

VARIABILIDADE DA LINHA DE COSTA OCEÂNICA ADJACENTE ÀS PRINCIPAIS DESEMBOCADURAS DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

Renato J. F. Lélis¹; Lauro J. Calliari².

¹ Graduado em Oceanografia, Laboratório de Oceanografia Costeira, Departamento de Geociências
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Trindade - Fone: +55 48 233-3013 e-mail: rjlelis@hotmail.com

² PhD em , Laboratório de Oceanografia Geológica, Departamento de Geociências
Fundação Universidade Federal do Rio Grande - Fone: +55 53 232-6605 e-mail: tsclauro@furg.br

RESUMO

Séries temporais de aerofotografias de seis praias oceânicas (Cassino, Mar Grosso, Tramandaí, Imbé, Praia Grande e Passo de Torres), adjacentes às desembocaduras lagunares e fluviais na costa do Rio Grande do Sul, foram analisadas com o objetivo de determinar a influência da presença de molhes de fixação nos padrões de evolução e configuração da linha de costa. Os resultados indicam a mudança do controle da morfologia da linha de costa essencialmente dinâmico (pela ação de ondas), para o controle dinâmico/estrutural, influenciado pelas estruturas de fixação. Altas taxas de acreção versus baixas taxas de erosão, respectivamente, ao sul e ao norte das desembocaduras, sugerem bidirecionalidade do transporte sedimentar litorâneo. A forte influência antrópica sobre essas praias e sobre seus padrões de evolução reflete a necessidade emergencial da criação racional de faixas de recuo, limites seguros e lógicos para o desenvolvimento populacional.

ABSTRACT

Aerial photography time series of six ocean beaches (Cassino, Mar Grosso, Tramandaí, Imbé, Praia Grande and Passo de Torres beaches) adjacent to lagoonal and river inlets of southern Brazil were analyzed in order to verify the influence of jetties on its shoreline evolution and configuration. terminar o abstract.

Palavras-Chave: linha de costa, desembocaduras, aerofotografias.

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira do estado do Rio Grande do Sul é composta por uma extensa planície predominantemente arenosa, formada pelo retrabalhamento de sedimentos continentais e marinhos durante as oscilações eustáticas do Quaternário.

De maneira geral, a ausência de afloramentos rochosos por uma extensão de aproximadamente 600km, com exceção das praias do município de Torres, na divisa com o estado de Santa Catarina, implicam em um controle exclusivo dos processos dinâmicos sobre a morfologia atual da linha de costa, sendo as ondulações oriundas do Atlântico sul e as vagas de formação local os agentes de maior influência.

Analisando em maior detalhe as diferentes praias encontradas ao longo da costa e comparando-as quanto à sua variabilidade morfológica, pode-se observar que as mais dinâmicas encontram-se adjacentes à desembocaduras lagunares e fluviais ou estão sujeitas à ação de focos estáveis de convergência de energia de ondas. Vários trabalhos já foram realizados em diferentes escalas temporais sobre o comportamento dessas áreas. Dentre eles, pode-se citar: Tomazelli & Villwock, 1992; Calliari & Klein, 1995; Toldo Jr. et al.1999; Toldo Jr. et al. 1993; Barletta & Calliari, 2000; Calliari et al. 1998; Esteves et al. 2001; dentre outros.

Especificamente sobre as praias adjacentes à desembocaduras, pode-se estabelecer algumas causas principais a respeito de sua maior variabilidade atual: a presença significativa de aporte hídrico e sedimentar continental; a presença de estruturas de fixação das desembocaduras (molhes); e a remoção do estoque sedimentar subaéreo pela urbanização. A interação entre esses fatores e entre os processos dinâmicos marinhos (ondas e correntes, principalmente) determina a configuração e controla a variabilidade da linha de costa dessas áreas.

