

INFLUÊNCIA DA MOBILIDADE PRAIAL NAS ESTIMATIVAS DAS TAXAS DE VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA

Luciana Slomp Esteves¹; Elírio E. Toldo Jr.²; Sérgio R. Dillenburg³.

¹*Departamento de Geociências, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, CP 474 Rio Grande, RS 90460-060 Brasil e-mail: lsestev@terra.com.br*

²*Instituto de Geociências/CECO, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CP 15001 Porto Alegre, RS 91509-900 Brasil toldo@vortex.ufrgs.br*

³*Instituto de Geociências/CECO, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CP 15001 Porto Alegre, RS 91509-900 Brasil sergio.dillenburg@ufrgs.br*

RESUMO

Conhecer as flutuações da linha de costa em diversas escalas de tempo e espaço é essencial para a maioria dos projetos de engenharia e gerenciamento costeiros. Este trabalho descreve os padrões de variação da linha de costa observados no Rio Grande do Sul através do mapeamento por DGPS entre os anos de 1997 e 2002 e discute seus efeitos sobre as estimativas das taxas de variação. Diferenças regionais entre os três grandes setores da costa gaúcha (litoral sul, médio e norte) são evidentes na amplitude máxima das variações anuais, nos padrões de deslocamento e nos efeitos sazonais. As grandes magnitudes das variações de curto-termo aliadas ao comportamento oscilatório e antagônico dos deslocamentos anuais no litoral médio e norte fazem com que as taxas de variação estimadas pelo método dos pontos extremos apresentem valores muito distintos e até opostos. No litoral sul, o comportamento similar das linhas de deslocamento anual faz com que as taxas tenham valores distintos, mas mesmas tendências. Com base em análises regionais, pode-se dizer que o estado morfodinâmico das praias e a orientação da linha de costa influenciam a mobilidade das praias gaúchas.

ABSTRACT

Knowing shoreline changes at different time and space scales is critical to most coastal engineering and management projects. This work examines the alongshore variability in patterns of shoreline changes in Rio Grande do Sul, identified through DGPS mapping for the period 1997-2002, and discusses how different patterns affect rates of change. Regional differences between the three major coastal sectors in Rio Grande do Sul (southern, central, and northern) are observed in the maximum annual amplitude, alongshore patterns of changes, and seasonal effects. The large amplitude of short-term changes associated with the oscillatory and opposed character of annual displacements along the central and northern sectors results in large differences in the rate of changes estimated by the end-point method when different dates are used. In the southern sector, the similar behavior of annual shoreline displacements results in rates of varying magnitudes but similar trends. In a regional analysis, it is clear that the morphodynamic state of the beaches and the shoreline orientation affect the mobility of Rio Grande do Sul beaches.

Palavras-Chave: Rio Grande do Sul, erosão, DGPS

1. INTRODUÇÃO

A demanda crescente por um espaço na região costeira tem sido observada no Brasil e no mundo através do crescimento demográfico acelerado das cidades litorâneas e do aumento progressivo da urbanização. A dependência econômica das atividades antrópicas relacionadas às praias e outros ambientes costeiros torna imprescindível compreender os processos dinâmicos ali atuantes em diversas escalas de tempo e espaço. Desta forma, 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; Honeycutt et al., 2001; Pajak & Leatherman, 2002).

Embora as variações da linha de costa sejam processos tridimensionais, a posição e o deslocamento horizontal da linha de costa são as variáveis que comumente servem como indicadores de erosão e acreção (Morton et al., 1993; Stockdon et al., 2002). Este trabalho descreve os padrões de variação da linha de costa observados no Rio Grande do Sul (RS) através do mapeamento por DGPS entre os anos de 1997 e 2002 e discute seus efeitos sobre as estimativas das taxas de variação. Como o intervalo de

tempo dos dados disponíveis não permite estimar taxas de variação consistentes, este não é o objetivo deste trabalho. Os valores aqui apresentados servem apenas para avaliar a influência de diferentes padrões regionais de comportamento nas estimativas das taxas.

