

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Morfodinâmica da Praia do Cassino, RS

Heitor Augusto de Moraes Tozzi, Lauro Júlio Calliari
Pesquisas em Geociências, 27 (1): 29-42, maio/ago., 2000.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/20176>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos

UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - maio/ago., 2000.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Morfodinâmica da Praia do Cassino, RS

HEITOR AUGUSTO DE MORAES TOZZI & LAURO JÚLIO CALLIARI

Fundação Universidade de Rio Grande, Laboratório de Oceanografia Geológica,
Caixa Postal 474, CEP 96201-900 Rio Grande, RS, Brasil.

(Recebido em 11/98. Aceito para publicação em 05/2000)

Abstract - The Cassino beach morphodynamic oscillates between the dissipative and intermediate states, accumulating sediments in the primary dunes and in long shore bars of combat to South Atlantic Western coastal storms. Approximately five years (1991-1996) of daily littoral environmental observations of wind, waves, long shore currents and beach width allied to coastlines transverse topographical profiles promoted a qualitative methodology which determined the physical agent's regime and its influences in the sedimentary beach stock and morphodynamic states. Three main incidence angles, South, Southeast (perpendicular to the coastline) and East were characterised in relation to the following factors: wave regime, omega parameter ($W = H_b/T_p.W_s$) and the mean sea level oscillations. The meteorological tides (storm surges) condition the destruction of the close bars to the beach face and occasionally the frontal dunes. These high wave energy events (hangover) are frequent for the South quadrant (12% a year). The Southeast quadrant (42% occurrences) presents conditions of swell which determine times of dynamic balance of the morphology. These conditions facilitate the development of an intermediary state with long shore bars troughs, smaller variations in the sedimentary stock but significant alterations in the bars form. The East quadrant (46% a year) constantly governed by moderate winds and local waves with rare events of swell favours the enlargement to the backshore and coalition of the first bar with the beach face, typical intermediary state of beach in construction. The constructive intermediary state facilitates the largest beach sedimentary variation volume as it becomes more susceptible to strong storms (autumn storms). The dissipative state presents smaller mobility trough the soft slope, leaving the concave beach face, concentrating the storm effect in the surf zone and frontal dunes. We characterised periods of constructive and destructive beach profiles, where the omega parameter evidenced oscillations among the dissipative modal state, of larger frequency in the autumn and winter, and secondary intermediate states in the spring and summer.

Keywords - morphodynamic, South Atlantic Western Coast, monitoring beach profiles

INTRODUÇÃO

A linha de costa do Rio Grande do Sul configura-se em extensas praias arenosas expostas a zona de tempestades do cinturão depressivo do Atlântico Sul. As tempestades próximas da costa provocam marés meteorológicas que alteram brusca-mente o regime energético das ondas e a morfologia das praias (Calliari *et al.*, 1998).

A interação entre a energia proveniente dos ventos, ondas e correntes litorâneas com o material formador das praias determinam as características morfodinâmicas de um sistema praias (Wright & Short, 1984). Um novo perfil é formado à cada condição reinante, através da constante acomodação da morfologia, condições as quais definem um "equilíbrio dinâmico" (Bascom, 1951; Moore, 1982; Wright *et al.*, 1985).

O regime das ondas é o maior responsável pelas variações temporais da zona de arrebentação, enquanto que as variações espaciais são consequência

da interação das ondas com a topografia e com o tipo de sedimento. Fatores como a exposição e orientação da linha de costa ampliam ou minimizam, a ação dos agentes físicos (Sonu, 1973; Sunamura, 1984).

Como demonstrado por Wright *et al.* (1985), o estado morfodinâmico presente é um reflexo do estado antecessor e do regime energético do ambiente. As praias compostas por areia fina, como o caso do Balneário do Cassino, desenvolvem o estado dissipativo após eventos de alta energia, onde as barras assumem uma declividade suave devido a maior susceptibilidade desta granulometria ao retrabalhamento. São as barras e secundariamente as dunas embrionárias e frontais, as principais reservas de sedimentos que contribuem para a manutenção dos perfis dissipativos sob regime de fortes tempestades (Wright *et al.*, 1982).

A linha de costa entre Rio Grande e Chuí apresenta características morfodinâmicas que variam de estados modais dissipativo-intermediários a intermediário-reflectivos, pela orientação aos agentes

físicos e por diferenças nas características granulométricas dos sistemas praias (Calliari & Klein, 1993; 1995).