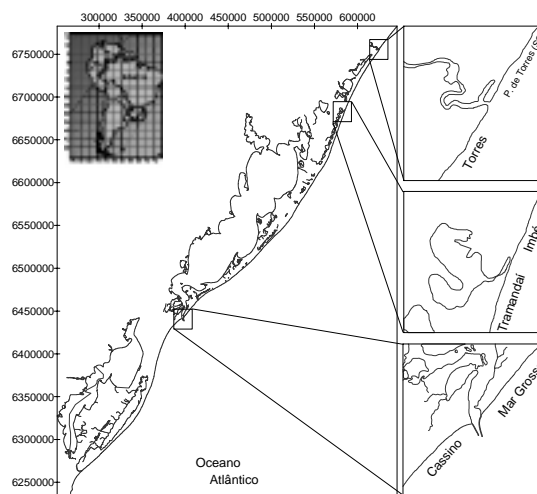


Figura 1: A costa do Rio Grande do Sul e a localização das praias em enfoque.

Conhecer os padrões de evolução dessas áreas e entender os processos físicos controladores do equilíbrio morfodinâmico é subsídio indispensável para o planejamento do uso e ocupação antrópica, tendo como objetivo a preservação ambiental e a qualidade de vida.

Com base nessa problemática, esse estudo tem como objetivo a análise da evolução recente de seis praias oceânicas, todas adjacentes à desembocaduras, ao longo da costa do Rio Grande do Sul. São apresentados dados quantitativos de variações da linha de costa ao longo das últimas décadas, utilizando-se de técnicas de cartografia digital e dados de sensoriamento remoto, bem como dados qualitativos dos agentes controladores da morfologia.

2. SELEÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

Inúmeros métodos podem ser utilizados para a determinação das variações de uma linha de costa, sendo que a escolha de um deles depende da disponibilidade dos dados e das escalas espacial e temporal de análise.

A existência de aerolevantamentos efetuados no Rio Grande do Sul que datam desde 1947 levou à determinação desses dados como base principal de análise. Integrados a monitoramentos de campo efetuados em trabalhos pretéritos, os resultados permitem inferir com segurança sobre os padrões de evolução da linha de costa.

A metodologia utilizada foi baseada nos estudos de Dolan et al. (1978), Dolan et al. (1980), Leatherman (1983), Crowell et al. (1993), Thieler & Danforth (1994) e Morton (1997). Nos trabalhos de Crowell et al. (op cit.), a metodologia foi denominada de “two endpoint shorelines”: consiste basicamente em sobrepor a série temporal sobre uma mesma base cartográfica, definir perfis perpendiculares em intervalos regulares e calcular as diferenças entre cada linha de costa sobre cada perfil.

Inicialmente, foi necessário o estabelecimento de certos parâmetros para o mapeamento padrão de cada aerofoto da série temporal. Dentre eles: a) um limite na diferença de escala entre os aerolevantamentos; e b) quais as feições praiais a serem utilizadas como referência da linha de costa.

Estipulou-se a utilização de levantamentos com escalas de, no máximo, 1:40000, sendo que os adquiridos entre 1:20000 e 1:40000 utilizados somente quando o intervalo de dados fosse superior à vinte anos. As aerofotos utilizadas encontram-se na tabela 1.

Quanto às feições praiais a serem utilizadas, foram definidas as mais visíveis nas aerofotos e que apresentam maior confiabilidade (proporcional ao à variabilidade de curto período da feição): a linha de preamar e a base das dunas frontais, também chamada de linha de vegetação costeira. Cabe diferenciar a linha d’água propriamente dita e a linha de preamar: esta é definida pela diferença de umidade no sedimento do pós-praia, diferente do posicionamento da linha d’água, muito mais variável. Os estudos acima citados também consideram essas feições como sendo as mais estáveis e confiáveis para esse tipo de estudo, ainda mais quanto o intervalo de tempo entre os levantamentos é superior à dez anos (Crowell et al., op cit.).

O próximo passo consistiu em corrigir distorções nas aerofotos oriundas da etapa de aquisição e definir redes de coordenadas, capturadas em campo com auxílio de GPS, referenciadas a objetos visíveis em todos os aerolevantamentos.

Tabela 1: Séries de levantamentos aerofotográficos utilizados.

