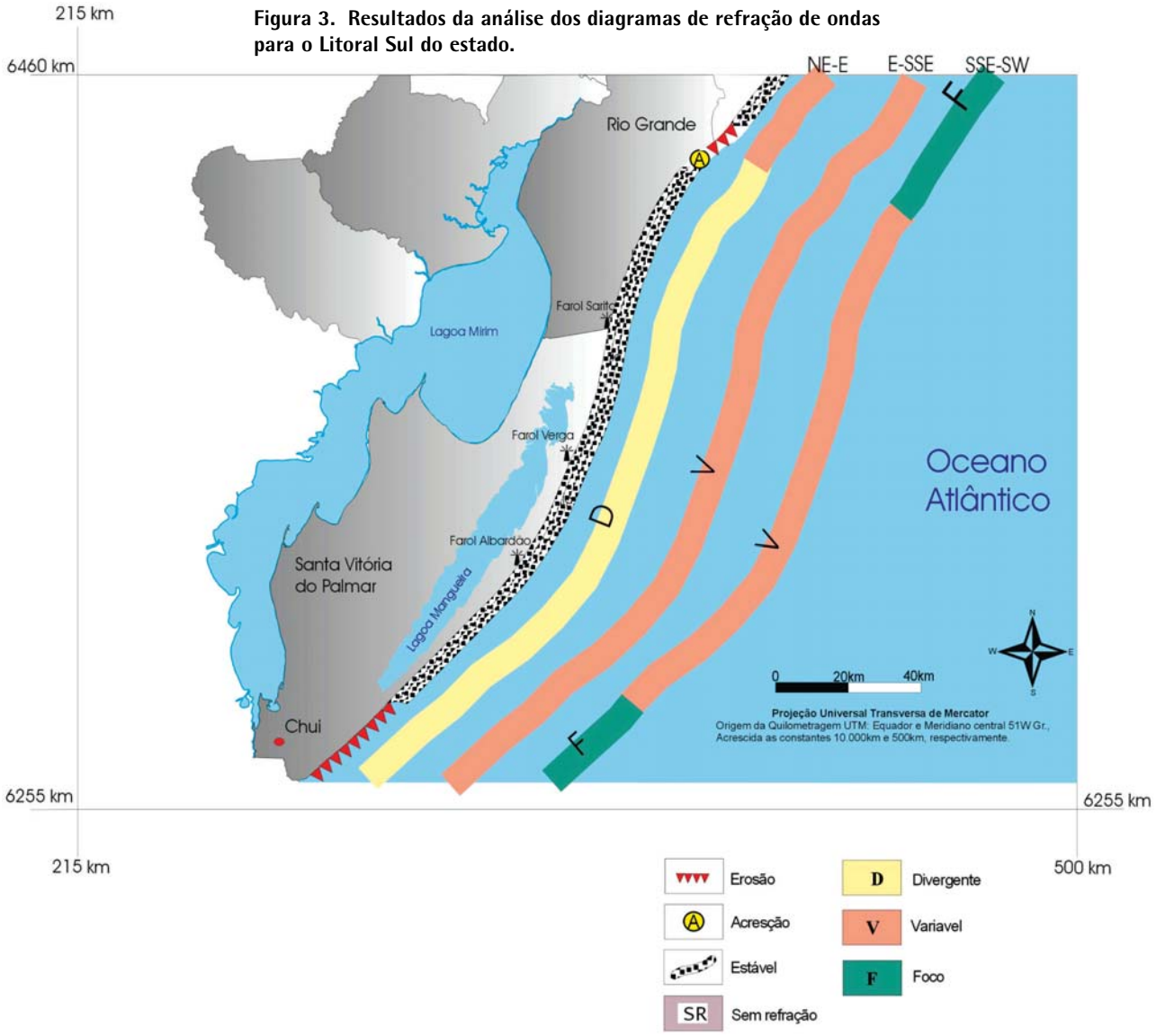
Figura 2. Resultados da análise dos diagramas de refração de ondas para o Litoral Médio do estado.

RJ-RS_01ABR2006.pmd 452 14/9/2006, 13:00

divergência das ondas (figuras 1 e 2). Paralelamente, na área sul o padrão é caracteristicamente variável (figura 3).

As ondas propagadas do setor leste aproximadamente perpendicular à direção geral da linha de costa (E-SSE) não produzem qualquer convergência na zona costeira. Padrões variáveis dominam totalmente a zona costeira não existindo qualquer singularidade relativamente à existência de convergência/divergência da energia de ondas.

Figura 3. Resultados da análise dos diagramas de refração de ondas para o Litoral Sul do estado.



Conclusões

1. Duas lentes batimétricas côncavas foram encontradas na plataforma interna do RS. Grupos de bancos e *sand ridges* nas profundidades entre 25 e 15 m funcionam como lentes batimétricas.

2. As lentes batimétricas locais são capazes de focar a energia de onda nos períodos compreendidos entre 9 s $\leq$ T $\leq$ 18 s e no mar aberto à direção das ondas varia entre: 150º/160º $\leq \alpha \leq$ 220º/230º. Dentro destas variações o efeito de foco aparenta ser estável.

3. Em ambas as áreas erodidas, a posição dos focos migratórios coincide com áreas de erosão praial. O mecanismo específico de erosão pode atuar na zona de arrebentação e se ajusta a zona de foco.

A luz dos dados obtidos até o momento o padrão convergente (foco) é o fator responsável pela erosão natural permanente em áreas extensas (dezenas de quilômetros). Evidências geomorfológicas de erosão suportam tais afirmações. Os outros padrões predominantes ao longo da costa juntamente com a ausência de evidências geomorfológicas de erosão indicam que a maior parte da costa do RS apresenta-se estável (centenas de quilômetros). Existem setores erosivos (centenas de metros/ Lagamarzinho) para os quais não encontramos explicação plausível.

A classificação apresentada abrange somente situações relativas a ondas longas (período $\geq$ 9s). Não foram detectados focos estáveis para ondas curtas até o momento. As mesmas parecem sofrer pouca refração criando padrões irregulares. Trabalhos futuros mais detalhados poderão elucidar seu papel na morfodinâmica costeira. de evidências geomorfológicas de erosão indicam que a maior parte da costa do RS apresenta-se estável (centenas de quilômetros). Existem setores erosivos (centenas de metros/ Lagamarzinho) para os quais não encontramos explicação plausível.

A classificação apresentada abrange somente situações relativas a ondas longas (período $\geq$ 9s). Não foram detectados focos estáveis para ondas curtas até o momento. As mesmas parecem sofrer pouca refração criando padrões irregulares. Trabalhos futuros mais detalhados poderão elucidar seu papel na morfodinâmica costeira.

Referências bibliográficas

CALLIARI, L.J., SPERANSKI N.S. & BOUKAREVA, I.I., 1998. Stable focus of wave rays as a reason of local erosion at the Southern Brazilian coast. Proc. Internat. Coastal Symp., Florida, Suppl.vol, 19-23.

HORIKAWA,K., 1988. *Nearshore dynamics and coastal processes*. University of Tokyo Press, 522.

SPERANSKI, N.S. & CALLIARI, L.J., 2000. Bathymetric lens and coastal erosion in southern Brazil. International Coastal Symposium 2000. Rotorua, New Zealand. Program and abstracts p.81.

SPERANSKI, N.S., 1998. Computer-oriented atlas of dynamic processes in coastal zone. Proc. Internat. Coastal Symp., Florida, Suppl.vol, 8-13.

YOUNG, I.R. & HOLLAND, G.J., 1996. *Atlas of the oceans: wind and wave climate*. Pergamon.

ZENKOVICH, V.P., 1967. *Processes of coastal development*. Oliver & Boyd, London,738.

RJ.RS_01ABR2006.pmd 454 14/9/2006, 13:01

ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE TRANSPORTE DE SEDIMENTOS A PARTIR DE DADOS DE ONDAS

Luiz E. S. B. Almeida
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – IPH

Sávio Freire Lima
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS, IPH

Elirio E. Toldo Jr.
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS / CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEÂNICA – CECO

Resumo

O presente trabalho pretende, através da aplicação do Método do Fluxo de Energia (U.S. Army, 1984), estimar quantitativamente o potencial de transporte longitudinal de sedimentos para a costa gaúcha. O cálculo será realizado ao longo de cada trecho de reta que represente a orientação predominante da linha de praia, de modo que as informações obtidas possam servir como base para uma primeira análise de projetos de engenharia na região. Utilizar os dados sedimentológicos e morfológicos de perfis praiais existentes para estimar o coeficiente de proporcionalidade entre a energia das ondas e o transporte de sedimentos. Embora o método utilizado apresente uma tendência a superestimar a deriva litorânea, espera-se criar uma primeira estimativa que possibilite futuras calibrações do modelo a partir de medições que venham a ser realizadas no campo.

Abstract

In the present work, the authors intend to estimate the potential of longitudinal transport of sediments to the coast of Rio Grande do Sul, using the Method of Energy Flows (U.S. Army, 1984). The calculation will be done for each segment that represents the predominant orientation of the beach line, in a way that the information may serve as basis to an analysis of engineering projects in the region. Existing sedimentologic and morphologic data of beach sections were used to estimate the proportionality coeficiet between wave energy and sediment transport. Although the method presents a tendecy to superestimate the drift, we expect to create the first estimative that allows future calibrations on the model based on field measurements.

RJ.RS_01ABR2006.pmd 455 14/9/2006, 13:01

Introdução

O estado do Rio Grande do Sul tem uma extensa costa com orientação uniforme NE-SW e uma pequena sinuosidade ao longo dos 630 km (figura 1), que consiste de depósitos Quaternários inconsolidados e que não recebem contribuições de areias modernas, pois toda carga de tração transportada pelos rios é retida nas lagunas e outros ambientes costeiros, como por exemplo a Lagoa dos Patos e a Lagoa Mirim, que se estendem por uma área de 13.750 km^2, aproximadamente um terço da Planície Costeira do estado (Tomazelli e Villwock, 1992, Toldo e Dillenburg, 2002). A Plataforma Continental é larga com 150 a 200 km de extensão, com profundidades máximas variando entre 100 e 140 m e suave declividade da ordem de 0,5 a 1,5 m/km. A antepraia é extensa e rasa com limite externo entre as profundidades de 10 e 15 m, e constituída por depósitos arenosos.