No que diz respeito as barras submersas, poucos trabalhos conseguiram descrever totalmente a morfologia subaquosa das praias do Rio Grande do Sul ao ponto de determinar seu número e distribuição. Os estudos sobre o litoral gaúcho realizados por Alvarez *et al.* (1981, 1983), Toldo Jr. *et al.* (1993), Calliari & Klein (1993, 1995), entre outros, conseguiram até o momento comparar as características morfodinâmicas entre os sistemas de praias, as diferenças de composição e orientação, mas se limitando a variações de volume subaéreo do perfil praias.

O presente trabalho teve como objetivos avaliar o regime dos agentes físicos sob o método empírico da observação visual, aliando a classificação morfodinâmica proposta por Wright & Short (1984) para praias arenosas, com as variações topográficas no estoque sedimentar decorrentes das tempestades extratropicais do Atlântico Sul.

ÁREA DE ESTUDO

A praia do Cassino no Rio Grande do Sul, situa-se ao sul da desembocadura da Laguna dos Patos, a partir da qual se desenvolve uma extensa barreira arenosa com 220 Km de extensão, limitada ao sul pelo Arroio Chuí. A área de monitoramento visual diário compreende a porção sul da barra, o Balneário do Cassino, na latitude $32^{\circ} 14' S$ e longitude $52^{\circ} 10' W$ e eixo normal no sentido Sudeste (Fig. 1).

O estado morfodinâmico destas praias tem como principais características uma plataforma larga com declividade suave (1° - 2°), múltiplas barras paralelas à uma ampla zona de arrebentação e a dunas frontais bem desenvolvidas, sendo classificada preliminarmente como dissipativas por Calliari & Klein (1993; 1995). A geomorfologia da barreira atual apresenta dunas com aproximadamente 400 m de largura e 3 m de altura, frente uma vasta sequência de cordões litorâneos regressivos de menor elevação, representando o estoque sedimentar

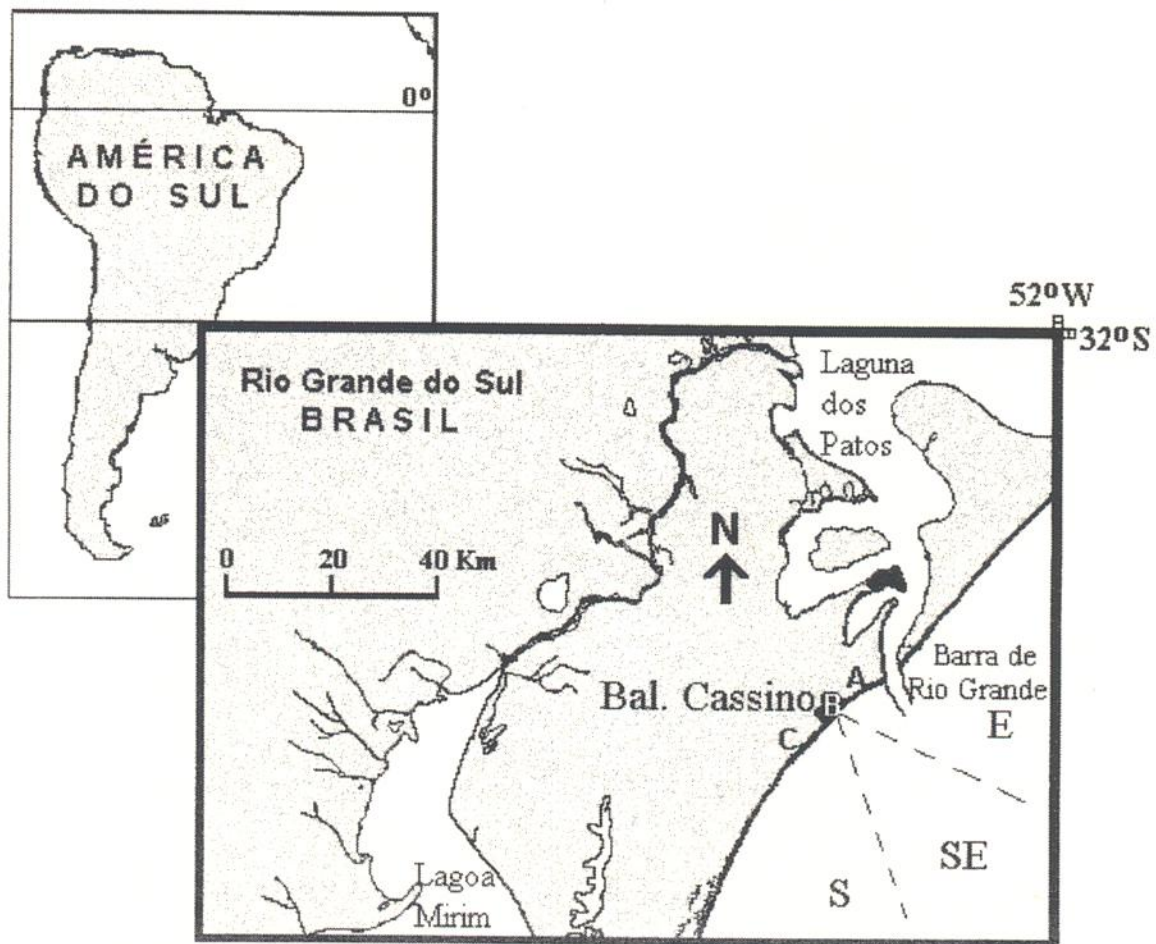


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, com os pontos de monitoramento: A) Terminal turístico, B) Rua Bahia e C) Querência.