2. MÉTODOS

Desde 1997, a linha de costa no RS vem sendo monitorada através do método de DGPS cinemático (i.e. Toldo Jr. et al., 1999; Esteves et al., 2001; Esteves et al., 2003). Os 630km da costa gaúcha são percorridos com o GPS instalado em um veículo que se desloca com velocidade de 50 km/h obtendo as posições da linha de costa em intervalos de tempo regulares. Em 1997, dois aparelhos Garmin GPS 100 Personal Surveyor foram utilizados, um deles instalado em um veículo em movimento registrando posições a cada 5 s e o outro, operando no modo estático, foi posicionado em locais previamente escolhidos com o objetivo de aumentar a precisão das leituras para 3 m. Nos anos seguintes, a correção dos dados foi feita 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. A feição indicadora da linha de costa mapeada em 26-28/11/1997, 17-19/11/1998, 10, 11, 19/11/1999 e 26-28/06/2000 é a linha média d'água. O indicador mapeado em 15-17/04/2002 foi a linha deixada pela última maré alta ou a high water line (HWL), que é o indicador mais utilizado por ser facilmente identificado como sendo limite entre areia seca e areia úmida (Pajak & Leatherman, 2002; Morton, 1997; Crowell et al., 1991; Dolan et al., 1980). Para efeito de comparação com as outras linhas, foi realizada correção da posição da linha de 2002, deslocada 20m em direção ao mar.

O processamento dos dados foi realizado no programa ArcView GIS 3.2 e pode ser descrito em três etapas: (1) criação de "marcos virtuais" a cada 1 km ao longo da costa tendo como referência a linha mapeada no ano de 2000, (2) estabelecimento de linhas normais à costa (transects) a partir dos marcos virtuais, e (3) medições das distâncias entre as linhas de diferentes datas sobre os transects. O posicionamento dos marcos e transects foi feito em escala de 1:50 e as medições de distâncias geralmente em escalas entre 1:20 e 1:150. Os dados de identificação dos marcos virtuais, suas coordenadas geográficas, as distâncias medidas entre as linhas de costa e as escalas de medição foram organizados em planilha eletrônica, a partir da qual foram gerados gráficos de deslocamento da linha de costa e calculados os parâmetros estatísticos de cada linha. Nos gráficos, os deslocamentos em direção ao mar (acrecção) são representados por valores positivos e os deslocamentos em direção à costa por valores negativos (retração). As taxas de variação da linha de costa foram estimadas através do programa *Digital Shoreline Analysis System 2.0 desenvolvido pelo U.S. Geological Survey (Thieler et al., 2003)*

3. PADRÕES DE VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA NO RIO GRANDE DO SUL

A análise dos gráficos de distância ao longo da costa vs. deslocamento horizontal mostra a existência de diferentes padrões regionais de comportamento (Figura 1). Esteves et al. (2003) detalham as diferenças regionais observadas entre os três grandes setores da costa gaúcha (litoral sul, médio e norte), tanto na amplitude máxima das variações anuais, nos padrões de deslocamento e nos efeitos sazonais. As principais características dos padrões de deslocamento da linha de costa são resumidas a seguir.

A figura 1a mostra os deslocamentos da linha de costa entre 11/1997-11/1998 e 11/1998-11/1999, o que representa variações anuais, já que todas as linhas foram mapeadas em novembro, sob condições astronômicas (maré) e meteorológicas semelhantes. No litoral sul, os deslocamentos entre 1997 e 1998 são quase exclusivamente positivos, com tendência a aumentar sua magnitude em direção ao norte até o km 170. O comportamento dos deslocamentos entre 1998-1999 é semelhante ao da linha 1997-1998 ao norte do km 90 e antagônico para sul, onde os deslocamentos negativos são dominantes. No litoral médio, as linhas apresentam movimento oscilatório entre positivo e negativo, com tendência de aumento da magnitude dos deslocamentos negativos para norte. Interessante notar que as linhas movimentam-se para direções opostas, apresentando picos antagônicos, que ocorrem espacial-

mente coincidentes em intervalos regulares de 35 km ao longo da costa. Ou seja, os picos de deslocamento de mesmo sinal (positivo ou negativo) em uma mesma linha distam 70 km um do outro, e são intercalados por picos da outra linha no mesmo espaçamento, mas em direções opostas. No litoral norte, as linhas 1997-1998 e 1998-1999 apresentam deslocamentos opostos, predominantemente positivos na primeira e negativos, na segunda.