Os sedimentos praiais consistem principalmente de areias finas bem selecionadas (tamanho médio de 0.2 mm), (Nicolodi *et al.* 2002, Gruber 2002), exceto ao lon-

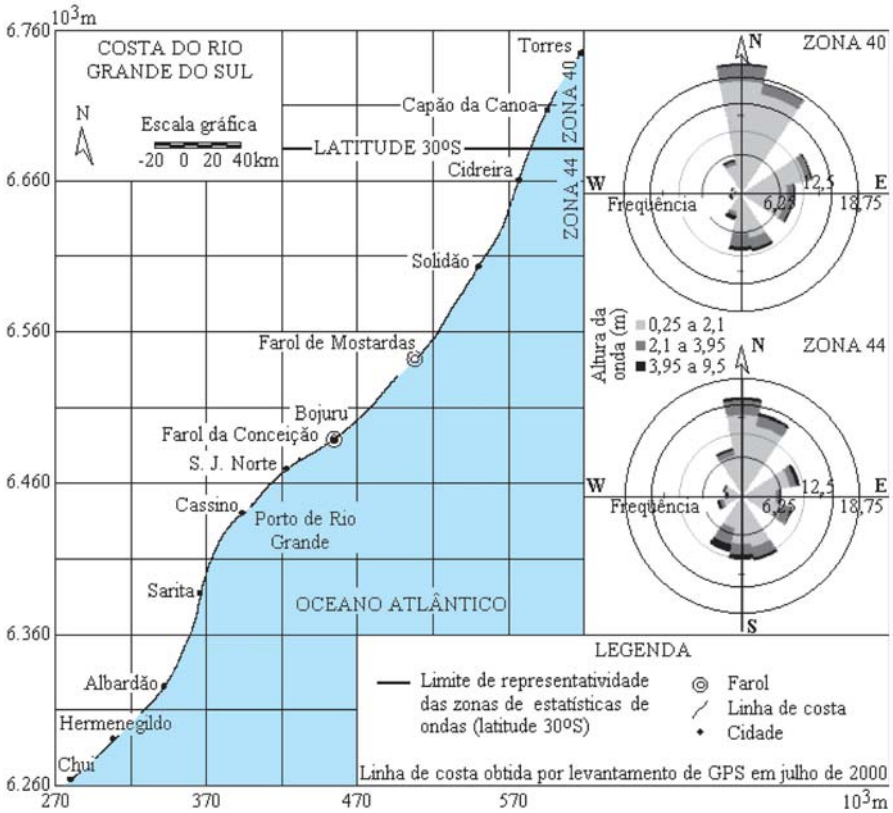


Figura 1. Linha de costa do estado do Rio Grande do Sul tomada como base para a discretização dos subtrechos e a divisão entre a área de influência de cada estatística de onda, para as zonas 40 e 44.

go de 60 km no Litoral Sul onde ocorrem sedimentos bimodais devido à presença de cascalho biodetrítico (Calliari e Klein 1993). Incidem sobre a costa ondulações geradas no Oceano Atlântico Sul e vagas geradas pelos fortes ventos locais de verão e primavera, provenientes de NE. Exceto pela passagem de frentes frias de S e SE, a agitação marítima é caracterizada por ondas de média a elevada energia, sendo a altura significativa de 1,4 m e período entre 7 e 9 s (Almeida e Toldo, 1997). A maré astronômica é semidiurna, com altura média de 0,30 m, sendo que a maré meteorológica ou ressaca pode alcançar 1,20 m (Almeida *et al.*, 1997). As ressacas tem sido registradas com mais freqüência a partir dos meses de Abril e Maio, associadas à passagem de frentes frias (Tozzi, 1997, Barletta, 2000, Nicolodi 2001). A profundidade de fechamento é estimada em 7,5 m, calculada com base em dois conjuntos de dados coletados nos anos de 1963 e 1996 no Litoral Norte do estado (Almeida *et al.*, 1999). Conseqüentemente, o transporte e a deposição dos sedimentos ao longo da costa são primariamente dominados pela ação da onda.

Deriva litorânea

A praia oceânica da planície costeira do Rio Grande do Sul pode ser considerada como uma das mais extensas e contínuas praias arenosas do mundo. Com cerca de 600 km de extensão, desempenha papel fundamental no desenvolvimento dos demais sistemas costeiros da região. Mesmo com sua importância e dimensão ainda são poucos os estudos quantitativos na área de transporte de sedimentos e taxas de erosão ou assoreamento no litoral. Diante da crescente urbanização de zonas costeiras registrada no estado e da necessidade de se estimar possíveis alteração na linha de praia durante da vida útil das obras, faz-se necessário um conhecimento mais aprofundado dos valores da deriva litorânea.

A partir de um conjunto de dados de onda obtidos em mar aberto por observações de navios e organizados por Hogben (1967) – Ocean Waves Statistics (OWS), aplicou-se o Método do Fluxo de Energia (U.S. Army, 1984) sobre diversos alinhamentos da costa gaúcha com o objetivo de estimar o potencial de transporte litorâneo causado pelas ondas (figura 1). A discretização da costa foi feita com base em levantamento da linha de costa realizado pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – CECO/ UFRGS no ano de 1999 com o uso de GPS.

O Método do Fluxo de Energia consiste em estimar a capacidade de transporte de sedimentos para cada evento de onda registrado durante um período representativo. Entenda-se como evento cada onda registrada com sua altura e direção de origem. Calculados os respectivos potenciais estes são somados resultando em duas frações, a positiva e a negativa, onde a primeira convencionou-se como sendo o deslocamentos da esquerda para direita, de um observador colocado de

RJ.RS_01ABR2006.pmd 457 14/9/2006, 13:01

frente para o mar. A metodologia requer um coeficiente de calibração que varia de acordo com a localidade estudada. Devido à falta de dados sobre valores de deriva litorânea na área adotou-se o sugerido por Bruno et. al. apud U.S. Army (1984). As equações utilizadas foram:

$$Q_{\alpha_o,H_o} = 2{,}03 \cdot 10^6 \, f \, H_o^{5/2} \, F(\alpha)$$

$$F(\alpha_o) = \frac{1}{\Delta\alpha} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \cos^{1/4}(\alpha_o) \, \mathrm{sen}(2\alpha_o) \, d\alpha$$

onde:

Q_{α_o,H_o} – taxa de transporte de sedimentos (m^3/ano);

α_o – ângulo entre a crista da onda e a linha de praia em águas profundas;

– altura da onda ao largo;

f – freqüência de ocorrência do evento (onda com altura H_o e direção a_o);

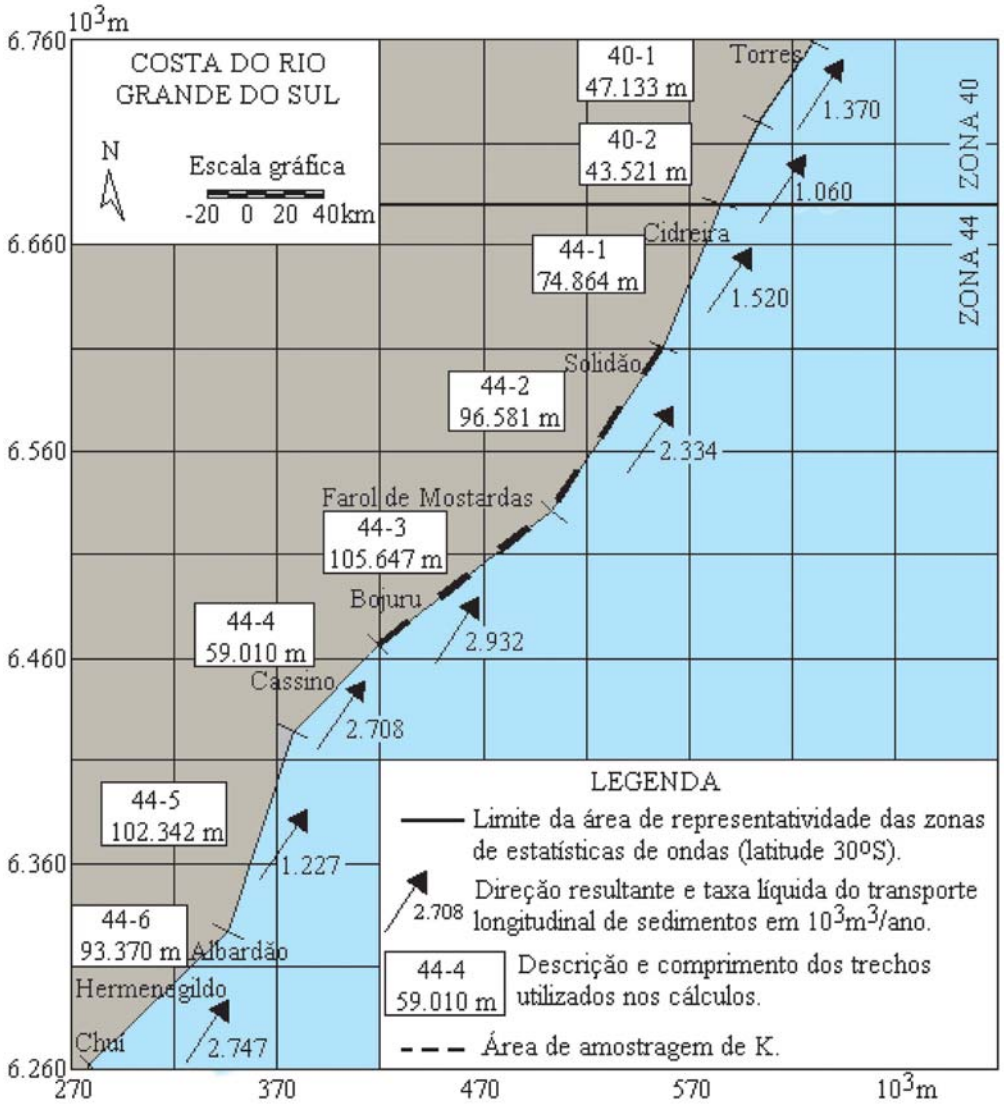


Figura 2. Taxas anuais de deriva litorânea encontradas para a costa do Rio Grande do Sul. Tais valores correspondem ao potencial de transporte das ondas e o coeficiente de proporcionalidade *K* de 0.64 foi ajustado com base em levantamentos realizados em seis perfis observados por Barletta (2000), na região tracejada indicada.

