

Variabilidade Morfodinâmica das Praias Oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS, Brasil

JAIR WESCHENFELDER^{1,2} & RICARDO N. AYUP ZOUAIN¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências,
Caixa Postal 15001, CEP 91509-900, PortoAlegre, RS - Brasil

² Bolsista de Doutorado/CNPq – Universidade de Hamburgo/Alemanha

(Recebido em 06/01. Aceito para publicação em 06/02)

Abstract - The morphodynamic variability of the oceanic beaches between Imbé and Arroio do Sal towns, Rio Grande do Sul State, Brazil, was investigated by means of periodic beach profiling combined with the interpretation of granulometric and hydrodynamic regime data. A seasonal trend in the hydrodynamic regime, in the distribution of the sediments and in the morphometric and morphodynamic parameters analyzed, was identified. Seasonality is marked by the dominance of accretionary profiles during the summer and erosional profiles during the winter. These beaches were classified according to their morphodynamic state, as dissipative and intermediate.

Keywords - Oceanic beaches, morphodynamic, seasonal trend.

INTRODUÇÃO

O estado morfodinâmico praias depende de uma série de fatores interdependentes que condicionam o “equilíbrio morfológico-dinâmico” do sistema. As características do regime de ondas incidentes, configuração morfológica da região costeira e plataforma continental adjacente, variáveis do estoque sedimentar disponível e processos harmônicos produzidos pela ação das marés e correntes derivadas, são condicionantes dos processos erosivo-depositivos atuantes no sistema.

A constatação de que as feições do domínio praias estão em equilíbrio dinâmico levou diversos pesquisadores a uma classificação dessas feições baseada em uma abordagem essencialmente morfodinâmica, principalmente a partir do trabalho de Wright *et al.* (1979), que estabeleceu dois estados morfodinâmicos extremos para caracterizar uma praia: o totalmente dissipativo e o altamente refletivo, os quais são distinguidos pelo parâmetro do surfe $\epsilon [(a\omega^2/g\tan^2\beta)]$, (Guza & Inman, 1975), onde a é a amplitude da onda de arrebentação, ω é a frequência radiana da onda incidente, g é a aceleração da gravidade e β corresponde ao gradiente da zona de praia/surfe]. Os estudos de Guza & Inman (1975) indicam praia extremamente refletiva quando

$\epsilon < 1$, valores entre 1 e 2,5, indicam forte reflexão com alguma dissipação, enquanto que a dissipação completa ocorre para valores de $\epsilon > 30$.

Para caracterizar os estados de equilíbrio morfodinâmico praias, incorporando de forma conjunta as características da onda e dos sedimentos, Wright & Short (1984) utilizaram o parâmetro adimensional $\Omega = H_b/W_sT$ (Gourlay, 1968 e Dean, 1973 *In*: Masselink & Short, 1993; Dalrymple & Thompson, 1977), onde H_b é a altura da onda de arrebentação, w_s é a velocidade de queda das partículas e T corresponde ao período da onda incidente.

Wright & Short (1984) estabeleceram que $\Omega < 1$ resulta em um estado morfodinâmico refletivo, indicando que a face praias terá alta declividade, geralmente na zona de *swash*, com a presença comum de cúspides praias e sedimentos de textura relativamente grossa; as ondas são geralmente pequenas e a zona de arrebentação é estreita. Valores de $\Omega > 6$ resulta em praias no estado dissipativo, que caracterizam-se por baixa declividade e com sedimentos de textura fina; a energia das ondas é geralmente alta, com larga zona de arrebentação e a presença comum de barras submersas, onde as ondas dissipam a maior parte da energia antes de atingir a face praias. Os valores de Ω entre 1 e 6 definem as praias de estado morfodinâmico intermediária

rio, sendo caracterizadas por morfologia de barras paralelas e perpendiculares a face praial. Estes autores reconheceram 4 estados intermediários, com valores de Ω e características morfológicas próprias para a face praial e zona de surfe/arrebentação; com o aumento do valor deste parâmetro os estados morfodinâmicos são: terraço de maré baixa (*low tide terrace* – LTT), barra e rip transversal (*transverse bar and rip* – TBR), praia e barra rítmica (*rhythmic bar and beach* – RBB) e barra-cava ao longo da costa (*longshore bar trough* – LBT).

Wright & Short (1984) ressaltam que apesar do pequeno intervalo de variação possível do parâmetro Ω para que a praia permaneça no estado morfodinâmico intermediário, é dentro dessa faixa estreita que as maiores variações morfológicas ocorrem. Ressaltam ainda que os valores de Ω precisam ser inferiores a 1 para que praia permaneça no estado morfodinâmico extremo refletivo e maiores do que 6 para que permaneça na sua condição de estado completamente dissipativo.

A caracterização dos ambientes praias sob um enfoque essencialmente morfodinâmico tem recebido a atenção de vários pesquisadores em localidades diversas (Short, 1979; 1983; 1992; Wright *et al.*, 1979; 1982 a, b; 1985; 1987; Short & Hesp, 1982; Short & Wright, 1983; Wright & Short, 1984; Flemming & Fricke, 1983; Masselink & Short, 1993; Naffa & Frihy, 1993; Calliari, 1994). No que se refere à pesquisa e à caracterização do ambiente praial do RS, uma classificação morfodinâmica foi empregada por Tomazelli (1990), Tomazelli & Villwock (1992), Calliari & Klein (1993), Toldo Jr. *et al.* (1993 a, b) e Barros *et al.* (1994), sendo que a variabilidade morfológica, dinâmica e sedimentológica do setor costeiro norte do estado do Rio Grande do Sul faz parte dos objetivos do grupo de pesquisa dos autores deste artigo (Souto *et al.*, 1996; Coan *et al.*, 1997; Franzen *et al.*, 1997; Weschenfelder *et al.*, 1997; Zommer *et al.*, 1997 a, b).

Este trabalho enfoca a variabilidade morfodinâmica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS, através do estudo de perfis praias, associado aos dados granulométricos dos sedimentos e do regime das ondas incidentes. Parte do conjunto de dados, sistematicamente coletados entre 1993 e 1996, foram utilizados também na dissertação de mestrado de um dos autores (Weschenfelder, 1996). O estudo da morfologia do setor praial e do campo de dunas frontais foi apresentado por Weschenfelder *et al.* (1997). A base de dados aqui apresentada, bem como as discussões emanadas do mesmo, serviram como auxílio

no programa de Gerenciamento Costeiro para o Estado do Rio Grande do Sul, bem como para as administrações municipais cuja inserção fica restrita à área geográfica do presente trabalho.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo insere-se na Planície Costeira do RS, uma extensa e diversificada faixa ambiental no limite oriental do estado (Fig. 1). A faixa costeira atual do litoral norte do estado faz parte do Sistema Depositional Laguna-Barreira IV de Villwock (1984), o sistema deposicional do tipo “laguna-barreira” mais recente da Planície Costeira do RS, originado em consequência do último evento transgressivo (Villwock, 1984; 1994; Villwock *et al.*, 1986; Tomazelli & Villwock, 1991; 1992; Tomazelli, 1993; 1994).