LOCAL	DATA	ESCALA	FONTE
LP	1947	1:40000	DAER
LP	1975	1:20000	DAER
LP*	2000	-	LOG/FURG
LT	1975	1:20000	DAER
LT*	2000	-	LOG/FURG
RM	1974	1:20000	DAER
RM	1989	1:20000	DAER
RM*	2000	-	LOG/FURG

Siglas: LP - Laguna dos Patos; LT - Laguna de Tramandai; RM - Rio Mampituba; DAER - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem; LOG/FURG – Laboratório de Oceanografia Geológica/Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

*levantamento digital 35mm. Resolução do pixel= ~1m. Os demais são levantamentos aerofotogramétricos.

Após o georreferenciamento, os dados foram inseridos em um SIG (SPRING 3.6.03 – Câmara et al., 1996), onde foram efetuadas quatro etapas: 1-digitalização das posições da linha de costa; 2- determinação dos perfis perpendiculares; 3- cálculo das variações em cada perfil e 4- confecção de cartas de evolução para cada período. Cabe salientar que o georreferenciamento das aerofotos também foi feito dentro de um módulo do software SPRING.

2.1 Erros de amostragem

O erro introduzido nesse tipo de estudo tem, basicamente, duas origens:

1) Metodológica: dados originais de baixa qualidade (excesso de distorção nas aerofotos); problemas na confecção do mosaico e na correção das escalas das aerofotos; erros de posicionamento em campo, natural do receptor GPS; má alocação dos pontos de controle no georreferenciamento; erros no processo de digitalização; erros no processo de cálculo.

2) Dinâmica natural das feições: as feições analisadas sofrem variações de curto período que interferem na interpretação. Mesmo não possuindo essa informação das praias em questão, o longo período de tempo entre os aerolevantamentos possibilita a análise, como já dito anteriormente (Crowell et al., 1993).

Resumindo, o erro de posicionamento total é dado pela seguinte função:

$$E = f(E_1 + E_2 + \dots + E_n)$$

onde E_n representa o erro de cada etapa do processamento dos dados.

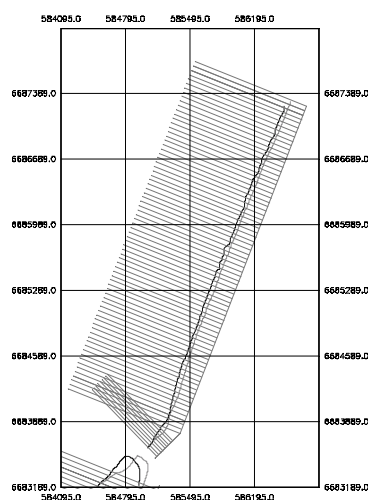


Figura 2: uma seqüência de perfis transversais sobre as posições de uma linha de costa em dois períodos distintos.

Na prática, é quase impossível determinar o valor exato do erro em cada etapa de processamento. Entretanto, os

resultados obtidos devem apresentar nas medições todos os erros acumulados, ou seja, ϵ .

Para determinar esse valor, foram efetuadas medições de distâncias em campo entre pontos conhecidos e que aparecem em todos os aerolevantamentos. Essa distância foi chamada de L.

Posteriormente, a mesma distância foi aferida sobre os aerolevantamentos já processados, e os valores chamados de L_1, L_2, \dots, L_n . A diferença de valores representa os erros de posicionamento. A maior dessas diferenças foi considerada a faixa de incerteza.

Tabela 2: Cálculo de faixas de incerteza (FI), para: HWL – Linha de Preamar; DF – Linha de Dunas Frontais. Valores em metros.

Medida	Valor (m)
L	51,5
L1	47,3
L2	46,9
L3	47,6
Faixa de incerteza	4,6
Erro Linha de preamar	25
Erro Dunas Frontais	15

Entretanto, o erro oriundo da dinâmica ambiental é impossível de ser calculado sem dados de campo no momento da tomada das aerofotos, ou sem conhecer a variabilidade individual de cada feição em cada época do ano (Dolan et al., 1980). Foi estipulado, portanto, um aumento de 20m da faixa de incerteza para as cartas de evolução da linha de preamar, e 10m para as cartas da linha de dunas frontais (tabela 2).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo foram criados 15 mosaicos aerofotográficos e 24 cartas interpretativas das variações de cada praia. As tabelas 3a, 3b e 3c apresentam um resumo dos valores de variação medidos.