acumulado durante o Holoceno (Tomazelli, 1990; Seeliger, 1992; Villwock, 1984; Tomazelli & Villwock, 1992).

A composição textural da praia é representada por uma areia fina quartzosa bem selecionada de alta maturidade com moda de 2.88 phi., a qual nas estações quentes migra no largo pós-praia de baixa declividade formando as dunas embrionárias.

Segundo a classificação de Davies (1980), a região apresenta regime de micromarés, sendo uma costa tipicamente dominada por ondas. A baixa influência de marés astronômicas é compensada pela alta influência de marés meteorológicas, elevações rápidas no nível do mar da ordem de 1,0 a 2,0 m, que provocam grandes alterações na morfologia das praias (Calliari *et al.*, 1998).

As tábuas de marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) revelam marés astronômicas médias de 0,40 m, sendo as máximas de amplitude de até 0,80 m, estimadas para o outono e primavera. Nestas estações denominadas de equinociais, podemos registrar as maiores variações do nível médio do mar pela coincidência com marés meteorológicas (Dolan & Davis, 1992; Calliari *et al.*, *op. cit.*).

Segundo Motta (1963; 1969), as ondas de maior energia e menor esbeltez (ondulações) provêm de SE e em menor frequência de S, enquanto as de menor energia e maior esbeltez (vagas) são predominantes de E e NE; o período significativo mais freqüente é 9 segundos, sendo registrados períodos superiores a 12 segundos durante os eventos de tempestades, mas raramente superiores à 15 segundos; a altura significativa mais freqüente, para profundidades entre 15 e 20 m, é de 1,5 m, máxima prevista anual é de 3,5 m e máxima extraordinária para um período de 30 anos de aprox. 7 m; as tempestades que ocorrem com maior frequência no período de outono e inverno, são constituídas por ondulações, não sendo geradas por ventos locais (vagas); calmarias, ausência de vagas e ondulações são muito raras caracterizando uma costa exposta ao domínio das ondas.

Dados históricos e altimétricos (Topex/Poseidon) das alturas de ondas ao largo da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul analisados por Coli (1994), mostram que as alturas são maiores no inverno do que no verão, com os meses de outono e primavera apresentando um padrão transicional. As direções nordeste, leste e sudeste possuem maior ocorrência na primavera e verão; e as ondas de norte, oeste e sudoeste se magnificam no

outono e inverno; enquanto que as direções sul e noroeste não variam em ocorrência ao longo do ano. Para uma análise anual, os valores mais expressivos de altura média (> 1 m) são para a direção sudoeste e, secundariamente, para o sul, oeste e norte.

Calliari *et al.* (1998) apresentam resultados morfodinâmicos visuais aliados a perfis topográficos, para determinar a influência de marés meteorológicas (“storms surge”) sobre o estoque sedimentar das praias entre Rio Grande e Chuí. Efeito que pode ser observado ao longo de quase todo o litoral gaúcho devido à grande continuidade geomorfológica dos sistemas praias.

CLIMATOLOGIA

O regime de ventos e massas de ar estão vinculados as altas pressões tropicais e polares, representadas pelo Anticiclone Tropical semi-fixo do Atlântico Sul (ATAS) e Anticiclone Polar Migratório (APM) (Fonzar, 1994). A alternância entre estes dois sistemas favorece a predominância de ventos do quadrante NE nos meses de setembro à março e, de abril à agosto, a influência dos ventos de SW (Godolphim, 1976; Nobre *et al.*, 1986).

Os Sistemas Frontais (SFs) são as perturbações atmosféricas de maior importância para o clima do Sul do Brasil e para a geração de tempestades oceânicas. Originários de ondas baroclínicas de latitudes médias, com escala espacial de 3000 km, estão imersos nos ventos de oeste; geralmente após cruzarem os Andes propagando-se de sudoeste para nordeste ao longo da costa leste da América do Sul, onde chegam a atingir latitudes tropicais (Nobre *et al.*, 1986).