RJ-RS_01ABR2006.pmd 458 14/9/2006, 13:01

Os resultados encontrados estão apresentados na figura 2, mostrando-se de acordo com os padrões observados na área. As maiores taxas foram da ordem de -1.800.000 m³/ano nas proximidades da praia do Hermenegildo e de -1.600.000 m³/ano em média no trecho compreendido entre a praia do Cassino e Solidão. Estes trechos coincidem com as maiores taxas de erosão observadas (Toldo *et al.*, 1999), o que vem a corroborar as tendências salientadas pela aplicação do método. Estes áreas de maior transporte compreendem aproximada 60 % de todo o litoral, enquanto que o restante apresenta taxas com valores médios de -700.000 m³/ano.

O artigo com descrição detalhada do cálculo da deriva litorânea para o litoral do estado encontra-se em Lima *et al.*, (2001).

Referências bibliográficas

ALMEIDA, L.E.S.B.; ROSAURO, N.M.L.; e TOLDO Jr., E.E., 1997. Análise Preliminar das Marés na Barra do Rio Tramandaí, RS. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória, ES, Resumos, p. 560-566.

ALMEIDA, L.E.S.B., TOLDO Jr. E.E., 1997. Relatório Técnico – Projeto Estudos Ambientais em Áreas Costeiras e Oceânicas na Região Sul do País – Região de Osório, RS. IPH, UFRGS, Porto Alegre. 110 p.

BARLETTA, R. C. 2000. Efeitos da Iteração oceano-atmosfera sobre a morfodinâmica das praias do litoral central do Rio Grande do Sul, Brasil. Rio Grande, 160 p. Dissertação de Mestrado. Fundação Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande.

CALLIARI, L.J. e KLEIN, A.H.F., 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das Praias Oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. Pesquisas 20(1), 48-56. UFRGS, Porto Alegre, Brasil.

GRUBER, N.L.S. 2002. A antepraia na região de Tramandaí , RS. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Geociências. UFRGS. 221 p.

HOGBEN, N., LUMB, F. E. 1967. Ocean Waves Statistics. London. Her Majesty's Stationery Office, 197 p.

LIMA, S.F.; ALMEIDA, L.E.S.B. e TOLDO JR., E.E. 2001. Estimate of longshore sediments trans-port from waves data to the Rio Grande do Sul coast. Pesquisas, 28 (2): 99-107.

NICOLODI, J. L.; TOLDO JR., E. E. e GRUBER, N. L. S. 2001. Frequência e Sazonalidade das Marés Meteorológicas no Litoral Norte do Rio Grande do Sul. In: VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2001, Imbé, RS. Anais do VIII Congresso da ABEQUA. Porto Alegre, RS. v.1. p.212 – 214

NICOLODI, J.L.; SIEGLE, E.; RECHDEN FO., R. e CORRÊA, I.C.S. 2002. Análise sedimentológica do pós-praia no Rio Grande do Sul. In: Martins, L.R., Toldo Jr., E.E., Dillenburg, S.R (eds). Erosão Costeira: Causas, análise de risco e sua relação com a gênese de depósitos minerais Porto Alegre.

TOLDO JR, E.E., ALMEIDA, L.E.S., BARROS, C., MARTINS, L.R. 1999. Retreat of the Rio Grande do Sul Coastal Zone, Brazil. *In:* Martins, L.R. and Santana, C.I. (eds.). Non Living Resources of the Southern Brazilian Coastal Zone and Continental Margin. Porto Alegre, Brazil: Editora da UFRGS, p.62-68.

TOLDO JR, E. E. e DILLENBURG, S. R. 2002. Swash bar migration at the inlet of the Lagoa dos Patos Lagoon, Brazil. Journal of Coastal Research. West Palm Beach, FL, USA. ICS. 489-492.

TOMAZELLI, L. J. e VILLWOCK, J. A. 1992. Considerações sobre o ambiente praial e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. Pesquisas, 19: 3-12. UFRGS, Porto Alegre.

TOZZI, H.A.M. e CALLIARI, L.J., 1997. Influências das Tempestades Extratropicais sobre o estoque de Sedimentos das Praias entre Rio Grande e Chuí, RS. Resumos, p. 85-87, Anais da Semana Nacional de Oceanografia, UNIVALI, Itajaí, SC, Brasil.

U.S. Army Coastal Engineering Research Center/ CERC. 1984. Shore Protection Manual. 4ed., Vol (1). Waterways Experiment Station, Corps of Engeneers. USA. 208p.

RJ.RS_01ABR2006.pmd 459 14/9/2006, 13:01

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL

Luciana Slomp Esteves
LABORATÓRIO DE OCEANOGRAFIA GEOLÓGICA, DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURGCIAS

Resumo

Este trabalho descreve os padrões de variação da linha de costa observados no Rio Grande do Sul (RS) através de mapeamentos realizados por DGPS cinemático entre os anos de 1997 e 2002. O uso do DGPS cinemático no monitoramento dos 618 km da linha de costa no RS possibilitou comparar a dinâmica sazonal e interanual das flutuações da linha de costa em diferentes trechos do litoral gaúcho em escala espacial e detalhamento inéditos. Os resultados mostraram diferenças regionais na magnitude e no padrão sazonal dos deslocamentos e no intervalo de tempo em que a linha de costa retorna a sua configuração e posição antecedentes. No litoral sul, a linha de costa responde de maneira distinta ao sul e ao norte do farol do Albardão, onde ocorre uma mudança significativa na orientação da linha de costa. Ao norte do Albardão, os deslocamentos anuais da linha de costa mostram sempre acresção apresentando deslocamentos máximos na ordem de 100 m, enquanto ao sul eles mostram acresção em um ano e erosão no ano seguinte e deslocamentos máximos menores que 40 m. No litoral médio ocorrem as maiores magnitudes das flutuações da linha de costa no Rio Grande do Sul, apresentando deslocamentos de 150 m. As variações anuais da linha de costa no litoral médio apresentam um padrão ondulatório, no qual áreas em erosão ocorrem adjacentes a áreas em acresção e apresentam movimentos opostos em anos consecutivos. Os deslocamentos anuais no litoral norte também apresentam um comportamento ondulatório e antagônico semelhante ao do litoral médio com magnitudes muito variáveis. No entanto, no litoral norte, não há alternância entre áreas em erosão e acresção ao longo da costa, de forma que acresção praial domina em um ano e erosão domina no ano seguinte.

Abstract

Patterns of shoreline change in the state of Rio Grande do Sul (RS) are described using kinematic DGPS surveys obtained from 1997 and 2002. The application of kinematic DGPS to map the 618 km of the RS coastline allowed the identification of seasonal and annual patterns of shoreline change at an unprecedent spatial and scale. The results show regional differences in the magnitude and in the pattern of seasonal and anual shoreline displacements, and also indicate that the shoreline returns to a previous position in different time scales in the three major sectors of the RS coast. Along the southern sector, the shoreline responds differently south and north of Albardão lighthouse, an area of a significant change in the coastline orientation. North of Albardão, the annual displacements of the shoreline indicate accretion with maximum magnitudes around 100 m. South of Albardão, the shoreline moves seaward in one year and northward in the following year with displacements not reaching 40 m. Along the central sector, changes in the shoreline position are the greatest in the state with magnitudes around 150 m. The annual shoreline changes along the central sector show an rhythmic pattern where accreting and eroding areas are intercalated and move to opposite directions in consecutive years. Along the northern sector, shoreline movements also show an opposite and rhythmic pattern and magnitudes of changes are variable alongshore. However, in this sector movements are dominantly seaward in one year and landward in the following year.

RJ.RS_01ABR2006.pmd 460 14/9/2006, 13:01

O crescimento demográfico acelerado nas cidades litorâneas e o aumento progressivo da urbanização costeira são fenômenos observados no Brasil e no mundo. O turismo, a recreação, o comércio e outras atividades relacionadas às praias e a outros ambientes costeiros são o suporte econômico de um número crescente de comunidades. Assim, a demanda acelerada pelos recursos naturais costeiros torna imprescindível a compreensão dos processos dinâmicos ali atuantes em diversas escalas de tempo e espaço (Esteves, 2004). Conhecer as mudanças da linha de costa no presente e no passado, bem como fazer projeções para o futuro, é essencial para a maioria dos projetos de engenharia e planejamento na zona costeira (Galgano & Leatherman, 1991; Morton, 1997; Douglas et al., 1998; Pajak & Leatherman, 2002). Entre as aplicações práticas dos estudos das oscilações da linha de costa estão: a identificação de áreas de risco, a quantificação da perda de terrenos, a determinação de linhas de recuo para construções costeiras e a delimitação de zonas suscetíveis à inundação (NRC, 1990).

Embora as variações da linha de costa sejam processos tridimensionais (Parson et al., 1999), a posição e o deslocamento horizontal da linha de costa são as variáveis que comumente servem como indicadores de erosão e acresção (Stockdon et al., 2002). A rapidez com que as alterações nos sistemas costeiros estão acontecendo torna necessária a obtenção de dados precisos, em grandes áreas, de forma rápida e que permita atualização constante. Recentemente, o enfoque principal dos estudos costeiros tem sido as variações de larga escala (quilômetros de extensão na ordem de anos) na batimetria adjacente à costa e na topografia da praia; pois é nesta escala que as decisões de gerenciamento são tomadas e que uma melhor compreensão científica é necessária (Stockdon et al., 2002). O desenvolvimento de tecnologias como o DGPS cinemático vem contribuindo para o mapeamento de grandes extensões costeiras em um relativo curto intervalo de tempo e com um custo baixo. Isto possibilita o estudo regional, em que o comportamento de longos setores costeiros pode ser comparado sob condições oceanográficas e meteorológicas semelhantes.