A praia oceânica da planície costeira do RS é extensa e contínua lateralmente, praticamente retilínea (SW-NE) e localizada em uma região costeira aberta e dominada pela ação das ondas. As feições morfológicas do setor praial se caracterizam pela relativa homogeneidade e continuidade lateral, em contraste com a marcante modificação antrópica causada na morfologia natural do campo de dunas frontais e planície arenosa ajacente.

Os trabalhos de Motta (1967; 1969) fornecem os parâmetros oceanográficos básicos sobre o regime de ondas atuante na região costeira em estudo. Os dados indicam que para a isóbata de 20 m o

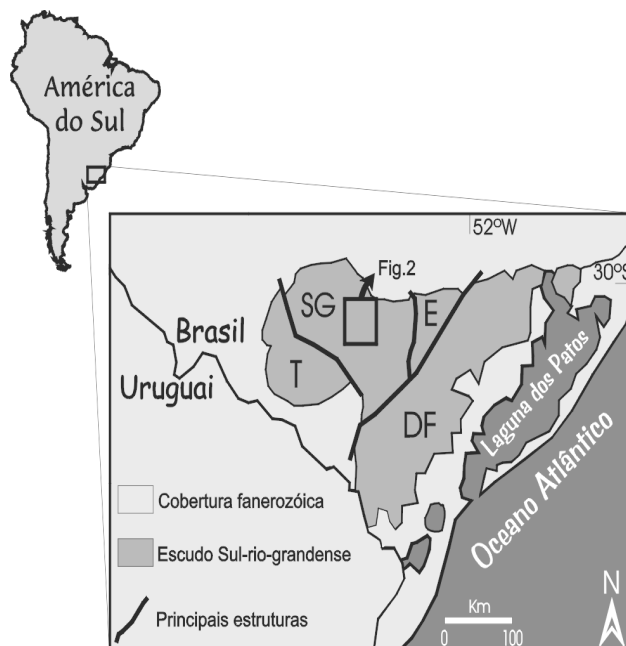


Figura 1 - Área de estudo, compreendendo as praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS.

período significativo é de 9 s e a altura significativa é de 1,5 m.

O efeito da maré astronômica é pouco significativo sobre a dinâmica sedimentar deste setor costeiro. O regime de micromaré, com amplitude inferior a 30 cm, deve-se ao fato da área situar-se próxima a um ponto anfifrômico do oceano Atlântico Sul, associado aos efeitos relacionados à configuração retilínea e regular da linha da costa e a largura da plataforma continental.

Os sedimentos do setor praias e de dunas frontais da planície costeira do RS são constituídos por areias quartzosas de granulagem fina a muito fina, com concentrações locais de minerais pesados (Martins, 1967; Martins *et al.*, 1972; Alvarez *et al.*, 1983; Villwock, 1984; Villwock *et al.*, 1979). Na praia do Cassino ocorrem concentrações locais de areias e cascalhos biodetríticos (Ayup-Zouain, 1991; Calliari & Klein, 1993). Entre Imbé e Arroio do Sal os sedimentos praias e de dunas frontais são texturalmente areias finas, com grãos bem arredondados e marcante homogeneidade dos parâmetros texturais (Weschenfelder, 1996).

Metodologia

A morfologia praias entre Imbé e Arroio do Sal foi obtida através do levantamento sistemático de perfis planialtimétricos perpendiculares à linha de costa, realizados entre abril de 1993 e julho de 1996, pelo método da estádia (Birkemeier, 1981).

Foram anotados também dados visuais dos parâmetros básicos das ondas incidentes (Tab. 1), configuração da zona de arrebentação e da zona com sedimentos em suspensão. Avaliou-se visualmente a altura de dez ondulações consecutivas num ponto fixo na zona de arrebentação. O período (T) das ondulações correspondeu a 1/10 do tempo total decorrido para a passagem de onze ondas consecutivas em um ponto fixo. O ângulo de aproximação do trem de ondas em relação à linha de costa foi avaliado com o auxílio de um ábaco. Quando possível avaliou-se a largura da zona de rompente e da zona com sedimentos em suspensão, tipo de rompente, sentido da corrente litorânea e do vento, anotando-se também a temperatura d'água e a distância entre as cúspides praias.

Amostragens de sedimentos foram feitas na face frontal das dunas frontais e na parte intermediária das zonas de pós-praias e de *swash*, em pontos

coincidentes com o perfil praias. Determinou-se então as classes granulométricas e os parâmetros estatísticos propostos por Folk & Ward (1957).

Visando a caracterização morfodinâmica das praias, foram calculados o parâmetro adimensional Ω ($H_b/T.W_s$) (Wright & Short, 1984) e o parâmetro de escala de surfe ε ($a.\omega^2/g\tan^2\beta$) (Guza & Inman, 1975). A velocidade de queda das partículas sedimentares baseou-se nos trabalhos de Gibbs *et al.* (1971) e Baba & Komar (1981).

RESULTADOS

Os Dados Visuais de Ondas

Entre fevereiro de 1993 e julho de 1995 foram anotados dados visuais da altura (H) e do período (T) de 1434 ondas (Tabs. 1 e 2).

Na tabela 1 a altura máxima de onda observada foi de 2,9 m, com período de 10,5 s. A altura mínima observada foi de 0,3 m, com período respectivo de 6,5 s. Os períodos oscilaram entre 5,5 e 15,5 s. Ondas com alturas maiores do que 2,7 m ocorreram em 0,49% das observações. Ondas com alturas maiores do que 2,2 m ocorreram em 2,66% dos valores observados, correspondendo a períodos (T) restritos ao intervalo entre 8,5 e 12s. As alturas mais frequentes apresentaram valores entre 0,5 e 1,9 m, que corresponderam a 87,3% das anotações. Os períodos entre 7,5 e 12 s representaram 79,09% do espectro total, e períodos com valores restritos entre 8,5 e 11 s, 55,37% dos valores.

A altura modal foi de 1,2 m, correspondendo 15,15% das anotações e o período modal foi de 10s, para 12,8% dos valores observados, com distribuição aproximadamente normal das alturas (Fig. 2a) e dos períodos (Fig. 2b) em torno do valor mais frequente.