A distribuição anual e número de SFs que atingem a América do Sul entre 35° e 25°S é em média de 6 à 6,5 por mês, com aumento na frequência para o inverno e diminuição para o verão. Contudo, aqueles sistemas que se organizam da convecção tropical têm maior frequência no verão e meia estação, do que no inverno (Nobre *op. cit.*, 1986).

Na Região Sul do Brasil, as tempestades oceânicas são o resultado de movimentos ciclônicos de escala sinótica ou sub-sinótica, que atuam nas proximidades, ou mesmo afastados da zona costeira. O poder de erosão está relacionado com a duração, intensidade e localização da pista de geração da tempestade, enquanto que o dano costeiro relaciona-se com exposição, orientação e as características sedimentares dos sistemas praias (Calliari *et al.*, 1998; Tozzi, 1999).

No Atlântico Sul, Gan (1992) encontrou um padrão zonal para ciclogênese de sistemas frontais, que ocorrem aproximadamente à 33° lat. no inverno e à 60° lat. no verão, determinada pela migração de altas polares (APM) sobre o continente sul-americano e ciclones no oceano. Esta suposta sazonalidade no padrão zonal de ciclogênese deve influenciar a distribuição das tempestades oceânicas e a erosão costeira.

METODOLOGIA

O monitoramento diário praias foi efetuado no ponto denominado Rua Bahia durante aproximadamente cinco anos, de 1º de maio de 1991 até 18 de setembro de 1995, com frequência anual em torno de 60%, para um total de 1022 dias observados.

Utilizamos o método de observação visual diária de ondas, ventos e correntes, desenvolvido durante o programa da COPPE/UFRJ conhecido como Projeto "Sentinelas do Mar" (Melo F^o, 1991; 1993), aprimorando a escala métrica visual da altura significativa (H_s) na zona de arrebentação e o período de pico (T_p) das ondas cronometrado (relógio digital) em segundos. A direção das ondas, ventos e correntes foram estimadas visualmente.

O método de observação visual, difundido como "Littoral Environment Observation" ("LEO", Schneider & Weggel, 1982; Sherlock & Szuwalski, 1987; Smith & Wagner, 1991), pode apresentar erros de super e subestimação respectivamente do período e da altura das ondas, como demonstrado por Plant & Griggs (1992), mesmo assim, é considerado importante fonte de informação para suprir qualitativamente trabalhos na zona costeira.

Melo F^o (1991) conhecendo os problemas costeiros decorrentes da falta de monitoramento de ondas na costa brasileira, desenvolveu o projeto "Sentinelas do Mar" afim de introduzir um método de baixo custo e grande operacionalidade na comunidade envolvida com o ambiente costeiro. Assim, adaptamos medições consecutivas do parâmetro *ômega* e da largura diária do pós-praia e estirâncio, esta última por "passo aferido", para compor o método de observação visual da morfodinâmica praias.

As ondas foram analisadas em três principais ângulos de incidência, discriminados em quadrante Sul, Sudeste e Leste, com base na orientação da linha de costa, a fim de observar, mesmo que de forma empírica, a ação das ondas sobre o estado morfodinâmico e nas alterações do estoque sedimentar decorrentes.

As tempestades oceânicas responsáveis pelo regime de ondas e alterações na morfologia, foram monitoradas através de cartas sinópticas (DHN) e imagens de satélites (GOES, METEOSAT) procurando interpretar a zona de geração (direção, tamanho, intensidade e duração) e os efeitos sobre a praia. Dados meteorológicos locais obtidos na Estação Meteorológica da FURG, como a intensidade e direção do vento, pressão atmosférica de superfície, serviram para complementar a análise da sobrelevação do nível médio do mar, como também para discriminar ondas curtas geradas localmente (vagas).

A técnica de "Stadia" aprimorada por Birkmeier (1981), juntamente com o armazenamento dos dados no programa computacional ISRP (Interactive Survey Research Program - Birkmeier, 1985), são as ferramentas necessárias para os levantamentos topográficos praias. Os pontos denominados como Terminal Turístico (A ≈ 30 perfis), Rua Bahia (B ≈ 50 perfis) e Querência (C ≈ 25 perfis) (Fig. 1) estão fixados por marcos de concreto como níveis de referência (datum) para levantamentos topográficos sequenciais da morfologia da praia e seu estoque subaéreo de areia.

Com uma frequência semanal no outono de 1995 no perfil B, pode-se determinar a constante influência das tempestades sobre os estados morfodinâmicos propostos por Wright & Short (1984). Estes autores se basearam no parâmetro adimensional *ômega* ($\Omega = H_b/T_p.W_s$), aprimorado à partir de Dean (1973), para classificar os estados morfodinâmicos das praias australianas, vistos basicamente como: - dissipativo acima de 6, intermediários (quatro estados) entre 2 e 6, e reflectivo menor que 2. A razão entre a média de 1/3 das maiores alturas das ondas (altura significativa em metros = H_s), pelo produto do período de pico das 1/3 maiores ondas (em segundos, T_p) com a velocidade de sedimentação modal da praia (metros/segundos, W_s).