Métodos

Desde 1997, a linha de costa do RS vem sendo monitorada através do método de DGPS cinemático conforme descrito em Toldo *et al*. (1999), Almeida & Toldo (2002) e Esteves (2004). Os 618 km da costa gaúcha são percorridos com o GPS instalado em um veículo que se desloca com velocidade de 50 km/h obtendo as

RJ.RS_01ABR2006.pmd 461 14/9/2006, 13:01

posições da linha de costa em intervalos de tempo regulares. Em 1997, foram utilizados dois aparelhos *Garmin GPS 100 Personal Surveyor*, um deles instalado em um veículo em movimento registrando posições a cada 5 s e o outro, operando no modo estático, foi posicionado a cada 100 km, com o objetivo de aumentar a precisão das leituras para 3 m (Toldo *et al.,* 1999). Nos anos seguintes, o pós-processamento dos dados foi feito pela antena de Porto Alegre, e não mais pelo GPS em modo estático. A partir de 2000, passou-se a utilizar o equipamento *Trimble GPS 4600*, com precisão de 1 m no modo de navegação, registrando as leituras a cada 3 s (Almeida & Toldo, 2002), ou seja, obtendo posições da linha de costa aproximadamente a cada 40 m.

Os mapeamentos da linha de costa foram realizados em 26-28/11/1997, 17-19/11/1998, 10-11 e 19/11/1999, 26-28/06/2000 e 15-17/04/2002. A linha d'água foi utilizada como feição indicadora nos quatro primeiros levantamentos, enquanto a linha de máximo espraiamento da onda foi mapeada em 2002. Sendo assim, para permitir comparação com as demais linhas de costa, foi necessário corrigir a posição da linha mapeada em 2002, deslocando-a em direção ao mar. O fator de correção foi determinado medindo-se a distância entre a linha de máximo espraiamento e a linha d'água em fotografias aéreas de 1974, 1989 e 2000 disponíveis para a costa do RS. As medidas foram realizadas aproximadamente a cada 500 m ao longo da costa e os valores médios obtidos para trechos de praia de características semelhantes foram utilizados como fator de correção. Assim, a linha de costa de 2002 foi dividida em onze segmentos, cada um deslocado em direção ao mar pelo fator de correção correspondente, que variou de 10 m a 20 m. Importante ressaltar que estas feições foram escolhidas como indicadoras da linha de costa por serem as únicas contínuas ao longo de toda a área de estudo, além de serem as únicas que permitem mapeamento utilizando-se o DGPS instalado em um veículo.

O processamento dos dados foi realizado no programa ArcView GIS 3.2. Os deslocamentos da linha de costa e as taxas de erosão foram estimados a cada 250 m ao longo da costa utilizando-se a extensão *Digital Shoreline Analysis System 2.0* desenvolvida pelo *U.S. Geological Survey* (Thieler *et al.,* 2003). Detalhes sobre os levantamentos e as estimativas dos erros, são encontradas em Esteves (1994).

Padrões de variação da linha de costa

Os padrões de variação da linha de costa foram determinados através da análise de gráficos mostrando o deslocamento horizontal da linha d'água *vs.* a distância ao longo da costa. Padrões interanuais foram observados comparando-se os deslocamentos da linha de costa registrados sob condições astronômicas (maré) e meteorológicas semelhantes em novembro de 1997, 1998 e 1999. Os padrões sazonais refletem as variações observadas entre as posições da linha de costa

B1 RS_01ABR2006.pmd 463 14/9/2006, 13:01

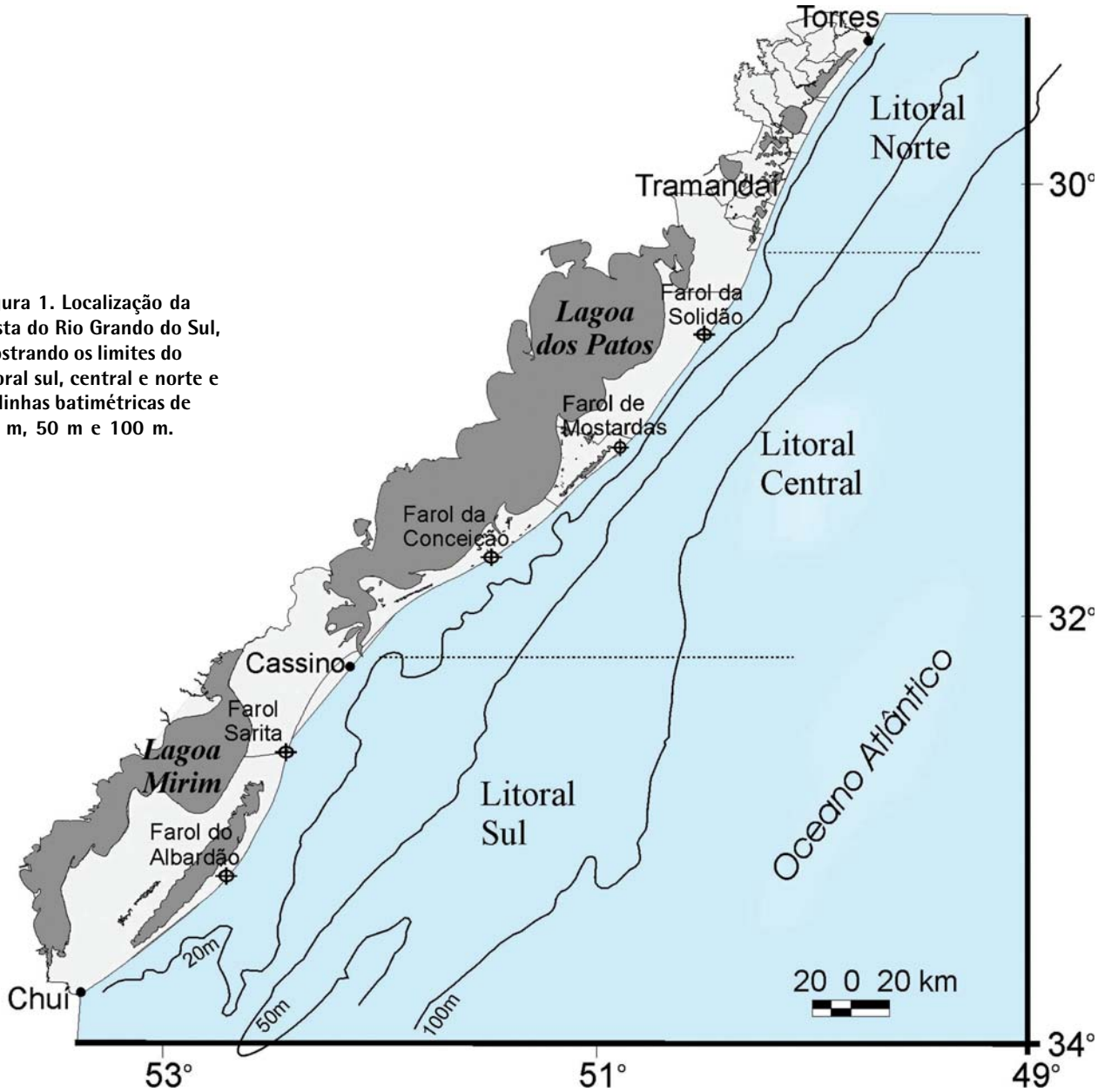


Figura 1. Localização da costa do Rio Grando do Sul, mostrando os limites do litoral sul, central e norte e as linhas batimétricas de 20 m, 50 m e 100 m.

obtidas em novembro (primavera), junho de 2000 (início do inverno) e abril de 2002 (início do outono). As principais características dos padrões de deslocamento da linha de costa são resumidas a seguir.

Padrões anuais

No litoral sul, a linha de costa responde de maneira distinta ao sul e ao norte do Albardão, onde ocorre uma mudança significativa na orientação da linha de costa (figura 1). Ao norte do Albardão, os deslocamentos anuais mostram sempre acresção, enquanto ao sul eles mostram acresção entre 1997 e 1998 e erosão entre 1998 e 1999 (figura 2a). No litoral central, as flutuações anuais da linha de costa apresentam um padrão ondulatório, no qual áreas em erosão ocorrem adja-

RJ.RS_01ABR2006.pmd 463 14/9/2006, 13:01

centes a áreas em acresção e apresentam movimentos opostos em anos consecutivos. Interessante notar que os picos de deslocamentos positivos e negativos são espacialmente coincidentes em intervalos regulares a cada 35 km ao longo da costa. Os deslocamentos anuais no litoral norte apresentam um comportamento ondulatório e antagônico semelhante ao do litoral médio. No entanto, no litoral norte, não há alternância entre áreas em erosão e acresção, de forma que acresção praial domina entre 1997 e 1998 e erosão domina entre 1998 e 1999, similarmente ao que ocorre no extremo sul do litoral sul.

O comportamento antagônico dos deslocamentos anuais da linha de costa coincide com os eventos de El Niño e La Niña que ocorreram em 1997/1998 e 1999, respectivamente. Os efeitos do El Niño na dinâmica costeira provavelmente foram os responsáveis pela retração da linha de costa registrada em novembro de 1997. O período pós-El Niño caracterizado pela redução na energia dos ventos e ondas possibilitou a recuperação da praia, resultando na acresção observada entre novembro de 1997 e novembro de 1998. Já o aumento da ciclogênese durante o evento La Niña de 1999 resultou na retração da linha de costa observada entre novembro de 1998 e novembro de 1999.

Esta variabilidade temporal dos deslocamentos anuais no litoral médio e norte faz com que estimativas de taxas de variação da linha de costa possam apresentar valores muito distintos e até opostos dependendo do intervalo de tempo analisado (Esteves *et al.,* 2003). Taxas estimadas com base na comparação de posições da linha de costa obtidas em apenas duas datas são particularmente sensíveis e devem ser consideradas apenas quando as condições (oceanográficas e meteorológicas) que os dados representam forem conhecidas. Esta grande variabilidade temporal e espacial nos deslocamentos da linha de costa é responsável pela diferença nos resultados obtidos por estudos que analisam mudanças na morfologia costeira em diferentes escalas de tempo.