Considerando a lei estatística de distribuição das alturas aparentes das ondas, deduzem-se os parâmetros ou valores típicos geralmente considerados na caracterização do regime de ondas, ou seja: a) altura média - H_m ; b) altura mediana - $H_{1/2} = 0,94H_m$; c) altura significativa - $H_{1/3} = H_s = 1,6H_m$; d) altura 1/10 - $H_{1/10} = 2,03H_m$. Dos valores da tabela 1 obtemos: $H_m = 1,23m$; $H_{1/2} = 1,16m$; $H_{1/3} = 1,97m$; $H_{1/10} = 2,5m$. Salienta-se que H_s corresponde à altura média da terça parte das ondas maiores ($H_{1/3}$), valor normalmente utilizado no cálculo da energia das ondas em estudos relacionados aos problemas de ero-

Tabela 1 - Dados visuais dos parâmetros básicos de ondas anotados entre fevereiro de 1993 e julho de 1995

H-cm																					n	%	Σ%		
290																					1	0,07	0,07		
280																					2	0,14	0,21		
270																					4	0,28	0,49		
260																					1	1	0,70		
250																					2	2	1,12		
240																					3	2	1,68		
230																					1	1	1,75		
220																					1	3	2,66		
210																					3	1	3	2	2,66
200																					2	1	3	1	3,29
190																					2	1	3	1	5,03
180																					3	1	3	2	6,77
170																					2	4	10	1	12,07
160																					3	2	6	3	15,28
150																					6	1	9	2	22,74
140																					5	1	7	10	27,55
130																					12	11	7	6	35,29
120																					20	22	6	16	54,60
110																					6	16	11	8	62,41
100																					13	10	6	11	73,22
090																					26	12	14	3	80,61
080																					26	12	14	3	89,40
070																					7	7	7	5	92,96
060																					7	5	5	12	97,77
050																					3	6	3	6	99,37
030																					1	1	1	1	100,0

T-s	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	Σ=	Σ
n	20	30	30	40	90	90	100	130	140	184	110	130	80	80	20	40	30	30	20	20	20	1434	↓
%	1,40	2,09	2,09	2,78	6,28	6,28	6,97	9,07	9,79	12,8	7,67	9,07	5,58	5,58	1,39	2,78	2,09	2,09	1,40	1,40	1,40	Σ=	100
Σ%	1,4	3,49	5,58	8,36	14,64	20,92	27,89	36,96	46,75	59,55	67,22	76,29	81,87	87,45	88,84	91,62	93,71	95,80	97,20	98,60	100,0		

Tabela 2 - Média (Md) e Desvio Padrão (DP) (N = 33) dos parâmetros morfométricos, granulométricos, de ondas e morfodinâmicos, anotados entre abril de 1993 e julho de 1996, nas praias de Imbé, Capão Novo e Arroio do Sal

	Imbé		Capão Novo		Arroio do Sal	
	Md	DP	Md	DP	Md	DP
I	37,96	17,07	57,42	24,88	47,25	18,25
II	24,75	12,78	15,90	10,66	23,34	10,36
III	0,77	0,24	0,73	0,26	0,71	0,18
IV	2,00	0,66	2,13	0,75	2,01	0,89
V	1,94	0,61	1,77	0,69	1,93	0,73
VI	1,53	0,41	1,08	0,13	1,34	0,19
VII	1,16	0,49	0,62	0,30	1,03	0,34
VIII	1,21	0,37	1,34	0,45	1,36	0,43
IX	9,37	2,05	9,13	1,79	9,63	2,24
X	4,82	6,89	11,46	30,48	10,79	30,09
XI	2,53	0,13	2,50	0,19	2,58	0,12
XII	2,47	0,14	2,42	0,12	2,42	0,11
XIII	1,83	0,23	1,96	0,20	1,98	0,20
XIV	6,75	2,30	6,79	2,50	6,68	2,60
XV	32,04	26,54	41,80	26,47	38,35	36,66

I = Largura do pós-praia (m); **II** = Largura da zona de *swash* (m); **III** = Distância vertical de avanço do *swash* (m); **IV** = Inclinação da zona de *swash* (°); **V** = Inclinação do estirâncio superior (°); **VI** = Inclinação da região praial (°); **VII** = Inclinação do pós-praia (°); **VIII** = Altura média das ondas na zona de arrebentação - Hb (m); **IX** = Período médio das ondas - T (s); **X** = ângulo de aproximação do trem de ondas na arrebentação (°) (valor positivo indica sentido horário); **XI** = Média aritmética (Mz) do tamanho de grão no pós-praia; **XII** = Mz dos sedimentos da zona de *swash*; **XIII** = Velocidade de queda (Ws) das partículas da zona de *swash* (m/s); **XIV** = W; **XV** = e.

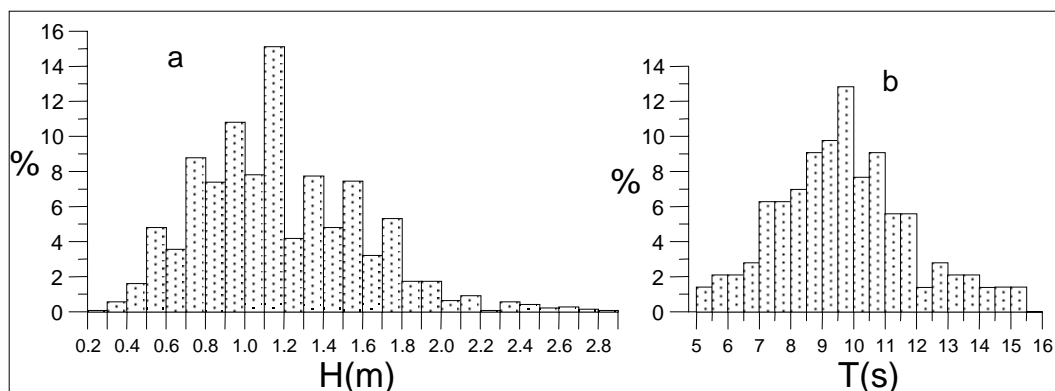


Figura 2 - Distribuição das alturas (a) e dos períodos (b) das ondas a partir dos dados da tabela 1.

são e transporte litorâneo. $H_{1/10}$ corresponde a altura média de 1/10 das ondas maiores.

A Morfologia e os Parâmetros Morfodinâmicos

A síntese dos dados e resultados da morfologia praial, granulometria dos sedimentos, regime de ondas e dos parâmetros morfodinâmicos estão dispostos na tabela 2. Os parâmetros de I a VII da tabela 2 foram apresentados e discutidos por Weschenfelder *et al.* (1997), em trabalho enfocando a caracterização morfológica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal alguns dos quais são aqui empregados, junto com os dados de onda (VIII-X) e granulométricos (XI-XII), para o cálculo dos parâmetros morfodinâmicos (XIV-XV).

DISCUSSÃO

A escassez de registros consistentes dos parâmetros físicos oceanográficos, principalmente sobre o regime de ondas, é um fator limitante na caracterização plena do regime hidrodinâmico atuante na região costeira do Rio Grande do Sul (Tomazelli & Villwock, 1992).

Dados consistentes do regime de ondas atuante junto à desembocadura da Lagoa de Tramandaí, região deste estudo, foram publicados por Motta (1967), que também se ocupou posteriormente (1969) com o estudo do regime de ondas na desembocadura da Lagoa dos Patos.

A análise visual de ondas torna possível a caracterização do regime de ondas de uma região, a partir de um número consistente de dados sistematicamente observados. Desta forma, o conjunto de dados dos parâmetros básicos de ondas, anotados durante trabalhos de campo e dispostos na tabela 1, permite uma caracterização razoável do regime de ondas atuantes na área de estudo.