Tabelas 3a, 3b e 3c: Variações da linha de costa em cada período de análise. **CAS** – Praia do Cassino; **M.G.** - Praia do Mar Grosso; **TRA** – Praia de Tramandaí; **IMB** – Praia de Imbé; **P.G.** – Praia Grande; **P.T.** – Praia de Passo de Torres; **HWL** – Linha de preamar; **DUNE** – base das dunas frontais; **X** – média(m); **Max/D_j** - Máxima variação/Distância da desembocadura (m/m); **Tx** – taxa de variação (m/ano).

3a			1947-1975	1975-2000	1947-2000
CAS	HWL	X	114,83	36,67	171,0
		Max/D _j	462/11500	78/8000	-
		Tx	4,10	1,46	3,22
MG	HWL	X	-	-37,60	-
		Max/D _j	-	-118,6/3350	-
		Tx	-	-1,44	-

3b			1974-2000
TRA	HWL	X	-22,45
		Max/D _j	-44,8/825
		Tx	-0,86
	DUNE	X	-35,75
		Max/D _j	-44,2/30
		Tx	-1,37
IMB	HWL	X	-20,38
		Max/D _j	-39,7/630
		Tx	-0,74
	DUNE	X	-35,5
		Max/D _j	-41,7/648
		Tx	-1,28

A praia do Cassino, localizada ao sul da desembocadura da Laguna dos Patos, apresentou altas taxas de acreção (4,10m/ano), sendo que foram medidos valores bem distintos em dois períodos diferentes (tabela 3a). Um detalhe interessante é a existência de um setor relativamente estável entre 650m e 1800m ao sul do molhe oeste. A partir desse setor, em direção ao sul e ao norte, há um aumento gradativo das taxas de acreção, fazendo com que haja um arqueamento da linha de costa, semelhante a uma espiral.

Para a praia do Mar Grosso, ao norte da mesma desembocadura, taxas de erosão de -1,44m/ano são encontradas em um setor distante 3km da base do molhe leste. Silva & Calliari (2001) detectaram o mesmo comportamento com perfis de campo efetuados recentemente.

3c			1974-1989	1989-2000	1974-2000
P G	HWL	X	71,67	21,89	93,57
		Max/D _j	112/480	805/55,3	138,5/489
		Tx	4,77	1,99	3,59
	DU-NE	X	47,17	-4,77	50,66
		Max/D _j	89/485	-51/12	89/251
		Tx	3,14	-0,43	1,94
P T	HWL	X	26,20	-4,77	12,97
		Max/D _j	62/15	-22/988	75/52
		Tx	1,74	-0,43	0,49
	DU-NE	X	-4,12	23,51	48,2
		Max/D _j	122/477	53,5/352	153/700
		Tx	-0,27	2,13	1,0

As praias de Tramandaí e Imbé, respectivamente ao sul e ao norte da desembocadura da laguna de Tramandaí, apresentaram valores homogêneos de erosão ao longo de toda a linha de costa. Os molhes de fixação dessa desembocadura são pequenos, não chegando a ultrapassar o limite da zona de arrebenção; têm, portanto, baixa influência no transporte sedimentar litorâneo e no grau de exposição das praias. O comportamento erosivo tem grandes chances de ser causado pela remoção de areia das dunas e do pós-praia pela urbanização, que apresentou um grande

avanço em direção ao mar ao longo do período de análise. Esse problema já havia sido levantado por outros autores, como Esteves et al. (2001) e Dillemburg et al. (2002).

Para a Praia Grande, ao sul do rio Mampituba, dois períodos distintos foram observados: intensa acreção entre 1974/1989; estabilização entre 1989/2000 (tabela 3c). Diferente das outras praias analisadas, a praia grande apresenta-se ancorada em um afloramento basáltico, de um lado, e ao molhe oeste do Mampituba, de outro. Esse fato é determinante na orientação e na configuração da linha de costa. A construção dos molhes, em 1970, pode ter sido a causa das altas taxas de acreção medidas entre 1989/2000, barrando o sedimento em trânsito pela deriva litorânea. A estabilização apresentada no segundo período pode indicar uma recuperação do equilíbrio morfológico pós-fixação da desembocadura.