A figura 1b representa variações sazonais já que compara os deslocamentos da linha de costa entre 11/1998-11/1999 e 11/1999-06/2000. Como esta última representa condições de inverno, já era esperado que mostrasse movimentos predominantemente negativos (Figura 1b). Nota-se, também, a imagem especular entre as linhas na porção norte do litoral sul, que não ocorre nas demais áreas para este mesmo intervalo de tempo. Isto indica que, neste setor, há uma tendência sazonal de recuperação da posição e forma original da linha de costa. Padrão também observado por List & Farris (1999) para praias da costa leste dos EUA antes e após uma tempestade. A linha média dos deslocamentos registrados entre 1998-1999 e 1999-2000 oscila em torno do zero, corroborando a afirmação acima. Situação semelhante ocorre no litoral norte (Figura 1c), 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.

As diferenças no comportamento dos deslocamentos da linha de costa também são refletidas nos parâmetros estatísticos entre as linhas mapeadas e em setores distintos de uma mesma linha. Observe na figura 1a que a média aritmética ao longo da linha 1997-1998 tem valores semelhantes para os três setores da costa, enquanto os valores de desvio padrão diferem grandemente. Já para a linha 1998-1999, os valores da média são consideravelmente diferentes entre os três setores embora o desvio padrão seja distinto apenas para o litoral médio. Na figura 1b, o desvio padrão semelhante e a média com valores próximos e sinal contrário refletem a imagem espelhada no trecho norte do litoral sul, indicando a recuperação da posição e forma da linha de praia original. Note também que a média aritmética da linha 1999-2000 apresenta valores negativos para os três setores, evidenciando o caráter erosivo típico de inverno. Já os deslocamentos no período 06/2000-04/2002 são predominantemente positivos, indicando ainda uma condição pós-verão. O efeito especular também ocorre no litoral norte entre as linhas 1997-1998 e 1998-2000, demonstrado pelos valores similares de desvio padrão e média, tendo esta última sinais opostos (Figura 1c).

4. INFLUÊNCIA DOS PADRÕES DE DESLOCAMENTO NAS ESTIMATIVAS DAS TAXAS DE VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA

Os primeiros trabalhos que estimaram taxas de variações da linha de costa apontavam o fato de que elas refletem posições da linha de costa que não necessariamente representam a posição média sazonal, particularmente em costas com grandes variações de curto-termo (Dolan et al., 1980; Smith & Zarillo, 1990). Até o momento, nenhum trabalho discutiu o real significado de se determinar a posição média

da linha de costa, já que ela não necessariamente é dominante ao longo do período de tempo estudado. Talvez o mais importante seja determinar o estado modal da posição da linha de costa ao longo do tempo (Smith & Zarillo,

1990). De qualquer modo, a informação crítica está em se conhecer os avanços e recuos máximos da linha d'água e seus períodos de recorrência, pois deles realmente decorrem as situações de risco aos ambientes costeiros.