Tendo como base os dados da tabela 1, pode-se classificar o regime hidrodinâmico da área como de alta energia segundo Tanner (1961; $H_b > 50\text{cm}$) ou de energia de onda moderada segundo Short & Hesp (1982; $1 < H_b < 2,5\text{m}$), com 54,6% dos registros apresentando $H_b > 1,2\text{m}$. Os resultados mostram-se consistentes na medida em que se assemelham àqueles obtidos através de medições com dispositivos mais sofisticados empregados por Motta (1967). É uma região costeira dominada e exposta à ação direta das ondas, as quais condicionam diretamente o desenvolvimento das feições morfológicas (Davis & Hayes, 1984).

Ressalta-se que a energia da onda na arrebentação depende de sua energia em águas profundas, subtraída a perda devido à atenuação por fricção e redistribuição da mesma na plataforma continental (Short & Hesp, 1982). A configuração ampla e rasa da plataforma continental norte do RS promove, além da atenuação da energia total das ondas, acentuada refração na ondulação proveniente de SE, sobretudo a partir da plataforma média, diminuindo o ângulo de aproximação do trem de ondas.

O média dos valores anotados indica um ângulo de aproximação do trem de ondas praticamente paralelo à linha de costa (5 a 11°; Tab. 2 - X). Esse valor indica uma corrente litorânea resultante para NE, em concordância com indicadores geomorfológicos que também evidenciam a deriva resultante no sentido NE, como as desembocaduras não estabilizadas dos rios e lagunas (Motta, 1967; Tomazelli, 1990; Tomazelli & Villwock, 1992). A ocorrência de correntes litorâneas preponderantemente paralelas à linha de costa e em ambos os sentidos foi relatado por Motta (1967).

Observou-se também que a zona de arrebentação geralmente apresenta 2 ou 3 linhas de arrebentação, com largura média em torno de 250 m e des-

vio padrão em torno de 120 m. É uma zona de baixa declividade e de largura variável (alto desvio padrão), marcada pela ocorrência de diversas barras submersas paralelas à linha de costa.

A boa continuidade lateral geralmente apresentada pelas linhas de arrebentação permite acompanhar visualmente a progressão do trem de ondas desde a primeira linha de arrebentação até a zona de surfe, facilitando a obtenção dos parâmetros para a caracterização do regime de ondas.

A análise conjunta dos dados morfológicos, granulométricos e dos parâmetros básicos de ondas possibilita uma classificação morfodinâmica das praias estudadas, levando em consideração os conceitos expostos principalmente por Wright & Short (1984) e Wright *et al.* (1985). A modelagem das feições morfológicas deriva, essencialmente, do equilíbrio entre as partículas sedimentares disponíveis e o regime hidrodinâmico atuante.

Para as praias de Imbé, Capão Novo e Arroio do Sal foram calculados os valores do parâmetro de escala de surfe $-\varepsilon$ (Tab. 2), os quais indicam praia extremamente refletiva quando $\varepsilon < 1$, valores entre 1 e 2,5 indicam forte reflexão com alguma dissipação, enquanto que a dissipação completa ocorre para valores de $\varepsilon > 30$ (Guza & Inman, 1975) (Fig. 3).

Para a praia de Imbé os valores de ε e variaram entre 3 e 109, com valor médio de 32,04 e desvio padrão de 26,54. Valores de $\varepsilon > 30$ foram apresentados nos meses de abril e dezembro de 1993, março, junho, julho, agosto e novembro de 1994, e abril de 1995.

Os valores de ε apresentaram variação entre 7 e 92 para a praia de Capão Novo, com valor médio

de 41,8 e desvio padrão de 26,47. Valores de $\varepsilon < 30$ ocorreram nos meses de fevereiro, maio, julho, agosto e novembro de 1993, junho e novembro de 1994, e fevereiro, maio e julho de 1995.

O parâmetro Ω apresentou maior variação para a praia de Arroio do Sal, entre 5 e 156, com média de 38,35 e desvio padrão de 36,66. Valores de $\varepsilon > 30$ ocorreram nos meses de fevereiro, junho, julho, agosto e outubro de 1993, janeiro, junho e outubro de 1994, e março e julho de 1995.

Os valores indicam, então, que não ocorreu o estado de praia extremamente refletiva ($\varepsilon < 1$). São praias basicamente dissipativas, com valores de ε e próximos ou superiores a 30.

A distribuição temporal dos valores de Ω para as praias de Imbé, Capão Novo e Arroio do Sal, para o período entre fevereiro de 1993 e julho de 1995 (Fig. 4), demonstra basicamente a mesma resposta de estado morfodinâmico para as três praias analisadas, com tendência a semelhante distribuição temporal dos valores. Valores de $\Omega < 1$ indicam o estado morfodinâmico refletivo e $\Omega > 6$ o estado dissipativo, enquanto os valores de Ω entre 1 e 6 definem as praias de estado morfodinâmico intermediário (Wright & Short, 1984).

Para a praia de Imbé os valores de Ω variaram entre 3,76 e 11,71, com valor médio de 6,75 e desvio padrão de 2,3, com 56% dos valores superiores a 6, posicionando-a no estado morfodinâmico dissipativo nos meses de abril, junho, julho, novembro e dezembro de 1993, janeiro, março, junho, julho e agosto de 1994, e entre fevereiro e abril de 1994.

Para a praia de Capão Novo os valores de Ω apresentaram variação entre 3,66 e 12,59, com valor

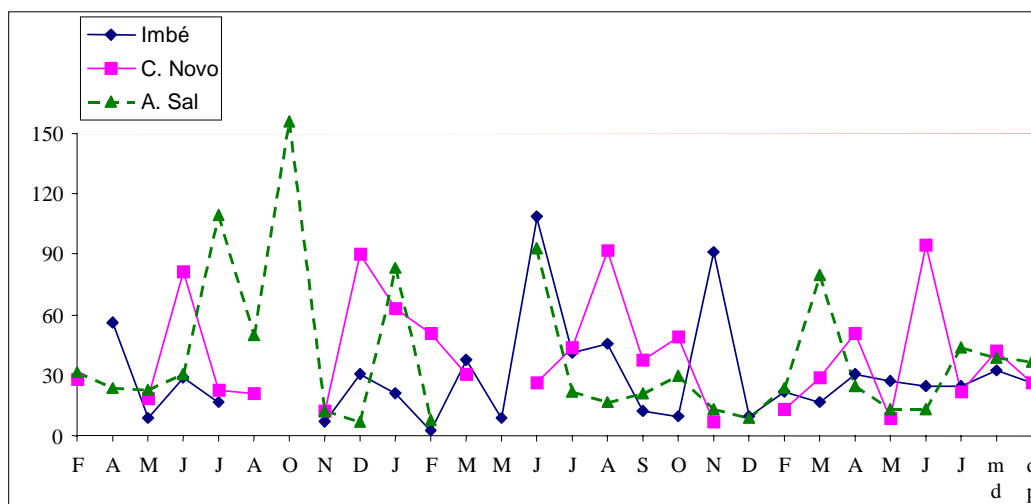


Figura 3 - Distribuição temporal dos valores de ε (eixo vertical) para as praias de Imbé, Capão Novo e Arroio do Sal, entre fevereiro de 1993 e julho de 1995; md = média; dp = desvio padrão.