A granulometria modal da praia do Cassino utilizada para o cálculo do parâmetro *ômega* é de 2.88 phi (A/B) e 2.5 phi (C), o que corresponde a velocidades de sedimentação (W_s) de 1.25 cm/s e 1.81 cm/s respectivamente (Baba & Komar, 1981). Apenas o período de pico foi utilizado para o cálculo do *ômega*, desconsiderando-se os períodos curtos, típicos de ressacas, que elevariam ainda os valores de *ômega* destes eventos.

Utilizou-se os parâmetros morfométricos y_b , V_v , CV compilados de Wright & Short (1984) para caracterizar as condições morfodinâmicas, a mobilidade

sedimentar e a susceptibilidade à erosão das praias. A razão entre o desvio padrão das variações temporais da largura da linha de praia (índice de mobilidade da praia = syb) e a largura média de praia (yb) determina o coeficiente de variação (CV%) da linha de praia, que representa em porcentagem a susceptibilidade dos depósitos sedimentares próxima ao nível médio do mar.

A variação da largura de praia (yb) foi estimada a partir dos perfis topográficos, enquanto que a sobrelevação do nível médio do mar foi estimada a partir da cota altimétrica alcançada pelo máximo espraimento das ondas. Os dados de sobrelevação, embora sejam representativos não apenas da maré meteorológica mas também, da maré astronômica, foram utilizados para medir o nível atingido pelo mar durante os eventos de tempestades, referenciado ao datum do ponto de observação no Balneário do Cassino.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observações visuais

No domínio das vagas, o quadrante Leste é compreendido pelos constantes ventos de NE, de moderados à fracos, já mencionado por diversos autores: Motta, 1963; Godolphim, 1972; Villwock, 1984; Tomazelli & Villwock, 1992; Toldo Jr *et al.*, 1993, Calliari e Klein, 1993. As características médias deste quadrante são ondas com período de pico curto, \approx 9s, altura significativa de 0,5 m, ω abaixo de 6 e ampla largura da praia (Fig. 2). Na continuidade das condições de leste, podemos observar feições morfológicas secundárias de estados intermediários construtivos, como a feição de crista e canal ("ridge and runnel", Wright & Short, 1984; Short & Aagaard, 1993), aspectos relacionados com a baixa hidrodinâmica e com a ampla largura de praia, as quais favorecerem a escavação do perfil por correntes de deriva litorânea.

Para as condições médias de Sudeste, apresentam-se ondulações (swell) com menor influência de vagas, seja pela zona de geração estar mais afastada da costa, ou pela menor influência de vagas e ventos locais, como também observado por Motta (1963; 1969). A baixa esbeltez das ondas caracteriza o domínio de períodos longos diretamente relacionados à energia da zona de geração, variando entre 11 e 15 segundos, registrando eventos acima de 16 segundos em raras ocasiões. A altura significativa mais comum é de 1,25 m, contudo extraordinariamente são

observados eventos da ordem de 2,5 à 3,0 m; a média do parâmetro ω é maior/igual a seis ($\omega \geq 6$) e a largura intermediária para o pós praia.

A moderada energia hidrodinâmica de sudeste, seja por menor influência de vagas, ventos e/ou correntes, possibilita a morfologia praial adaptar-se melhor as condições impostas por este regime, correspondendo a um equilíbrio dinâmico favorável a formação de barras paralelas a linha de costa e rompente do tipo mergulhante ("plunging"). No entanto, como estas condições dependem muito das proximidades da zona de geração, há eventos que se assemelham aos de Sul provocando marés meteorológicas extraordinárias e diminuição na largura de praia.

As condições de Sul apresentam em média ondas de menor esbeltez, com ondulações de período de pico próximo de 12 segundos e altura significativa de 2,0 m. (Fig. 2). Geralmente, apresentam forte turbulência (pop. Brasil: "ressaca") associada a mistura de vagas ("sea"), ondas geradas por influência de ventos locais) em ampla zona de arrebentação do tipo deslizante ("spiling"). Associam-se também, com as maiores sobrelevações do nível médio do mar, as denominadas marés meteorológicas, ou marés de tempestade ("storm surge"), que conseqüentemente, determinam os baixos valores de largura do pós-praia