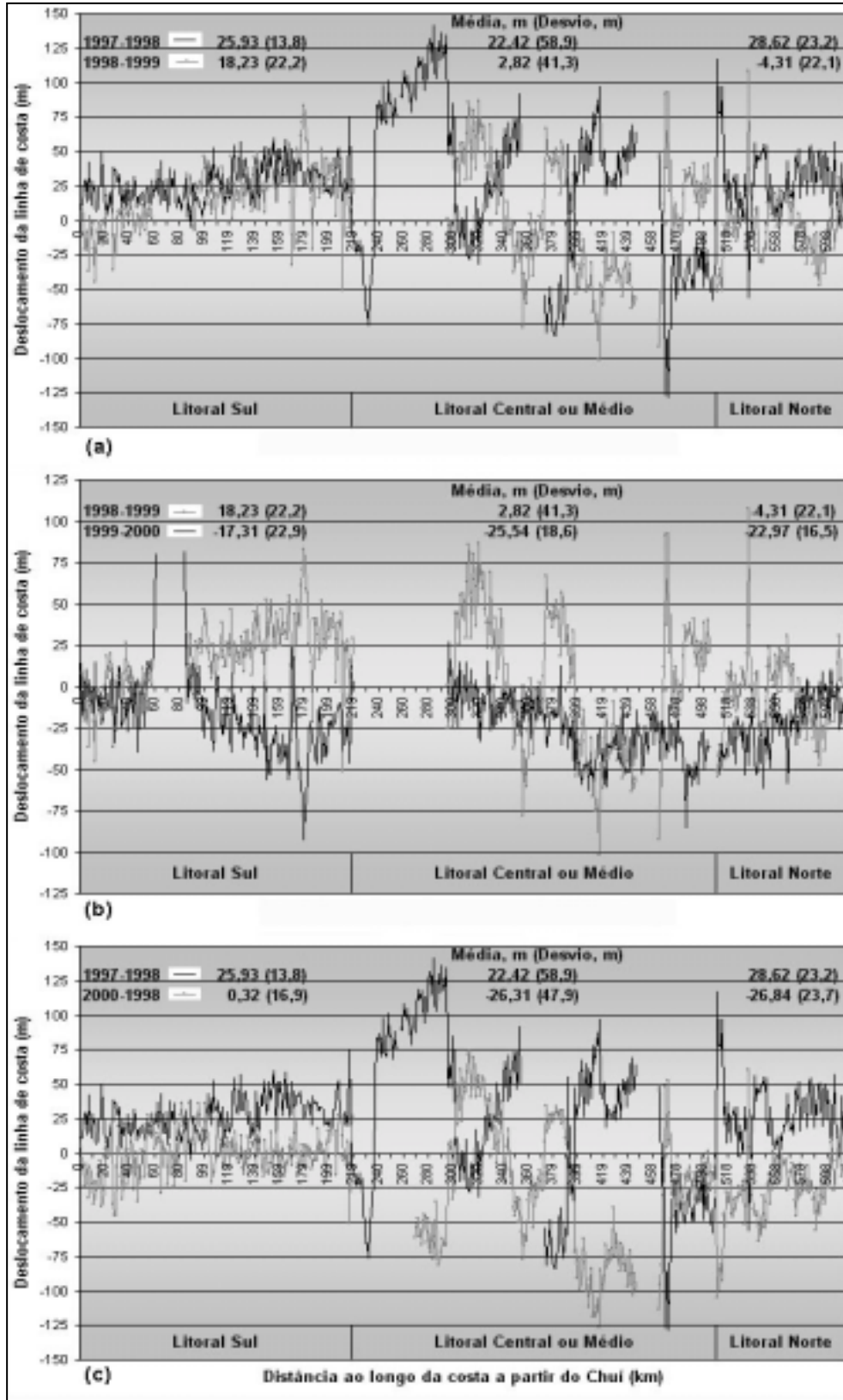


Figura 1 - Deslocamentos da linha de costa no Rio Grande do Sul, mostrando variações anuais (a), sazonais (b) e interanuais (c).

Este trabalho não visa estimar taxas de variação da linha de costa para a área de estudo, já que registros de mais de 100 anos de posições da linha de costa são necessários para estabelecer tendências de longo termo (Galgano & Leatherman, 1991). No entanto, as séries de dados apresentadas aqui são úteis para diferenciar os padrões regionais de comportamento das variações de curto-termo da linha de costa, identificar as áreas de maior e menor mobilidade e determinar a magnitude das variações máximas. Estas informações, por sua vez, afetam diretamente os resultados das estimativas de variação da linha de costa, conforme discutido a seguir.

A análise de dados históricos de posições da linha de costa ao longo do tempo tem sido o método mais utilizado para estimar taxas de variação da linha de costa. Essas taxas são calculadas através de dois métodos:

(a) *ponto extremo*, mede-se o movimento da linha de costa entre duas datas, geralmente a mais antiga e a mais recente, e divide-se o resultado pelo intervalo de tempo existente entre elas. Este é o método mais utilizado para estimar taxas que serão utilizadas na definição de linhas de recuo ou zonas de restrição para construções (Crowell et al., 1997). As vantagens deste método são a simplicidade na aplicação e a necessidade de apenas dois pontos de dados ao longo do tempo; enquanto a maior desvantagem reside nas chances de um desses pontos ser errático, produzindo resultados altamente variáveis em função dos pontos utilizados (Crowell et al., 1997).

(b) *regressão linear*, todas as posições da linha de costa disponíveis são utilizadas para determinar uma reta cujos pontos minimiza a soma dos quadrados das diferenças entre as posições observadas e as calculadas. É considerado o método de melhor resultado já que inclui todos ou a maioria dos dados, reduzindo a influência de dados erráticos no resultado final (Crowell et al., 1997; Honeycutt et al., 2001; Fenster et al., 2001).