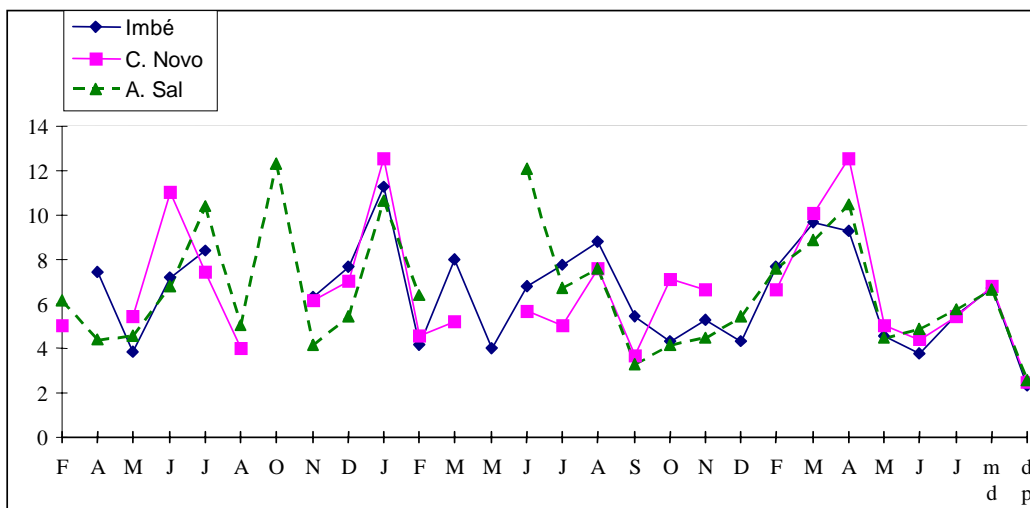


Figura 4 - Distribuição temporal dos valores de Ω (eixo vertical) para as praias de Imbé, Capão Novo e Arroio do Sal, no período entre fevereiro de 1993 e julho de 1995; md = média; dp = desvio padrão.

médio de 6,79 e desvio padrão de 2,5. Dos registros, 52% apresentaram Ω superiores a 6 (estado dissipativo) distribuídos nos meses de junho, julho, novembro e dezembro de 1993, janeiro, agosto, outubro e novembro de 1994, e entre fevereiro e abril de 1995.

Para a praia de Arroio do Sal, 50% dos registros apresentaram valores de Ω superiores a 6, com valores mínimo de 3,31 e máximo de 12,31, e valor médio de 6,68 com desvio padrão de 2,6. Os estados morfodinâmicos dissipativos ($\Omega > 6$) ocorreram nos meses de fevereiro, junho, julho e outubro de 1993, janeiro, fevereiro, junho, julho e agosto de 1994, e entre fevereiro e abril de 1995. Nos demais períodos a praia apresentou-se intermediária, sem a ocorrência de estados morfodinâmicos refletivos ($\Omega < 1$) a exemplo do ocorrido em Imbé e Capão Novo.

Constata-se que as praias tendem a mais dissipativas no período de verão, com uma distribuição ou uma tendência de distribuição mais constante dos valores. Nos demais períodos apresentam maior oscilação na distribuição do valor do parâmetro morfodinâmico Ω .

Considerando-se os meses entre dezembro de 1994 e maio de 1995 percebe-se uma tendência clara de passagem progressiva do estado de praias intermediárias (até dezembro de 1994) para o estado de praias dissipativas (entre janeiro a abril de 1995) e novamente retornar ao estado de praias intermediárias a partir de maio de 1995.

Constata-se que os valores de e (Fig. 3) não revelam uma tendência tão clara de distribuição sazonal como apresentado pelo parâmetro Ω (Fig. 4). Isto

pode indicar a necessidade de um tempo de ajuste para a completa correspondência entre estes dois parâmetros, uma vez que o parâmetro Ω não utiliza a declividade da superfície praiial em seu cálculo.

Quando consideramos a média de todos os valores de e e Ω obtidos, a correspondência entre eles é clara (Fig. 5). Mudanças temporais significativas de estado morfodinâmico são observadas nos meses de maio e outubro, precedentes ao início do inverno e verão.

Wright & Short (1984) e Wright *et al.* (1985) ressaltam que a correspondência entre um estado morfológico praiial específico e um valor particular de Ω nem sempre é observado quando a taxa de mudança nas características das ondas incidentes é rápida. Quando ocorre uma variação brusca do valor de Ω , passando de um estado morfodinâmico para outro, um tempo de ajuste é necessário para que a morfologia praiial se ajuste às novas condições.

A distribuição espacial dos parâmetros morfodinâmicos ϵ e Ω (Fig. 6), mostra que as praias apresentavam-se com valores médios de $\epsilon > 30$ (dissipativo), com exceção das praias de Santa Terezinha, Arroio Teixeira, Praia da Âncora e Figueirinha. As praias de Imbé, Capão Novo e Arroio do Sal apresentaram valores de $\epsilon > 30$, concordando com os valores médios obtidos quando considerados todos os valores anotados.

O comportamento do parâmetro Ω foi semelhante ao do parâmetro e , com exceção do setor norte, nas proximidades de Arroio do Sal. Os valores de W foram inferiores a 6 somente em Capão Novo e na praia do Barco. As praias de Imbé e

Arroio do Sal apresentaram valores médios de W superiores a 6, concordando com o valor médio obtido pela consideração de todos os levantamentos.

Como a morfologia praial está ou tende a um equilíbrio dinâmico, consideramos o estado médio a fim de encaixá-las dentro de uma classificação morfodinâmica. O valor do desvio padrão fornece o grau de variação morfodinâmica apresentada pelo ambiente, basicamente em função das variações de energia hidrodinâmica ao qual o sistema está exposto.

Considerando a distribuição temporal dos valores dos parâmetros morfodinâmicos (Fig. 5), posiciona-se as praias em estudo, no extremo morfodinâmico dissipativo, com valores médios de $\Omega > 6$, e de e superiores a 30. Quando consideramos os valores destes parâmetros de forma individualizada para os diferentes levantamentos, constatamos a ocorrência de estados intermediários, provavelmente condicionados por um regime hidrodinâmico de mais baixa energia.

A similaridade morfodinâmica das praias estudadas é evidenciada quando constatamos a estreita proximidade dos valores da média e do desvio padrão dos parâmetros morfodinâmicos. Para as praias de Imbé, Capão Novo e Arroio do Sal, o parâmetro Ω é de 6,75, 6,79 e 6,68, com desvio padrão de 2,30, 2,50 e 2,60 respectivamente. Os valores de e também confirmam a similaridade morfodinâmica das praias deste segmento costeiro.

Para as praias entre Imbé e Capão Novo e entre Capão Novo e Arroio do Sal, o valor de Ω foi um pouco superior a estas três praias extremas (7,94 e 7,11), com baixo valor de desvio padrão. Prova-

velmente uma quantidade maior de dados para estes dois segmentos intermediários levaria o valor médio de W a aproximar-se dos valores estabelecidos para as praias de Imbé, Capão Novo e Arroio do Sal, considerando que a granulometria e o regime hidrodinâmico são similares.