Padrões sazonais

A figura 2b representa variações sazonais já que compara os deslocamentos da linha de costa entre 11/1999 e 06/2000 (evidênciando a erosão no inverno quando comparado à primavera) e entre 06/2000 e 04/2002 (mostrando acresção logo após o final do verão quando comparado ao inverno). Os resultados apresentados aqui corroboram com estudos anteriores que mostram variações sazonais no perfil praial, que tende a erodir nos meses de outono e inverno, decorrente da maior energia de ondas e maior freqüência das tempestades, e a engordar durante os meses de primavera e verão (*e.g.* Barletta, 2000; Weschenfelder *et al.*, 1997; Calliari & Klein, 1993).

Um dos resultados mais intrigantes deste estudo refere-se ao retorno da linha de costa a uma posição anterior, formando uma imagem especular nos gráficos de deslocamento da linha de costa (figura 3). Este processo foi verificado em um

R1 PS_01ABR2006.pmd 464 14/9/2006, 13:01

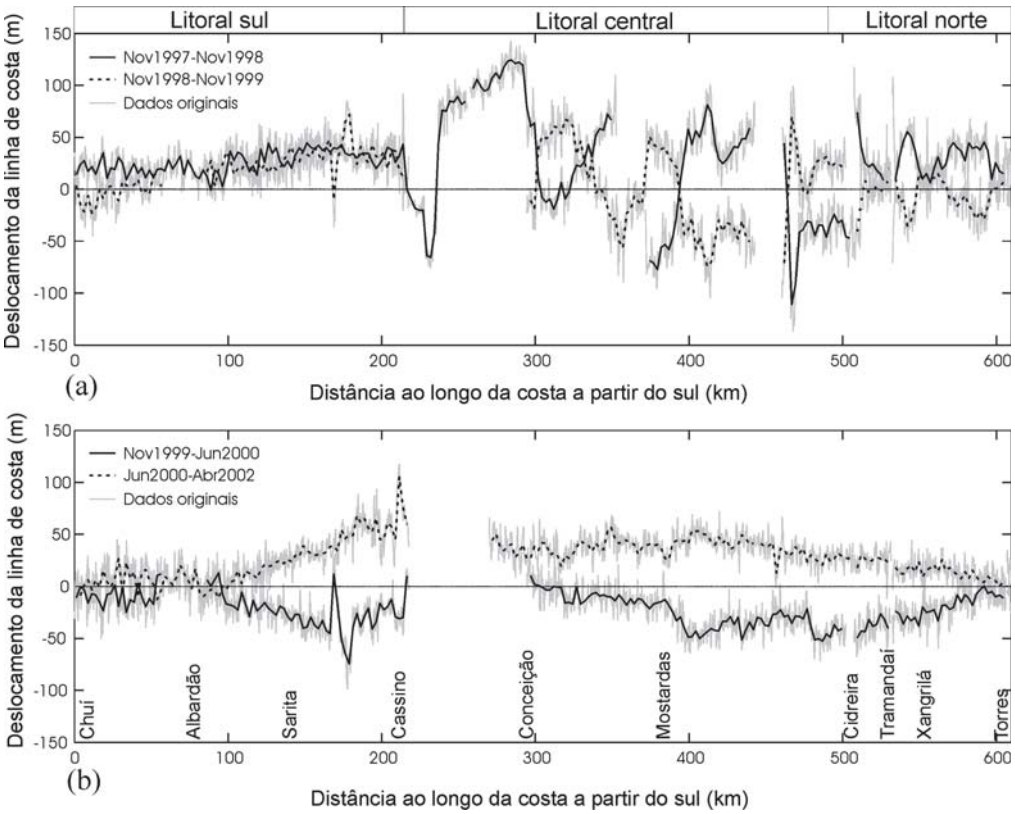


Figura 2. Deslocamentos (a) anuais e (b) sazonais da linha de costa no Rio Grande do Sul. Os gráficos apresentam os dados originais obtidos a cada 250 m ao longo da costa e resultados de média móvel a cada quatro pontos para melhor visualização. Valores positivos são atribuídos aos deslocamentos em direção ao mar (acresção) e valores negativos são atribuídos aos deslocamentos em direção ao continente (retração).

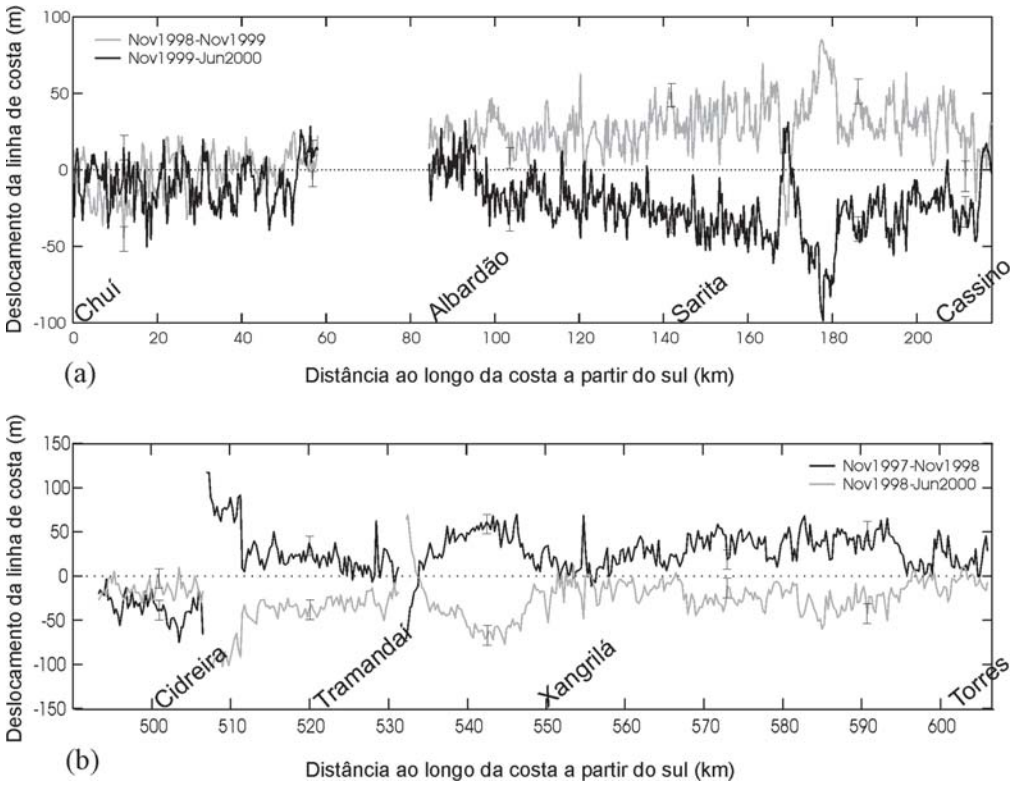


Figura 3. Variações sazonais nos deslocamentos da linha de costa no (a) litoral sul e no (b) litoral norte mostrando o equilíbrio entre acresção e erosão, ou seja, o retorno da linha de costa a uma posição anterior em diferentes intervalos de tempo.

RJ.RS_01ABR2006.pmd 465 14/9/2006, 13:01

intervalo de sete meses entre Albardão e Cassino no litoral sul (figura 3a), um ano no litoral central (figura 2a) e dezenove meses no litoral norte (figura 3b). A linha média dos deslocamentos registrados entre 11/1998 e 11/1999 e entre 11/1999 e 06/2000 para a área entre o Albardão e o Cassino oscila em torno do zero, sugerindo que há um balanço entre erosão no outono-inverno e acresção na primavera-verão. Situação semelhante ocorre no litoral norte, mas para um intervalo de tempo maior (19 meses), embora ali os picos nem sempre apresentem a mesma magnitude, resultando numa média com valores negativos ao sul de Xangrilá, e positivos ao norte. Esta imagem especular também foi observada na costa leste dos EUA comparando-se deslocamentos da linha de costa num período de duas semanas, antes e depois de uma tempestade (List & Farris, 1999). Como esta feição foi observada em praias distintas e diversas escalas de tempo, provavelmente o retorno da linha de costa a sua forma e posição anteriores é uma questão de tempo. De forma que somente monitoramentos sistemáticos realizados por um longo período poderão mostrar se esta forma e posição anteriores são dominantes no tempo ou apenas momentos transitórios entre estados altamente dinâmicos (Esteves, 2004)

Mobilidade praial e estado morfodinâmico

A mobilidade é uma função do estado morfodinâmico da praia, sendo que as praias intermediárias tendem a apresentar mobilidade moderada a alta e as praias refletivas, mobilidade baixa. De uma forma geral, as praias do litoral norte do RS foram classificadas como intermediárias a dissipativas (Weschenfelder *et al.*, 1997), no litoral central como intermediárias (Barletta, 2000) e no litoral sul, dissipativas entre a praia do Cassino e o Farol Sarita, refletivas na área dos Concheiros do Albardão e intermediárias nas demais (Calliari & Klein, 1993). Observando-se as variações máximas na posição da linha de costa registradas pelos levantamentos de DGPS, pode-se verificar uma relação com os estados morfodinâmicos dominantes.

Em escala regional, pode-se dizer que as praias intermediárias do litoral central apresentam maior mobilidade, i.e. deslocamentos da linha de costa numa faixa de 140 m. As praias refletivas são menos móveis, apresentando variações máximas na posição da linha de costa de 40 m. Setores do litoral norte dominados por praias intermediárias apresentaram mobilidade semelhante às praias refletivas no período estudado, com variações entre 20 m e 40 m. As praias dissipativas do litoral sul mostraram mobilidade semelhante à das praias intermediárias do litoral central, com variações máximas de 120 m. Assim, além do estado morfodinâmico, outros fatores parecem ser importantes na determinação da mobilidade praial no RS. A influência da orientação da linha de costa (i.e. definindo o ângulo de aproximação das ondas) é evidente, já que os locais de maiores variações coincidem com a parte central de embaiamentos e as menores variações ocorrem nas projeções costeiras (Esteves, 2004).

RJ RS_01ABR2006.pmd 466 14/9/2006, 13:01

Conclusões

O mapeamento da linha de costa através do DGPS cinemático possibilitou a identificação de padrões de comportamento das variações da linha de costa em diferentes trechos do litoral gaúcho. Por falta de estudos de escala regional e pela similaridade de sua paisagem, por muito tempo a costa do RS foi descrita como retilínea e homogênea. Mapeamentos contínuos ao longo de todo litoral em um intervalo de tempo de cinco anos mostraram diferenças regionais no comportamento das variações da linha de costa. As diferenças ocorrem na magnitude das flutuações, no padrão dos deslocamentos e seus efeitos sazonais. De uma forma geral, a mobilidade praial em diferentes setores da costa parece ser influenciada tanto pelo estado morfodinâmico das praias quanto pela orientação da linha de costa.