A figura 2a mostra o deslocamento da linha de costa no RS estimado pelo método dos pontos extremos entre a linha mapeada por DGPS em abril de 2002 e as linhas mapeadas em novembro de 1997 e 1998. Observe que para grande parte do litoral sul, os deslocamentos apresentados nos dois intervalos de tempo apresentam mesma tendência, embora magnitudes distintas. No litoral médio e norte, tanto a magnitude quanto o sinal dos deslocamentos são diferentes. Desta forma, pode-se verificar que a utilização de apenas duas posições da linha de costa para estimar tendências pode gerar resultados diferentes e até opostos, principalmente quando a magnitude das flutuações de curto-termo for grande e o intervalo de tempo entre os dados for curto. Assim, o real significado das taxas, magnitudes e tendências de deslocamento da linha de costa só pode ser avaliado quando os padrões de comportamento em diferentes escalas de tempo são conhecidos. Os deslocamentos observados entre as linhas mapeadas em novembro (1997, 1998 e 1999) foram semelhantes ao longo do litoral sul, de forma que as tendências apresentadas para os períodos 1997-2002 e 1998-2002 também se assemelham. No litoral médio e norte, o padrão de comportamento oscilante e antagônico das linhas de deslocamento anual faz com que a magnitude e a tendência

das taxas resultantes variem em função do período de tempo analisado (Figura 2a).

Uma tentativa de reduzir a dependência de dados de posição anômalos é calcular a média das taxas de todas as combinações possíveis de datas disponíveis (Foster & Savage, 1989). Quanto maior o número de dados incorporados na estimativa das taxas, maior a representatividade dos valores obtidos para a magnitude das variações e períodos de tempo mais longos. Para o exemplo do RS, as diferenças entre as taxas estimadas pelos métodos dos pontos extremos e da média das taxas são consideráveis (exceto nas áreas do extremo norte e sul), embora as tendências e sinais de deslocamentos sejam preservados (Figura 2b). Os resultados obtidos pelos métodos dos pontos extremos e regressão linear são bastante semelhantes para a costa gaúcha, com as maiores diferenças sendo observadas no litoral médio (Figura 2c).

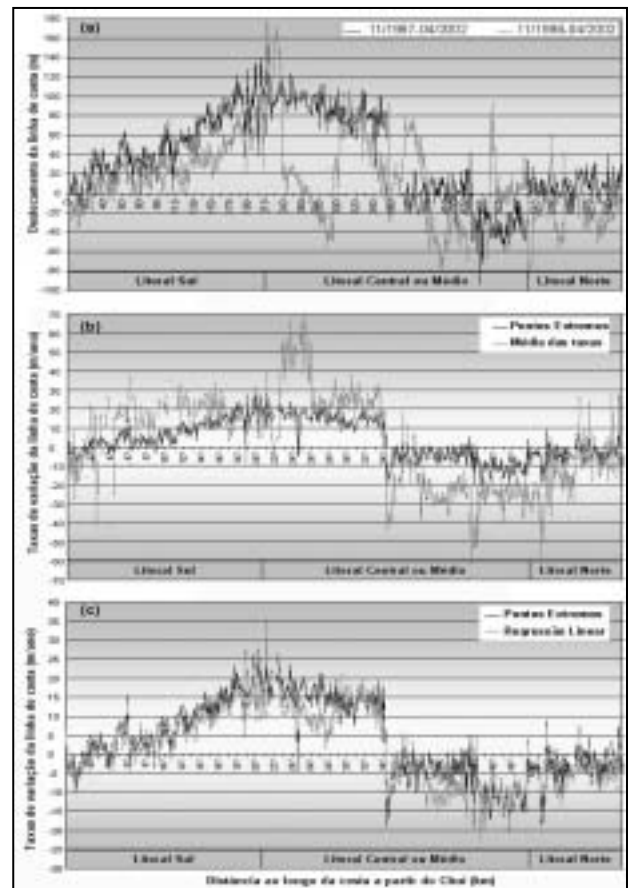


Figura 2 - Estimativas das taxas de variação da linha de costa, comparando os resultados dos métodos dos pontos extremos tomando-se diferentes períodos (a), dos pontos extremos e da média das taxas (b) e dos pontos extremos e da regressão linear (c).

A mobilidade é uma função do estado morfodinâmico da praia, sendo que as praias intermediárias tendem a apresentar maior mobilidade (moderada a alta) e as praias refletivas, menor mobilidade (baixa). De uma forma geral, as praias do litoral norte foram classificadas como intermediárias a dissipativas (Toldo Jr. et al., 1993), no litoral central como intermediárias

(Barletta et al., 1999) 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). A partir de uma análise regional, pode-se dizer que as praias intermediárias do litoral central apresentam maior mobilidade e as maiores variações da linha de costa. As praias refletivas são menos móveis, mas setores do litoral norte (tidos como praias intermediárias) apresentaram mobilidade ainda menor no período estudado. Da mesma forma, as praias dissipativas do litoral sul mostraram mobilidade considerável, quando comparadas com as praias intermediárias. Assim, além do estado morfodinâmico, outros fatores também são importantes na determinação da mobilidade praias no RS. A influência da orientação da linha de costa 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 et al., 2003).