A sazonalidade das características morfológicas das praias estudadas também é constatada através das variações do volume subaéreo, com os perfis de verão e inverno apresentando o máximo e o mínimo volume subaéreo respectivamente, em relação ao outono e à primavera. Genericamente, os perfis de verão caracterizam-se como perfis de acreção, em oposição aos de inverno que são geralmente perfis de erosão, mais rebaixados topograficamente e com menor volume sub-aéreo, condicionados pelo regime de ondas atuante (Weschenfelder *et al.*, 1997).

A seqüência de variações morfológicas desde um perfil de acreção típico até a formação de um perfil de erosão e o retorno ao novo perfil de acreção é descrita por Short (1979). Envolve, a partir do perfil típico de verão (acreção), a erosão dos sedimentos depositados na porção sub-aérea em um evento de maior energia e armazenamento na parte submersa em feições do tipo barras paralelas à linha de costa; o perfil praial sub-aéreo torna-se rebaixado, típico do perfil de inverno (erosão). O retorno e persistência dos períodos de energia normal ou baixa possibilitam a redeposição gradual de sedimentos na face praial, levando novamente a formação do perfil típico de verão (acreção).

Calliari & Klein (1993) identificaram três setores com características morfodinâmicas distintas

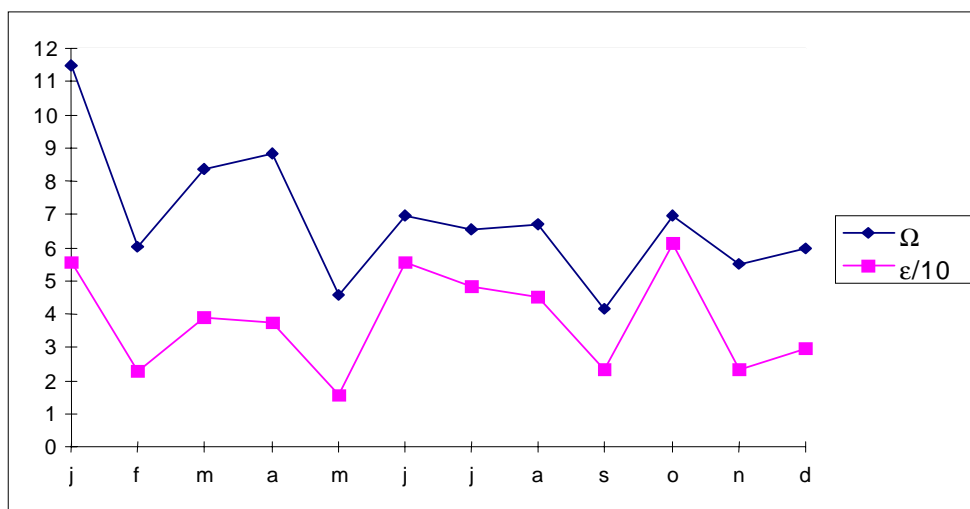


Figura 5 - Distribuição temporal dos parâmetros ϵ e Ω , considerando a média de todos os valores obtidos.

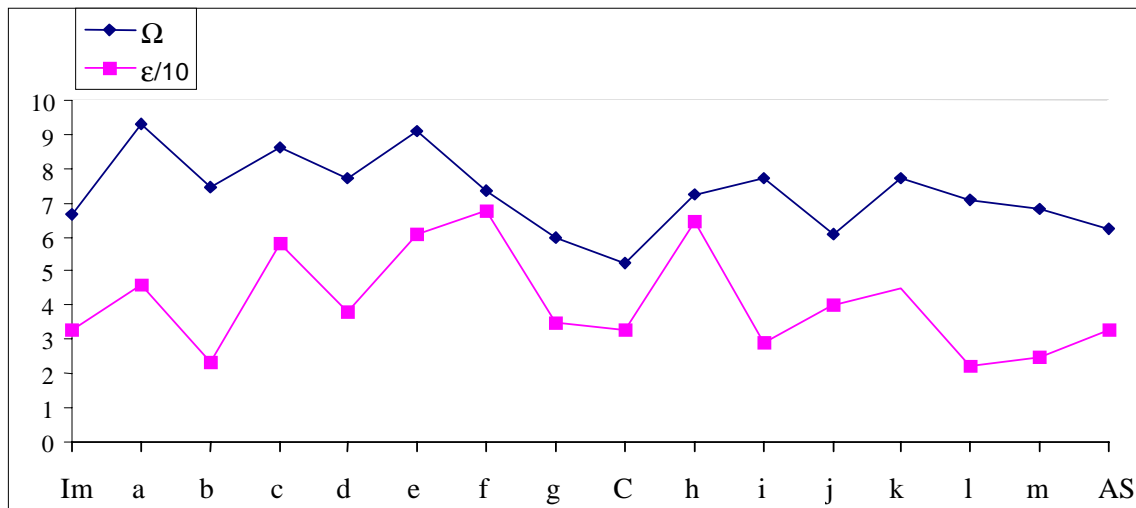


Figura 6 - Distribuição espacial dos valores médios de ϵ e Ω , para as praias entre Imbé (Im) e Arroio do Sal (AS), levando em consideração dois levantamentos (julho de 1994 e 1995) ($\epsilon.1/10$). **a** - Mariluz; **b** - Santa Terezinha; **c** - Rainha do Mar; **d** - Xangrilá; **e** - Atlântida; **f** - Capão da Canoa; **g** - Praia do Barco; **C** - Capão Novo; **h** - 3 km ao norte de Capão Novo; **i** - Arroio Teixeira; **j** - São Salvador; **k** - Bom Jesus; **l** - Praia da Âncora; **m** - Figueirinha.

para as praias entre Rio Grande e Chuí, sul do estado do RS. Esses autores identificaram praias com características dissipativas, praias com tendência a permanecer no estágio intermediário e praias que oscilam entre os estágios intermediário e refletivo.

A resposta morfodinâmica diferente entre a costa norte e alguns setores da costa sul do estado, considerando que estão expostas ao mesmo sistema energético da ondulação proveniente do Atlântico sul, deve-se principalmente às diferenças granulométricas dos sedimentos praias.

Podemos considerar ainda que a presença de diversos bancos submersos na plataforma interna do sul do estado causa variação do nível de energia hidrodinâmica ao longo da costa, influenciando na diferenciação praial ao sul de Rio Grande (Calliari & Klein, 1993). Em contraste, a plataforma continental interna do norte do estado não apresenta variações morfológicas significativas, e portanto não ocasiona variações significativas no nível da energia hidrodinâmica que atinge a região costeira.

Estes dois fatores, morfologia da plataforma continental e características texturais dos sedimentos, conduzem a diferenciação morfodinâmica entre a porção norte e sul do estado.

A formação de feições do tipo barras submersas, paralelas à linha de costa, a partir da erosão dos sedimentos sub-aéreos em eventos de maior energia, pode alterar o nível de energia que atinge determinado ponto da costa, devido a alteração da característica da onda na zona de arrebentação. A morfologia e a disposição dessas feições

submersas vai depender da quantidade de sedimentos disponíveis e efetivamente remobilizados da porção sub-aérea em direção à parte submersa, em um determinado evento tempestuoso.