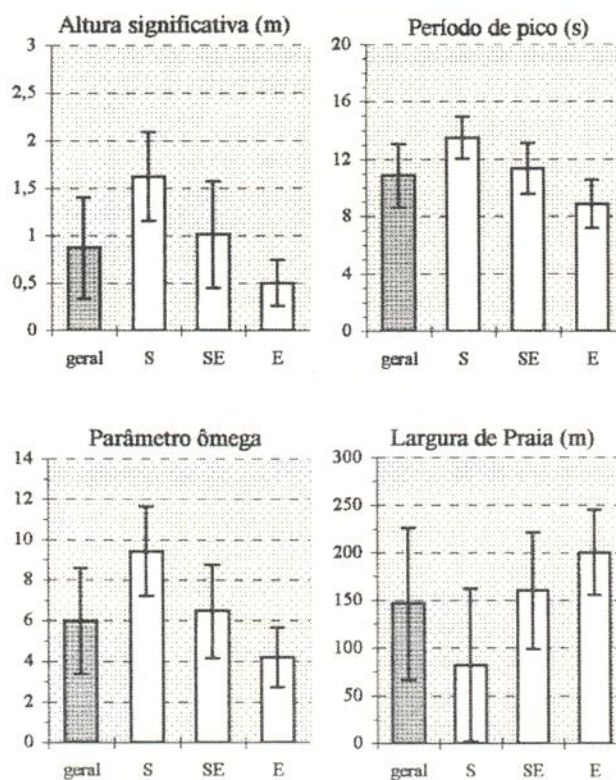


Figura 2 - Médias e desvios padrões dos parâmetros morfodinâmicos diários.

e alto valores de ω . Nestes eventos, o brusco gradiente de pressão atmosférica de superfície próximo à costa, assim como fortes ventos de S/SW, empilham água sobre a zona costeira.

Para relacionar os efeitos das fortes tempestades com relação aos quadrantes de incidência, propôs-se ainda, a discriminação da direção correspondente ao dia seguinte à queda de pressão atmosférica, denominado de **pós tempestade**. Assim, se o regime hidrodinâmico geral para 5 anos de observações evidencia o predomínio dos quadrantes Sudeste (42%) e Leste (46%) sobre o quadrante Sul (12%), na direção de incidência pós tempestade se verifica a importância das condições de Sudeste (48,8%) e de Sul (37,4%) (Fig. 3).

A sazonalidade observada na direção de incidência pós tempestade expõe a influência do quadrante sul no outono (48,7%) e inverno (47%), onde diminui o percentual de Leste. O quadrante Sudeste mantém-se sempre influente, entre 40 e 60%, enquanto que o Leste tem importância apenas no verão (30,4%), quando também apresenta predomínio na direção geral (57,4%).

Os ventos demonstram correlação direta com a geração de ondas, visto que os ventos fracos e

moderados ocorrem com maior frequência para os quadrantes Norte e o Leste, enquanto que os ventos mais fortes são de Oeste e Sul. Desta forma as vagas geradas pelos constantes ventos de NE contrapõe-se às ressacas e ondulações, evidência que contribui para avaliar ciclos de construção/destruição.

Quanto às características sazonais e anuais das correntes de deriva litorânea, há correlação direta com frequência de incidência e intensidade dos eventos de Sul e Leste. Portanto, correntes fracas e constantes para SW são geralmente observadas nas estações de primavera/verão, sendo fortes devido à intensidade do vento NE local, enquanto que, as correntes para NE são, obviamente, associadas ao outono/inverno, concordando com a distribuição anual e sazonal dos eventos de sul (Fig. 4).

Para os cinco anos de observações diárias, as condições médias dos parâmetros das ondas e do ω corroboram com as direções de incidência, geral e sazonal, evidenciando um aumento destes parâmetros nas estações de outono e inverno, onde os quadrantes Sul e Sudeste são mais frequentes, e diminuição nas estações de primavera onde predominam o Leste e o Sudeste e verão. Desta forma, as marés meteorológicas registradas nas estações