Referências bibliográficas

ALMEIDA, L.E.S.B. & TOLDO, JR. E.E. (2002). Levantamentos da linha de praia com emprego de DGPS no litoral do Rio Grande do Sul. Material Inédito. IPH/UFRGS, CECOUFRGS.

BARLETTA, R.C. (2000). Efeitos da Interação Oceano-Atmosfera Sobre a Morfodinâmica das Praias do Litoral Central do Rio Grande do Sul, Brasil. Fundação Universidade Federal do Rio Grande (Rio Grande, RS), *Dissertação de Mestrado*, 160p.

CALLIARI, L.J., & KLEIN, A.H.F. (1993). Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas*, 20(1): 48-56.

DOUGLAS, B.C.; CROWELL, M. & LEATHERMAN, S.P. 1998. Considerations for shoreline position prediction. Journal of Coastal Research, 14(3), 1025-1033

ESTEVES, L.S. (2004). Variabilidade espaço-temporal dos deslocamentos da linha de costa no Rio Grande do Sul. UFRS, Instituto de Geociências (Porto Alegre, RS), *Tese de Doutorado*, 139p.

ESTEVES, L.S.; DILLENBURG, S.R. & TOLDO JR., E.E. (2003). Regional alongshore variability of shoreline movements in southern Brazil. Coastal Sediments'03, 11p., (CD of Proceedings, Regional alongshore variability of shoreline movements.pdf).

GALGANO, F.A. & LEATHERMAN, S.P. 1991. Shoreline change analysis: a case study. Coastal Sediments '91, 1, 1043-1053.

LIST, J.H. & FARRIS, A.S. (1999). Large-scale shoreline response to storms and fair weather. Coastal Sediments '99, 1324-1338.

MORTON, R.A. 1997. Gulf shoreline movement between Sabine Pass and the Brazos River, Texas: 1974 to 1996. University of Texas at Austin, Geological Circular 97-3, 27p.

NRC (National Research Council). 1990. Managing Coastal Erosion. Washington, D.C., National Academy Press. 182 p.

PAJAK, M.J. & LEATHERMAN, S. 2002. The high water line as shoreline indicator. Journal of Coastal Research, 18(2), 329-337.

PARSON, L.E.; LILLYCROP, W.J. & MCCLUNG, J.K., 1999. Regional sediment management using high density LIDAR data. Coastal Sediments '99, 3, 2445-2456.

STOCKDON, H.J.; SALLENGER, A.H.,JR.; LIST, J.H. & HOLMAN, R.A. 2002. Estimation of shoreline position and change using airborne topographic lidar data. Journal of Coastal Research, 18(3), 502-513.

THIELER, E. R., MARTIN, D. & ERGUL, A. (2003). The Digital Shoreline Analysis System, version 2.0: Shoreline change measurement software extension for ArcView. USGS Open-File Report 03-076.

TOLDO, JR. E.E.; ALMEIDA, L.E.S.B.; BARROS, C.E.; BAITELLI, R.; MARTINS, L.R. & NICOLODI, J.L. (1999). Retreat of the Rio Grande do Sul coastal zone, Brazil. In: Martins, L.R. e Santana, C.I. (eds.), Non Living Resources of the Southern Brazilian Coastal Zone and Continental Margin, IOC-UNESCO, Porto Alegre, Brasil, 62-68.

WESCHENFELDER, J.; AYUP-ZOUAIN, R.N.; ZOMER, S.L.C. & SOUTO, R.P. 1997. Caracterização Morfológica das Praias Oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS. Notas Técnicas, 10, 35-48.

RJ-RS_01ABR2006.pmd 467 14/9/2006, 13:01

EROSÃO E ACRESÇÃO DA ZONA COSTEIRA

Elírio E. Toldo Jr.
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/ CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEÂNICA – CECO

Luiz E. S. B. Almeida
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS – IPH

João L. Nicolodi
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS – IG/ UFRGS

Luiz R. Martins
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS/ CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEÂNICA – CECO

Resumo

A retração e progradação de zonas costeiras arenosas submetidas ao regime de micromarés resultam principalmente da dinâmica entre a quantidade e o tipo de suprimento sedimentar, energia física das ondas e mudanças relativas do nível do mar. Apresentamos como resultados a quantificação dos processos de retração e progradação, obtidos da análise temporal da série de dados coletados em 1975, e ao levantamento da linha de praia efetuado com posicionador GPS em Novembro de 1997. O Rio Grande do Sul é constituído por 630 km de costa oceânica aberta de depósitos Quaternários inconsolidados que não recebem suprimentos de sedimentos arenosos da área continental. Os resultados da análise temporal entre 1975 e 1997, mostram que a linha de praia é caracterizada por estados erosivos e deposicionais, com 442 km de praias em retração, 173 km sob progradação e 6 km constituem-se de praias sem variações significativas. A presença destes estados, alternados ao longo da costa, é um exemplo de complexidade das interações físicas relacionadas a evolução histórica da linha de praia ao longo desta costa.

Abstract

Retreat and progradation of microtidal sandy beaches, are mainly related with the dynamic among the available amount and type of the sedimentary supply, wave energy and relative changes of the sea-level. Results of a study based in a temporal analysis (1975-1997) along coastline (630 km) of the Rio Grande do Sul state (southern Brazil) identified 442 km of beach in state retreat, while, 173 km are in progradation and 6 km without significant modification. The presence of these three expressions, exemplifies the complexity of the physical interactions related with the evolution of the coastline in the area.

RJ.RS_01ABR2006.pmd 468 14/9/2006, 13:01

Introdução

A erosão de zonas costeiras arenosas resulta principalmente da dinâmica dos seguintes fatores físicos sobre a praia:

- quantidade e tipo de suprimento de sedimentos,
- energia física induzida por ondas,
- variações relativas do nível do mar.

Neste trabalho discutimos a relação destas variáveis para compreender as modificações da linha de praia do Estado do Rio Grande do Sul. Apresentamos como resultados a quantificação dos processos de retração e progradação, obtidos da análise temporal da série de dados coletados em 1975, e ao levantamento da linha de praia efetuado com posicionador GPS em Novembro de 1997.

O presente trabalho foi desenvolvido com recursos dos projetos (1) OEA – Convênio CECO/ IG/ UFRGS, (2) Atlas de Erosão – Convênio Ministério do Meio Ambiente e (3) CNPq.

Método

Foram realizadas medidas de posição da linha de praia oceânica do Estado do Rio Grande do Sul, no período de 26 e 28 de Novembro de 1997, entre os Municípios de Torres e Chuí, utilizando dois DGPS GARMIN modelo 100, com precisão de 10 m para o modo de navegação e 3 m para o modo estático. O trabalho de campo foi conduzido com um GPS instalado em um veículo que se deslocava a 20 m de distância da linha de praia e a uma velocidade média de 50 km/h (figura 1). O outro GPS, no modo estático, foi posicionado em lugares da costa previamente estabelecidos, de modo a cobrir as leituras do primeiro GPS, com a finalidade de melhorar a precisão dos dados obtidos pelo GPS móvel (Toldo *et al.* 1999, Toldo e Almeida 2003). Este levantamento foi comparado com a linha de praia reproduzida a partir da coleção de cartas do Exército de 1978, escala 1:50.000, as quais correspondem à restituição de fotografias aéreas efetuadas em 1975. A análise comparativa temporal foi realizada através do programa de computador IDRISI.

TOLDO E ALMEIDA, 1993

Figura 1. Linha d'água adotada nos levantamentos de campo realizados nos meses de novembro de 1997, 1998, 1999, 2000, e abril de 2002, a qual corresponde à linha de espraiamento da onda.

RJ RS 01ABR2006.pmd 469 14/9/2006, 13:01

Resultados e discussões

O litoral do Rio Grande do Sul é representado por 630 km de costa aberta e caracterizado por depósitos quaternários inconsolidados (Villwock e Tomazelli, 1995), sobre os quais não ocorrem suprimentos atuais de sedimentos continentais, pois a descarga de areia produzida pela bacia de drenagem de sudeste do Estado é retida nos sistemas lagunares e estuarinos (Toldo *et al.*, 1996).

Os resultados da análise temporal de 22 anos apresentados neste trabalho (figuras 1, 2 e 3), mostram que dos 630 km de costa, 442 km exibem feições de caráter erosivo, 173 km representam praias progradantes e 6 km constituem-se de praias sem variações. Neste trabalho não foram consideradas as extensões entre os promontórios da praia de Torres e destes até o rio Mampituba.

EDGAR E LIANA TIMM

TOLDO E ALMEIDA

TOLDO E ALMEIDA

Fotografia 2. Farol da Conceição;
(a) vista para o norte em 1988,
(b) vista para o sul do farol tombado e da nova estrutura do farol à direita, em 1997 e (c) 1999, o qual se encontra localizado ao longo de extenso segmento erosivo do Litoral Médio do estado (figura 5).

R1 RS_01ABR2006.pmd 470 14/9/2006, 13:02

A maior parte da costa gaúcha está submetida a processos erosivos com taxas que excedem a 100 m em 22 anos (figura 5). Estas áreas estendem-se por aproximadamente 378 km, enquanto que as áreas sob condições deposicionais (figura 3), não excedem a taxas de 40 m para este período. As zonas costeiras ao sul do molhe da barra da Lagoa dos Patos e ao norte do arroio Chuí apresentam um balanço entre as taxas de suprimento e de remoção de sedimentos para o período de 22 anos, com variações da linha de praia inferiores a 20 m. Registros dos processos erosivos sobre a zona costeira do Rio Grande do Sul, tanto de curto, como de longo período, têm sido documentados por Alvarez *et al.* (1981), Barletta e Calliari (1997), Calliari e Klein (1993), Calliari *et al.* (1996), Siegle (1996), Tomazelli e Villwock (1989, 1992), Tomazelli *et al.* (1996), Tozzi e Calliari (1997), Calliari *et al.* (1998), (Toldo *et al.*, 1999), Dillenburg *et al.* (2000), Esteves *et al.* (2002).