Já para a praia de Passo de Torres, ao norte do Mampituba, taxas de acreção em um setor próximo à base do molhe leste, seguido de um período de estabilização, contrastam com valores erosivos em setores mais distantes. As fotos indicam processos de deriva litorânea em direção ao norte, bem como processos de retrabalhamento dos sedimentos constituintes do delta de maré vazante do Mampituba pelas ondulações do quadrante sudeste, depositando-os na zona de sombra presente na base do molhe leste.

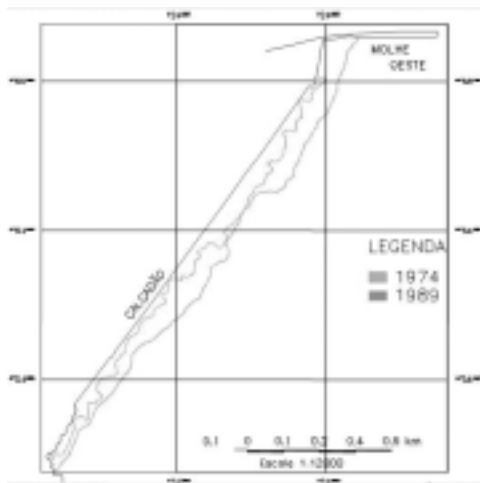


Figura 3: Exemplo - parte de uma carta de evolução (Praia Grande, Torres).



Foto 1: A desembocadura do Mampituba.

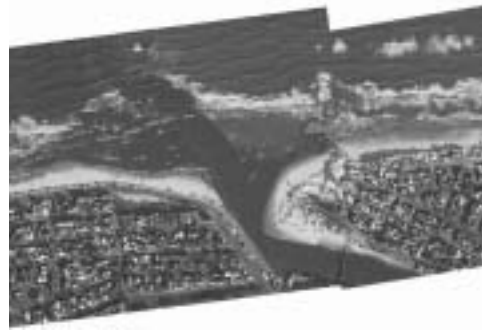


Foto 2: A desembocadura de Tramandaí.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tomando-se como base todas as praias da costa gaúcha, a praia do Cassino é a que apresenta a maior heterogeneidade sob o ponto de vista morfodinâmico. As características de sua morfologia mudam em curtos trechos de praia, como mostrados pelos trabalhos de Tozzi (1995) e Oliveira & Calliari (1999), já citados anteriormente. Essa característica não é comum em praias oceânicas abertas e expostas à ação das ondas. Ao longo da costa gaúcha, as características da morfologia praias se preservam por trechos maiores de praia. Isso reflete a influência do molhe oeste da desembocadura nas alterações do comportamento praias.

Apesar do controle dinâmico sobre a costa gaúcha como um todo, as praias adjacentes às desembocaduras estão sujeitas a um grupo mais complexo de agentes controladores. A presença de estruturas antrópicas permite classificá-las como submetidas a um controle dinâmico/estrutural, representando um reordenamento morfodinâmico em função da fixação das desembocaduras e da presença das estruturas de fixação. Alterações batimétricas, redução do grau de exposição da praia e interferência na deriva litorânea são os três principais fatores alterados pela presença dos molhes, causando um processo de reorientação da linha de costa.

As altas taxas de acreção versus baixas taxas de erosão detectadas (com exceção do foco de erosão da praia do Mar Grosso), respectivamente, ao sul e ao norte das desembocaduras, sugerem um transporte litorâneo bidirecional ao longo da costa. O transporte líquido em direção ao norte ocorre em função da incidência das ondas de tempestade do quadrante sul.

Aparentemente a costa está de fato sofrendo um déficit de aporte sedimentar continental, visto que não há ganhos significativos de terra próximo aos locais de maior aporte continental da costa. Exceção são as areias barradas pelas estruturas de fixação na praia do Cassino e na Praia Grande. Contudo, a própria redução na taxa de acreção da praia do Cassino pode representar a escassez de sedimentos.