Levantamentos diários demonstram que as praias apresentam um perfil mutante, modificando-se constantemente para atingir o perfil de equilíbrio dinâmico (Weschenfelder *et al.*, 1997).

Os levantamentos mensais refletem o perfil de equilíbrio praial para as condições hidrodinâmicas atuantes ou refletem um perfil mutante, formado sob condições energéticas anteriores, e que ainda está se modificando em direção ao equilíbrio morfodinâmico atuantes no momento do levantamento.

O grau de aderência entre a morfologia praial e as condições hidrodinâmicas são dependentes de uma série de fatores. Em locais onde ocorre uma variação constante e significativa das condições dinâmicas o equilíbrio morfodinâmico é raramente atingido (Wright *et al.*, 1985).

As praias estudadas são suscetíveis a episódios sazonais de erosão-acresção, evidenciado pelo desvio padrão da largura do pós-praia e conseqüentemente da posição da linha d'água. As distâncias horizontal e vertical do avanço do *swash* apresentam grande variações (alto desvio padrão), condicionadas à declividade da face praial e energia hidrodinâmica. A variação vertical do perfil é menos significativa devido as características granulométricas dos sedimentos. Grandes variações verticais do envelope são comuns em praias sob condições morfodinâmicas essencialmente intermediárias.

A erosão da base das dunas frontais nas praias entre Imbé e Arroio do Sal, documentado em julho de 1994 e persistindo em julho de 1995, reflete episódios de alta energia (*storms surges* ou tempestades) que modificam a morfologia praial e do campo de dunas frontais. Esses eventos de mais alta energia geram fortes correntes que transportam os sedimentos em direção a região de ante-praia, depositando-os em bancos submersos (Héquete & Hill, 1993). O retorno do material, para que se atinja novamente um equilíbrio entre o estoque sedimentar e as condições dinâmicas destes setores morfológicos, com o restabelecimento da morfologia dos setores praial e do campo de dunas adjacentes, pode levar um longo período.

Sob condições energéticas anormais decorre-se um longo período até que o perfil anterior ao evento seja reestabelecido. Tomazelli (1990) demonstra que o perfil anterior a ressaca que atingiu a região no dia 6 de junho de 1985 ainda não havia se reestabelecido até 1989. Este autor sugere um caráter mais erosivo do que acrescional para a área em estudo, derivado sobretudo de uma tendência contemporânea de elevação relativa do nível do mar.

A erosão condicionada por eventos tempestuosos é mais acentuada quando a frequência das tempestades excede o período necessário para o restabelecimento do perfil normal, principalmente em zonas de suprimento sedimentar mínimo ou negativo (Morton *et al.*, 1995).

O grau de aderência entre a morfologia e o estado morfodinâmico das praias em estudo poderá ser refinado a partir de levantamentos sistemáticos continuados.

CONCLUSÕES

A energia hidrodinâmica é o fator preponderante na morfologia praial do litoral norte do RS. Quando consideramos os parâmetros morfodinâmicos ϵ e Ω , as variáveis significativas são a altura e o período das ondas incidentes, visto que os sedimentos praias apresentam grande homogeneidade granulométrica e a declividade do perfil é dependente desses fatores mencionados (Hb, T, Ws).

A sazonalidade morfológica/morfodinâmica é condicionada basicamente pela variabilidade no comportamento hidrodinâmico do sistema, principalmente pelas oscilações no clima de ondas, evidenciada pela predominância do perfil acrescional no verão e do erosional no inverno.

Pelos valores dos parâmetros morfodinâmicos ϵ e Ω posicionam-se as praias de Imbé, Capão Novo e Arroio do Sal basicamente no estado morfodinâmico dissipativo e, eventualmente, no estado morfodinâmico intermediário. Estes dois parâmetros morfodinâmicos apresentam a mesma tendência de distribuição temporal para o período analisado.

A distribuição espacial de ϵ e Ω mostra que as praias entre Imbé e Arroio do Sal, nos meses de julho de 1994 e julho de 1995, apresentavam-se no estado morfodinâmico dissipativo ($\epsilon > 30$). O comportamento do parâmetro Ω foi semelhante ao do parâmetro ϵ , excetuando-se o setor norte, nas proximidades de Arroio do Sal.

A similaridade no comportamento morfodinâmico das praias estudadas se atribui ao fato de serem próximas, sem variação granulométrica significativa, sujeitas basicamente ao mesmo regime hidrodinâmico e adjacentes à uma plataforma continental sem variações morfológicas marcantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, J. A.; Grê, J. C. R. & Toldo Jr., E. E. 1983. Estudos oceanográficos e sedimentológicos preliminares da praia de Tramandaí - RS. **Pesquisas**, **15**: 66-85.
- Ayup-Zouain, R. N. 1991. **Avaliação das mudanças do nível do mar durante o Holoceno na plataforma continental adjacente ao rio de La Plata**. Porto Alegre. 364p. Tese de Doutorado em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Baba, J. & Komar, P. D. 1981. Measurements and analysis of settling velocities of natural quartz sand grains. **Journal of Sedimentary Petrology**, **51**: 631-640.
- Barros, F. C. R.; Calliari, L. J. & Gianuca, N. M. 1994. Estudo preliminar da macrofauna bentônica da Praia dos Concheiros, RS. **Notas Técnicas**, **7**:33-37.
- Birkemeier, W. A. 1981. **Fast accurate two-person beach survey**. Coastal Engineering Technical Aid 81-11. U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station. Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi. 22p.
- Calliari, L. J. 1994. Cross-shore and longshore sediment size distribution on southern Currituck Spit, North Carolina: Implications for beach differentiation. **Journal of Coastal Research**, **10**(2): 360-373.
- 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.
- Coan, S.; Weschenfelder, J. & Ayup-Zouain, R. N. 1997. Variação morfológica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS. IX SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS E VI FEIRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, **Boletim de Resumos**; Porto Alegre; 15-19/set 1997.p. 30.
- Dalrymple, R. A. & Thompson, W. W. 1977. A study of equilibrium beach profiles. **Proceedings 15th Conference on Coastal Engineering**, Honolulu, Hawaii.
- Davis Jr. R. A & Hayes, M. O. 1984. What is a wave-dominated coast? **Marine Geology**, **60**: 313-329.
- Flemming, B. W. & Fricke, A. H. 1983. Beach and nearshore habitats as a function of internal geometry, primary sedimentary structures