TOLDO E ALMEIDA

Figura 3. Visada para norte da praia de Dunas Altas, localizada no segmento do litoral médio do estado em progradação.

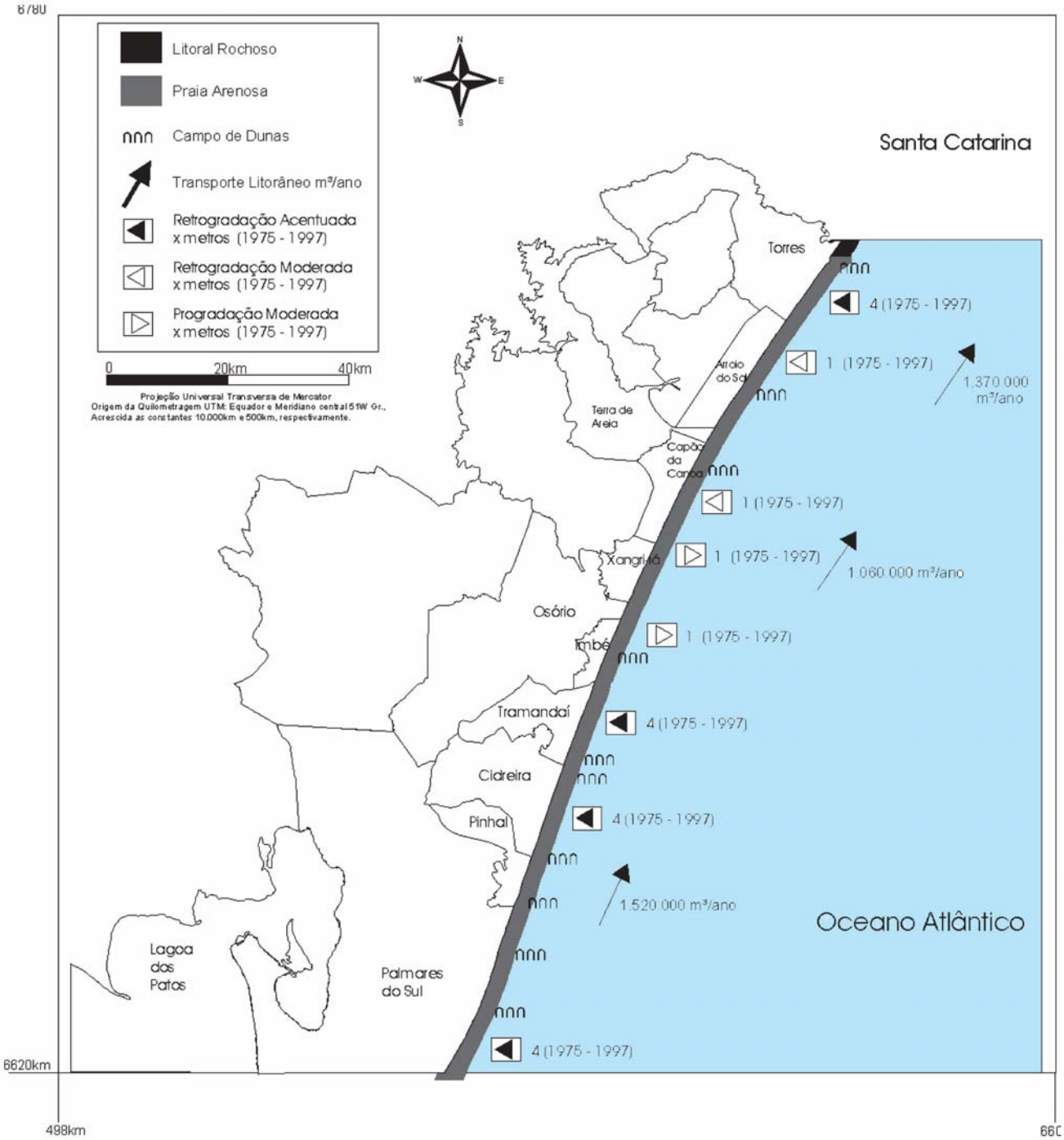
As tendências de evolução da linha de costa, estabelecidas pelos extremos erosivos e deposicionais, resultam da complexa interação entre as taxas de variações relativas do nível do mar, as taxas de suprimento sedimentar, a dinâmica das ondas e os impactos produzidos por ondas de tempestades. Estudos sobre as taxas de variações do nível do mar para esta região indicam elevações da ordem de +0,62 mm/ano, como estabelecido a partir dos dados do marégrafo de Punta del Este - República do Uruguai, entre os anos de 1901 e 1992 (Laborde, *In:* Isla, 1997). Toldo (1989), em trabalhos sobre a dinâmica dos esporões da Lagoa dos Patos também inferiu uma taxa de elevação recente do nível médio das águas da laguna, com valores de +1,00 m para os últimos 300 anos, utilizando as taxas de crescimento dos esporões emersos sobre seus correspondentes submersos.

Incluímos nestas interações os resultados obtidos por Siegle (1996) e Calliari *et al.* (1998), os quais observaram a ocorrência de concentração de energia de ondas por refração nos locais de elevadas taxas de erosão (> 100 m), na região do farol

RJ.RS_01ABR2006.pmd 471 14/9/2006, 13:02

da Conceição e ao norte da praia do Chuí. Ainda, os efeitos das tempestades catastróficas geradas durante a passagem de frentes frias, que elevam o nível médio do mar em até 1,5 m (Almeida *et al.*, 1997), segundo Calliari *et al.* (1996), Tozzi e Calliari (1997), tem relações diretas com os ciclos erosivos e deposicionais no estoque dos sedimentos praiais. Os resultados apresentados por Lima *et al.* (2001), relativos ao calculo das taxas deriva litorânea de curto período, mostram também uma relação direta com distribuição do estoque dos sedimentos praiais, mapeados neste levantamento. Toldo *et al.* (2004), apresentam um modelo para o

Figura 4. Resultados da análise temporal de 22 anos (1975–1999) das tendências de mobilidade da linha de praia para o Litoral Norte do estado.



balanço de sedimentos ao longo do litoral médio do estado, associando a retração com os segmentos que apresentam elevadas taxas de deriva litorânea, e a progradação com os locais onde registra-se a mudança de alinhamento dos segmentos praiais. Nestes locais ocorre o engarrafamento da deriva litorânea, que produz deposição dos sedimentos arenosos e conseqüente alargamento do sistema praial ou, desde o campo de dunas costeiras até a antepraia junto a isóbata de 10 m. A progradação das praias de Mostardas e Dunas Altas exemplificam estes processo.

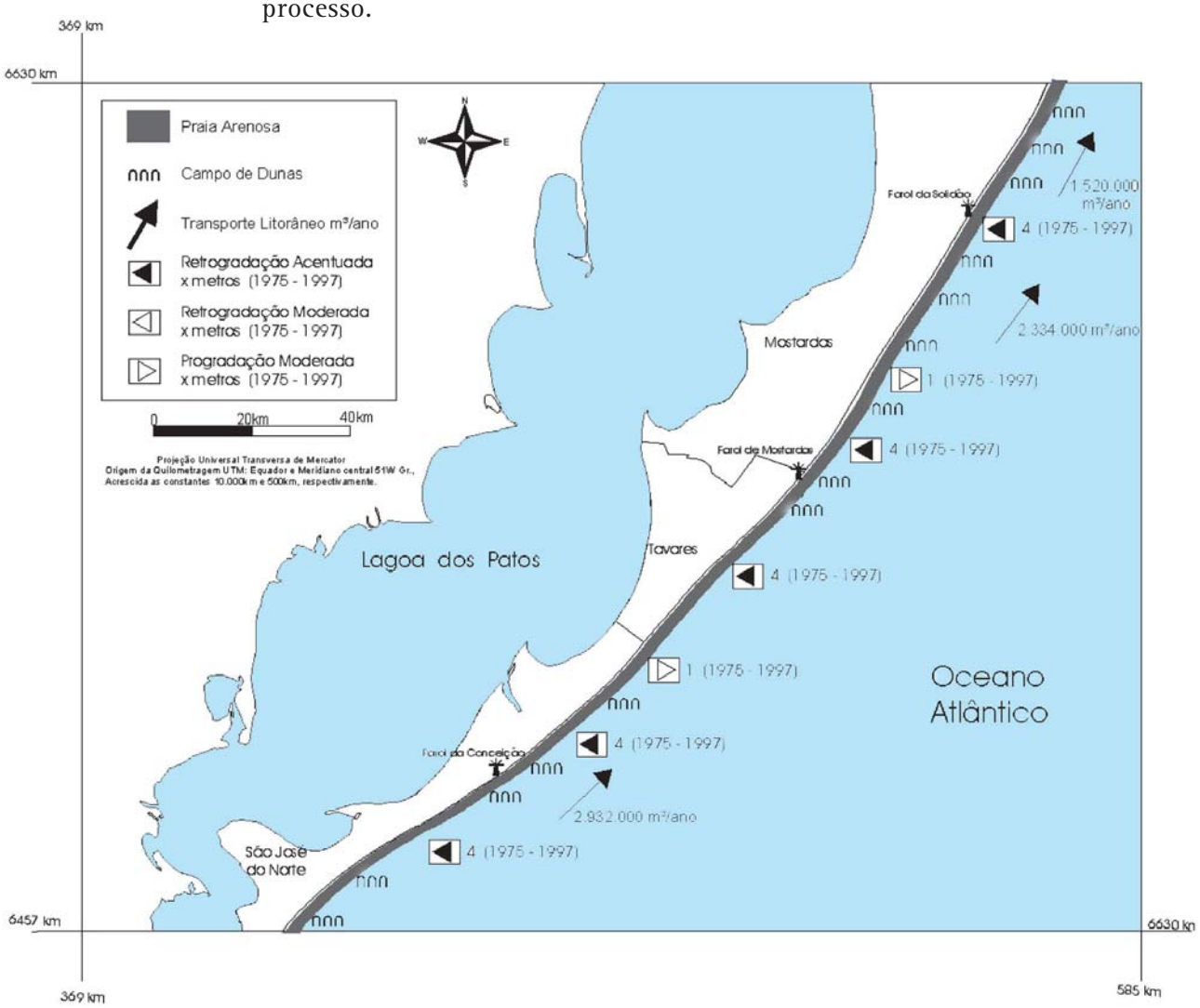


Figura 5. Resultados da análise temporal de 22 anos (1975-1999) das tendências de mobilidade da linha de praia para o Litoral Médio do estado.