A linha de costa nesses locais está sujeita a fortes alterações antrópicas, ao mesmo tempo que são atratores urbanos pela presença de água doce e de áreas abrigadas boas para navegação. Os resultados aqui apresentados indicam o caráter emergencial da determinação de faixas de recuo da urbanização nessas áreas.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo financiamento da pesquisa; ao Laboratório de Oceanografia Geológica, pelos equipamentos, pela logística e pela disponibilização das aerofotos digitais; ao DAER, pela disponibilização dos levantamentos aerofotogramétricos; e à equipe técnica do INPE responsável pelo software SPRING e pelo suporte on-line.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARLETTA, R. C. & CALLIARI, L. J. (2001). Determinação da intensidade das tempestades que atuam no litoral central do Rio Grande do Sul, Brasil. Anais do VIII Congresso da ABEQUA. Mariluz, Imbé, RS. 51-52p.
- CALLIARI, L. J. & KLEIN, A. H. F. 1995. Variabilidade das praias oceânicas entre Cassino e Chuí, RS. Publ. Esp. IO/USP 11:55-63. São Paulo, SP.
- 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*, 19-23.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M. 1996. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Garrido J. Computers & Graphics*, 20(3): 395-403. INPE, São José dos Campos, SP.
- CROWELL, M.; LEATHERMAN, S. P.; BUCKLEY, M. K. 1993. Shoreline change rate analysis: long term versus short term data. *Shore and Beach* 63(2): 13-20.
- DILLENBURG, S. R.; TOMAZELLI, L. J.; MARTINS, L. R.; BARBOZA, L. E. 2002. Modificações de longo período da linha de costa. In: MARTINS, L. R. S.; TOLDO JR., E. E.; DILLENBURG, S. R. 2002 (Editores). *Erosão Costeira: Causas, Análise de Risco e sua relação com a Gênese de Depósitos Minerais*. Artigos em CD. OEA/UFRGS/FURG. Porto Alegre, RS.
- DOLAN, R.; HAYDEN, B.; HEYWOOD, J. 1978. A new photogrammetric method for determining shoreline erosion. *Coastal Engineering*, 2: 21-39. Elsevier Scientific Publishing Company, Holanda.
- DOLAN, R.; HAYDEN, B.; MAY, S. 1980. The Reliability of Shoreline Changes Measurements from Aerial Photographs. *Shore and Beach*, 48:22-29.
- ESTEVES, L. S. ; TOLDO JR., E. E.; ALMEIDA, L. E. S. B.; NICOLODI, J. L. 2001. Erosão costeira no Rio Grande do Sul entre 1975-2000. Anais do VIII Congresso da ABEQUA. Mariluz, Imbé, RS. 511-513p.
- LEATHERMAN, S. 1983. Shoreline mapping: a comparison of techniques. *Shore and Beach*, 51:28-33.
- MORTON, R. A. 1997. Gulf Shoreline movement between Sabine Pass and the Brazos River, Texas: 1974 to 1996. *Geological Circular*, 97 (3): 1-27. Universidade do Texas. Austin, Texas., EUA.
- SILVA, A. R. P. & CALLIARI, L. J. 2001. Erosão versus progradação da linha de costa de praias expostas e contíguas à grandes estruturas. Anais do VIII Congresso da ABEQUA. Mariluz, Imbé, RS. 55-57p.
- THIELER, E. R.; DANFORTH, W.W. 1994. Historical Shoreline Mapping (I): Improving Techniques and Reducing Positioning Errors. *Journal of Coastal Research*, 10(3):549-563.
- 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*, 20(1): 27-32. CECO/IG/UFRGS, Porto Alegre, RS.
- 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, pp. 62-68.
- TOMAZELLI, L. J.; VILLWOCK, J. A. 1992. Considerações sobre o ambiente praias e a deriva litorânea de sedimentos ao longo do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, 19 (1): 3-12. CECO/IG/UFRGS, Porto Alegre, RS.