5. CONCLUSÕES

Os dados de mapeamento da linha de costa através do DGPS cinemático possibilitaram 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 na costa do RS e pela similaridade de sua paisagem, por muito tempo ela foi descrita como retilínea e homogênea. Mapeamentos contínuos ao longo de todo litoral abrangendo um intervalo de tempo de 5 anos evidenciaram 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. Desta forma, estimativas de taxas de erosão ou acreção são influenciadas de forma diferente nos diversos setores costeiros. As grandes magnitudes das variações de curto-termo aliadas ao comportamento oscilatório e antagônico dos deslocamentos anuais no litoral médio e norte fazem com que as taxas de variação estimadas pelo método dos pontos extremos apresentem valores muito distintos e até opostos nestas áreas. Já no litoral sul, o comportamento similar das linhas de deslocamento anual faz com que as taxas tenham valores distintos, mas mesmas tendências. De uma forma geral, a mobilidade parece ser influenciada tanto pelo estado morfodinâmico das praias quanto pela orientação da linha de costa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARLETTA, R.C.; CALLIARI, L.J., TOZZI, H.A.M., & PIVEL, M.A.G. (1999). Análise da morfodinâmica e da influência atmosférica nas praias do litoral central do Rio Grande do Sul, Brasil, 1996 e 1997. VIII COLACMAR, Livro de Resúmenes Ampliados, Tomo II, 647-648.
- CALLIARI, L.J., AND KLEIN, A.H.F. (1993). Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas*, 20(1): 48-56.
- CROWELL, M.; DOUGLAS, B.C. & LEATHERMAN, S.P. (1997). On forecasting future U.S. shoreline positions: a test of algorithms. *Journal of Coastal Research*, 13(4), 1245-1255.
- CROWELL, M.; LEATHERMAN, S.P. & BUCKLEY, M.K. (1991). Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7(3), 839-852.
- DOLAN, R.B.; HAYDEN, B.; MAY, P. & MAY, S. (1980). The reliability of shoreline change measured from aerial photographs. *Shore & Beach*, 48, 22-29.
- 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).
- ESTEVES, L.S.; TOLDO JR., E.E.; ALMEIDA, L.E.S.B. & NICOLODI, J.L. (2001). Variações da linha de costa no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Livro de Resumos I Quaternary Congress of Countries of Iberian Languages (Lisboa, Portugal), 194-197.
- FENSTER, M.S.; DOLAN, R. & MORTON, R.A. (2001). Coastal storms and shoreline change: signal or noise? *Journal of Coastal Research*, 17(3), 714-720.
- FOSTER, E.R. & SAVAGE, R.J. (1989). Historic shoreline changes in southwest Florida. *Coastal Zone '89*, 5, 4420-4433.
- GALGANO, F.A. & LEATHERMAN, S.P. (1991). Shoreline change analysis: a case study. *Coastal Sediments '91*, 1, 1043-1053.
- HONEYCUTT, M.G.; CROWELL, M. & DOUGLAS, B.C. (2001). Shoreline-position forecasting: impact of storms, rate-calculation methodologies, and temporal scales. *Journal of Coastal Research*, 17(3), 721-730.
- 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.
- MORTON, R.A.; LEACH, M.P.; PAINE, J.G. & CARDOZA, M.A. (1993). Monitoring beach changes using GPS surveying techniques. *Journal of Coastal Research*, 9(3), 884-908.
- PAJAK, M.J. & LEATHERMAN, S. (2002). The high water line as shoreline indicator. *Journal of Coastal Research*, 18(2), 329-337.
- SMITH, G.L. & ZARILLO, G.A. (1990). Calculating long-term shoreline recession rates using aerial photographic and beach profiling techniques. *Journal of Coastal Research*, 6(1), 111-120.
- 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.
- TOLDO JR, E.E.; DILLENBURG, S.R.; ALMEIDA, L.E.S.; TABAJARA, J.L., MARTINS, R.R. & CUNHA, L.O.B.P. (1993). Parâmetros morfodinâmicos da praia de Imbé, RS. *Pesquisas*, 20(1): 27-32.