RJ.RS_01ABR2006.pmd 473 14/9/2006, 13:02

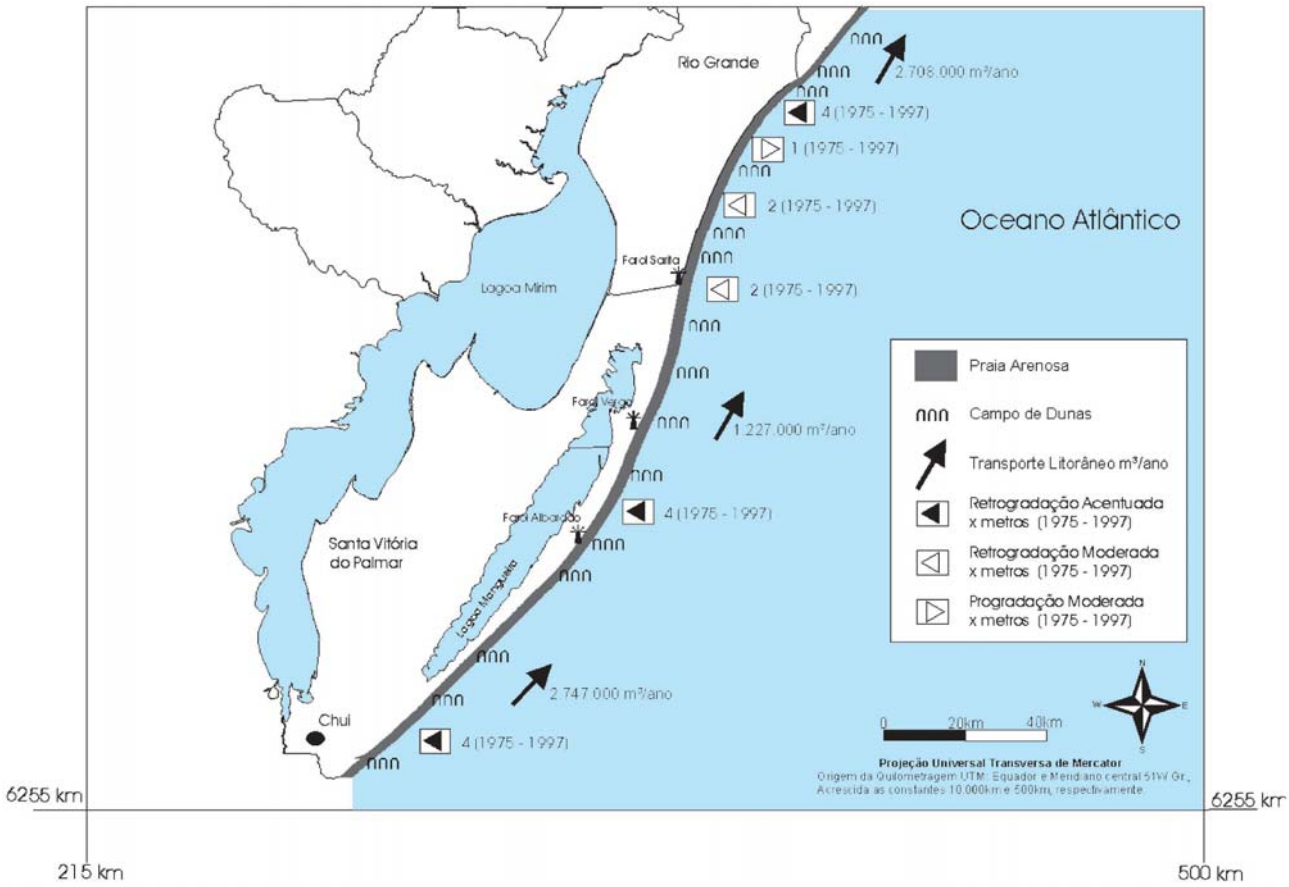


Figura 6. Resultados da análise temporal de 22 anos (1975-1999) das tendências de mobilidade da linha de praia para o Litoral Sul do estado.

Por último, é importante observar que neste mapeamento foram registradas áreas deposicionais, para um litoral sem suprimento de sedimentos continentais arenosos, o que demonstra a complexidade das interações entre estes processos, para compreender a dinâmica da erosão costeira ou mesmo para hierarquizar os fatores físicos responsáveis pela erosão costeira.

RJ-RS_01ABR2006.pmd 474 14/9/2006, 13:02

Referências bibliográficas

ALMEIDA, L.E.S.B., ROSAURO, N.M.L., TOLDO Jr., E.E. 1997. Análise Preliminar das Marés na Barra do Rio Tramandaí, RS. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória, ES, *Resumos*, p: 560-566.

LIMA, S. F., ALMEIDA, L. E. S. B., TOLDO Jr., E. E. 2001. Estimativa da Capacidade de Transporte de Sedimentos a Partir dos Dados de Ondas para a Costa do Rio Grande do Sul. In: Anais do VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2001, Imbé, RS. Pesquisas V.1(2). P:99-108.

ALVAREZ, J.A; GRÉ, J.C.R; TOLDO Jr., E.E. 1981. Estudos da Praia a Nordeste do Molhe de Rio Grande, *Pesquisas,* 14*:* 131-147.

BARLETTA, R.C., CALLIARI, L.J. 1997. Caracterização Morfodinâmica de Praias Compreendidas entre o Farol da Conceição e São José do Norte, RS. *Resumos,* p:24-26, Anais da Semana Nacional de Oceanografia, UNIVALI, Itajaí, SC, Brasil.

CALLIARI, L.J., KLEIN, A.H.F. 1993. Características Morfodinâmicas e Sedimentológicas das Praias Oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas* 20(1), 48-56, UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.

CALLIARI, L.J.; TOZZI, H.A.M.; KLEIN, A.H.F. 1996. Erosão associada a marés meteorológicas na costa sul-riograndense (COMEMIR/OSNLR), *Anais*, 34º Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador. SBG. 4:682-684.

CALLIARI, L.J.; SPERANSKI, N., BOUKAREVA, I. 1998. Stable focus of wave rays as a reason of local erosion at the southern Brazilian coast. *Journal of Coastal Research*, 26(2), 19-23.

DILLENBURG, S.R.; ROY, P.S.; COWELL, P.J., TOMAZELLI, L.J. 2000. Influence of antecedent topography on coastal evolution as tested by the Shorface Translation-Barrier Model (STM). *Journal of Coastal Research*, 16(1), 71-81.

ESTEVES, L. S., TOLDO Jr., E. E., DILLENBURG, S. R., TOMAZELLI, L. J. 2002. Long and Short Term Castal Eosion in Suthern Brazil. In: International Coastal Symposium 2002, International Coastal Symposium. , V.1. p:273-282.

ISLA, F.I. 1997. Boletin Informativo Regional n12. OSNLR Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

SIEGLE, E. 1996. Distribuição dos Sedimentos Litorâneos entre o Farol da Conceição e Farol do Chuí, RS, e Fatores Condicionantes Curso de Graduação em Oceanologia, Fundação Universidade do Rio Grande. Trabalho de Graduação, 91p.

TOLDO Jr., E.E. 1989. Os Efeitos do Transporte Sedimentar sobre a Distribuição dos Tamanhos de Grão e Morfodinâmica Lagunar. Porto Alegre. 143 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TOLDO, JR, E.E; ALMEIDA, L.E.S.B; CORRÊA, I.C.S. 1996. Produção de sedimentos no sistema lagunar da Lagoa dos Patos, RS. In: II Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, Rio de Janeiro RJ, ABRH, p:261-268.

TOLDO JR., E. E., ALMEIDA, L. E. S. B., BARROS, C. E., BAITELLI, R., MARTINS, L. R. S., NICOLODI, J. L. 1999. Retreat of the Rio Grande do Sul Coastal Zone, Brazil. In: Martins, L.R. and Santana, C.I. (eds.). Non Living Resources of the Southern Brazilian Coastal Zone and Continental Margin. Porto Alegre, Brazil: Editora UFRGS: p:62-68.

TOLDO JR., E. E., ALMEIDA, L. E. S. B. 2003. A Linha de Água como Indicadora da Posição da Linha de Praia. In: IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Recife, PE. CD.

TOLDO JR., E. E., NICOLODI, J. L., ALMEIDA, L. E. S. B., CORRÊA, I. C. S. 2004. Coastal Dunes and Shoreface Width as a Function of Longshore Transport. *Journal of Coastal Research* Itajaí, SC: , Special Issue 39, submetido.

TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A. 1989. Processos Erosivos na Costa do Rio Grande do Sul, Brasil: Evidências de uma Provável Tendência Contemporânea de Elevação do Nível Relativo do Mar. *Resumos,* 2 Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Rio de Janeiro, ABEQUA, p. 16.

TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A. 1992. Considerações Sobre o Ambiente Praial e a deriva litorânea de sedimentos ao Longo do Litoral Norte do Rio Grande do Sul. *Pesquisas,* 19*(1):* 3-12.

TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A., DILLENBURG, S.R., BACHI, F.A., DEHNHARDT, B.A., 1996. Erosão Costeira no Rio Grande do Sul, *Anais*, 34º Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador. SBG. 4:685-687.

TOZZI, H.A.M., CALLIARI, L.J., 1997. Influências das Tempestades Extratropicais sobre o estoque de Sedimentos das Praias entre Rio Grande e Chuí, RS. *Resumos,* p:85-87, Anais da Semana Nacional de Oceanografia, UNIVALI, Itajaí, SC, Brasil.

VILLWOCK, J.A., TOMAZELLI, L.J. 1995. Geologia Costeira do Rio Grande do Sul. Notas Técnicas, CECO-UFRGS, 8:1-45.

RJ.RS_01ABR2006.pmd 475 14/9/2006, 13:03