- and grain size. In: Mclachlan, A. & Erasmus, T. (eds.). **Sandy beach as ecosystems**. The Hague, Dr. Junk Publishers, p. 115-132.
- Folk, R. L. & Ward, C. 1957. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, **27(1)**: 3-26.
- Franzen, M.; Weschenfelder, J. & Ayup-Zouain, R. N. 1997. Mecanismos de transporte e deposição das areias do setor costeiro norte do estado do RS. IX SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS E VI FEIRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA; **Boletim de Resumos**; UFRGS; Porto Alegre; 15-19/set 1997. Pg. 22.
- Gibbs, R. J.; Matthews, M. D. & Link, D. A. 1971. The relationship between sphere size and settling velocity. **Journal of Sedimentary Petrology**, **41(1)**: 7-18.
- Guza, R. T. & Inman, D. L. 1975. Edge waves and beach cusps. **Journal of Geophysical Research**, **80(21)**: 2997-3012.
- Héquette, A. & Hill, P. R. 1993. Storm-generated currents and offshore sediment transport on a sandy shoreface, Tibjak Beach, Canadian Beaufort Sea. **Marine Geology**, **113**: 283-304.
- Martins, I. R. 1967. Aspectos texturais e deposicionais dos sedimentos praias e eólicas da planície costeira do Rio Grande do Sul. **Publicação Especial da Escola de Geologia da UFRGS**, **13**. 102p.
- Martins, L. R.; Jost, J.; Villwock, J. A. & Martins, I. R. 1972. Misturas populacionais e efetividade de energia ambiental. **Pesquisas**, **1**:13-24.
- Masselink, G. & Short, A. D. 1993. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. **Journal of Coastal Research**, **9(3)**:785-800.
- Morton, R. A.; Gibeaut, J. C. & Paine, J. B. 1995. Meso-scale transfer of sand during and after storms: implications for prediction of shoreline movement. **Marine Geology**, **126(1/4)**:161-179.
- Motta, V. F. 1967. **Estudo em modelo reduzido da regulamentação da embocadura lagunar de Tramandaí** (Rio Grande do Sul). Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. (Inédito).
- Motta, V. F. 1969. **Relatório-diagnóstico sobre a melhoria e o aprofundamento do acesso pela Barra de Rio Grande**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. (Inédito).
- Nafaa, M. G. & Frihy, O. E. 1993. Beach and nearshore features along the dissipative coastline of the Nile Delta, Egypt. **Journal of Coastal Research**, **9(2)**: 423-433.
- Short, A. D. 1979. Three dimensional beach stage model. **Journal of Geology**, **87**: 553-571.
- Short, A. D. 1983. Sediment and structures in beach-nearshore environments, South East Australia. In: Mclachlan, A. & Erasmus, T. (eds.). **Sandy beach as ecosystems**. The Hague, Dr. Junk Publishers, 145-155.
- Short, A. D. 1992. Beach systems of the central Netherlands coast: Processes, morphology and structural impacts in a storm driven multi-bar system. **Marine Geology**, **107**:103-137.
- Short, A. D. & Hesp, P. A. 1982. Wave, beach and dune interactions in South-Eastern Australia. **Marine Geology**, **48**:259-284.
- Short, A. D. & Wright, L. D. 1983. Physical variability of sandy beaches. In: Mclachlan, A. & Erasmus, T. (eds.). **Sandy beach as ecosystems**. The Hague, Dr. Junk Publishers, 133-144.
- Souto, R. P.; Weschenfelder, J. & Ayup-Zouain, R. N. 1996. Implementação de rotinas computacionais no cálculo de parâmetros para a caracterização morfodinâmica de praias. VIII SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS E V FEIRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, **Boletim de Resumos**, Porto Alegre; set/1996.
- Tanner, W. F. 1961. Offshore shoals in area of energy deficit. **Journal of Sedimentary Petrology**, Tulsa, **31(1)**:87-95.
- Toldo Jr., E. E.; Almeida, L. E. S. R.; Dillenburg, S. R.; Tabajara, L. L.; Ferreira, E. R. & Borghetti, C. 1993a. Parâmetros morfodinâmicos e deriva litorânea da Praia de Tramandaí, RS. **Geosul** **15**:75-88.
- Toldo Jr., E. E.; Dillenburg, S. R.; Almeida, L. E. S. R.; Tabajara, L. L.; Martins, R. R. & Cunha, L. O. B. P. 1993b. Parâmetros morfodinâmicos da Praia de Imbé, RS. **Pesquisas**, **20(1)**:27-32.
- Tomazelli, L. J. 1990. **Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul - Com ênfase no sistema eólico**. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. Porto Alegre. 270p. (Inédito).
- Tomazelli, L. J. 1993. O Regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, **20(1)**:18-26.
- Tomazelli, L. J. 1994. Morfologia, organização e evolução do campo eólico costeiro do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, **21(1)**:64-71.
- Tomazelli, L. J. & Villwock, J. A. 1991. Geologia do sistema lagunar holocênico do litoral norte do Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, **18(1)**:13-24.
- 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.
- 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. 1994. A Costa Brasileira: Geologia e Evolução. **Notas Técnicas**, **7**:38-49.
- Villwock, J. A.; Dehnhardt, E.; Loss, S. L.; Tomazelli, L. J. & Hofmeister, T. 1979. Concentrações de areias negras a lo largo de la costa del Rio Grande do Sul, Brasil. SEMINÁRIO SOBRE ECOLOGIA BENTONICA Y SEDIMENTACION DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ATLANTICO SUR, Montevideo. **Memorias**. p. 405-414.
- Villwock, J. A.; Tomazelli, L. A.; Loss, E. L.; Dehnhardt, E. A.; Horn, F. N. O.; Bachi, F. A. & Dehnhardt, B. A. 1986. Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. In: Rabasa, J., (ed.), **Quaternary of South America and Antarctic Peninsula**. v. 4, 11p., A.A.Balkema Publishers Rotterdam.
- Weschenfelder, J. 1996. **Variabilidade Morfodinâmica das Praias Oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. 132p. (Inédito).
- 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.
- Wright, L. D. & Short, A. D. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. **Marine Geology**, **56**:93-118.
- Wright, L. D.; Chappell, J.; Thom, B. G.; Bradshaw, M. P. & Cowell, P. 1979. Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems: southeastern Australia. **Marine Geology**, **32**: 105-140.
- Wright, L. D.; Guza, R. T. & Short, A. D. 1982a. Dynamics of a high-energy dissipative surf zone. **Marine Geology**, **45**: 41-62.
- Wright, L. D.; Nielsen, P.; Short, A. D. & Green, M. O. 1982b. Morphodynamics of a macrotidal beach. **Marine Geology**, **50**:97-128.
- Wright, L. D.; Short, A. D. & Green, M. O. 1985. Short-term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: an empirical predictive model. **Marine Geology**, **62**: 339-364.
- Wright, L. D.; Short, A. D.; Boon III, J. D.; Hayden, B.; Kimball, S. & List, J. H. 1987. The morphodynamic effects of incident wave groupiness and tide range on an energetic beach. **Marine Geology**, **74**: 1-20.
- Zomer, S. L. C.; Ayup-Zouain, R. N.; Weschenfelder, J. & Lange, O. 1997a. Recobrimentos aerofotográficos em 35mm sobre o ambiente praias do litoral norte do RGS.VII COLACMAR, **Boletim de Resumos Expandidos**; 22-26 set/1997. Pg. 562-563. Santos, São Paulo.
- Zomer, S. L. C.; Ayup-Zouain, R. N.; Weschenfelder, J. & Lange, O. 1997b. Recobrimentos aerofotográficos em 35 mm sobre o ambiente praias do litoral norte do RGS. **Notas Técnicas**, **10**: 49-60.