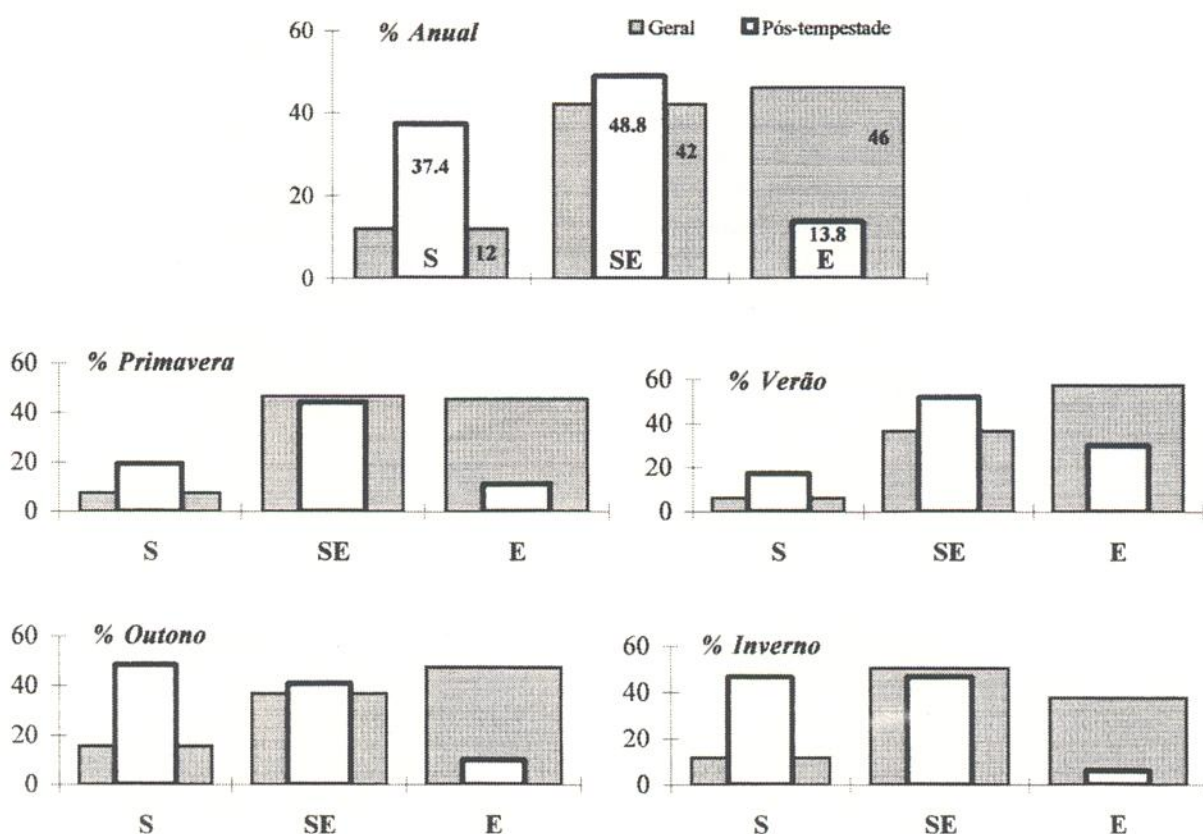


Figura 3 - Percentual comparativo geral e pós tempestade dos quadrantes de incidência Sul, Sudeste e Leste

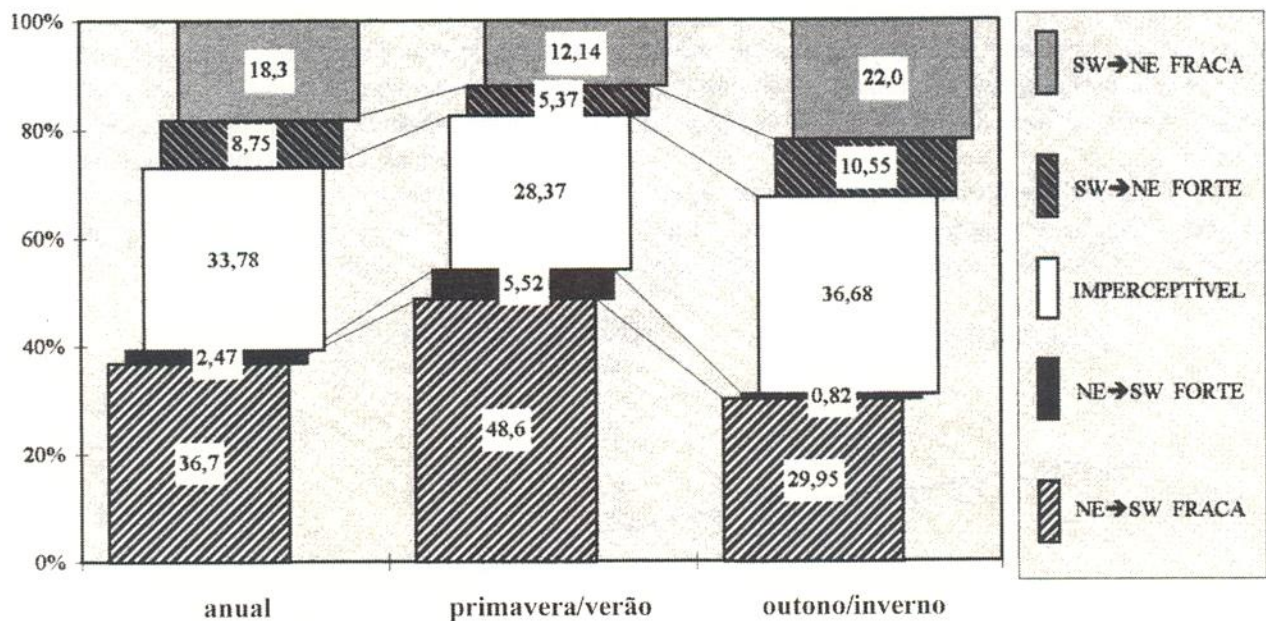


Figura 4 - Gráfico percentual da direção da corrente de deriva litorânea no balneário do Cassino.

frias tornam-se o principal enfoque da discussão sobre as alterações na morfodinâmica da praia, visto que ultrapassam no geral as condições médias das ondas.

O estado modal dissipativo apresenta em média ω próximo de 6, determinado por ondas com altura significativa de 0,9 m, período de pico entre 10 e 11s. Para uma costa dominada por ondas, as condições que manteriam a praia do Cassino em equilíbrio dinâmico estariam entre os limites estimados em $9 > \Omega < 3$, à partir dos quais passariam a atuar as condições destrutivas e construtivas, respectivamente.

Pode-se avaliar as condições destrutivas e construtivas pela distribuição média sazonal dos parâmetros das ondas e ω (médias e desvios), onde se observa, que nas estações frias (outono e inverno) há uma propensão para condições destrutivas pelo aumento dos parâmetros, bem como nas estações quentes (primavera e verão) há uma diminuição dos mesmos favorecendo as condições construtivas (Fig. 5).

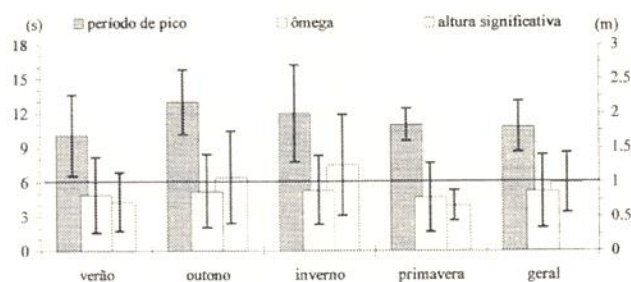


Figura 5 - Médias sazonais e gerais (1991-1995) e os desvios padrão dos parâmetros das ondas e do ω no balneário do Cassino.

Morfodinâmica praial

Os três pontos com levantamento topográfico, Terminal (A), Rua Bahia (B) e Querência (C) (Fig. 1), demonstraram poucas diferenças em relação ao estado morfodinâmico modal dissipativo intermediário "barra e cava ao longo da costa", anteriormente descrito por Calliari & Klein (1993).

O estado modal do Balneário do Cassino caracteriza-se pelo estoque de sedimentos distribuídos horizontalmente em barras, berma e dunas, conforme demonstram os perfis médios (Fig. 6 A/B/C). As máximas variações de volume vertical representam as porções de maior mobilidade, primeiramente as barras e a face da praia, e secundariamente as dunas embrionárias e frontais. Estas feições morfológicas acumulam sedimentos em épocas de menor energia hidrodinâmica (primavera e verão) e são destruídas durante os eventos de maior energia hidrodinâmica, como as marés meteorológicas.

Observa-se na figura 6 que: - o perfil A apresenta menor declividade e tem feições mais alongadas distribuindo sedimentos ao longo do montante, com variações do volume vertical menores que 0,6 m; - o perfil C mais afastado da influência dos guias-correntes, tem significativas variações verticais acima de 0,6 m nas dunas, barras e estirâncio, representando características de estados morfodinâmicos intermediários, com aumento na mobilidade das feições sedimentares que alteram o estado modal dissipativo para estados intermediários; - o perfil Bahia (B)

representa as condições intermediárias entre os demais perfis, com feições sedimentares de maior declividade e significativas variações verticais nas dunas e barras, da ordem de 1,2 m, mas menores no estirâncio.

Com valores de ω próximos de 6, pequenas variações no volume sedimentar ($V.v \approx 5 \text{ m}^3/\text{m}$, $sV.v \approx 3 \text{ m}^3/\text{m}$) determinam baixa mobilidade

($CV \approx 4.0$) para os três perfis. O significativo aumento na largura do pós praia (y_b , sy_b) próximo a barra evidencia a influência dos guias-correntes no aporte sedimentar da deriva litorânea, onde as pequenas diferenças entre os parâmetros morfológicos relacionam-se com a exposição e orientação aos agentes físicos e pela evolução do estado dissipativo ao intermediário (Tab. 1).

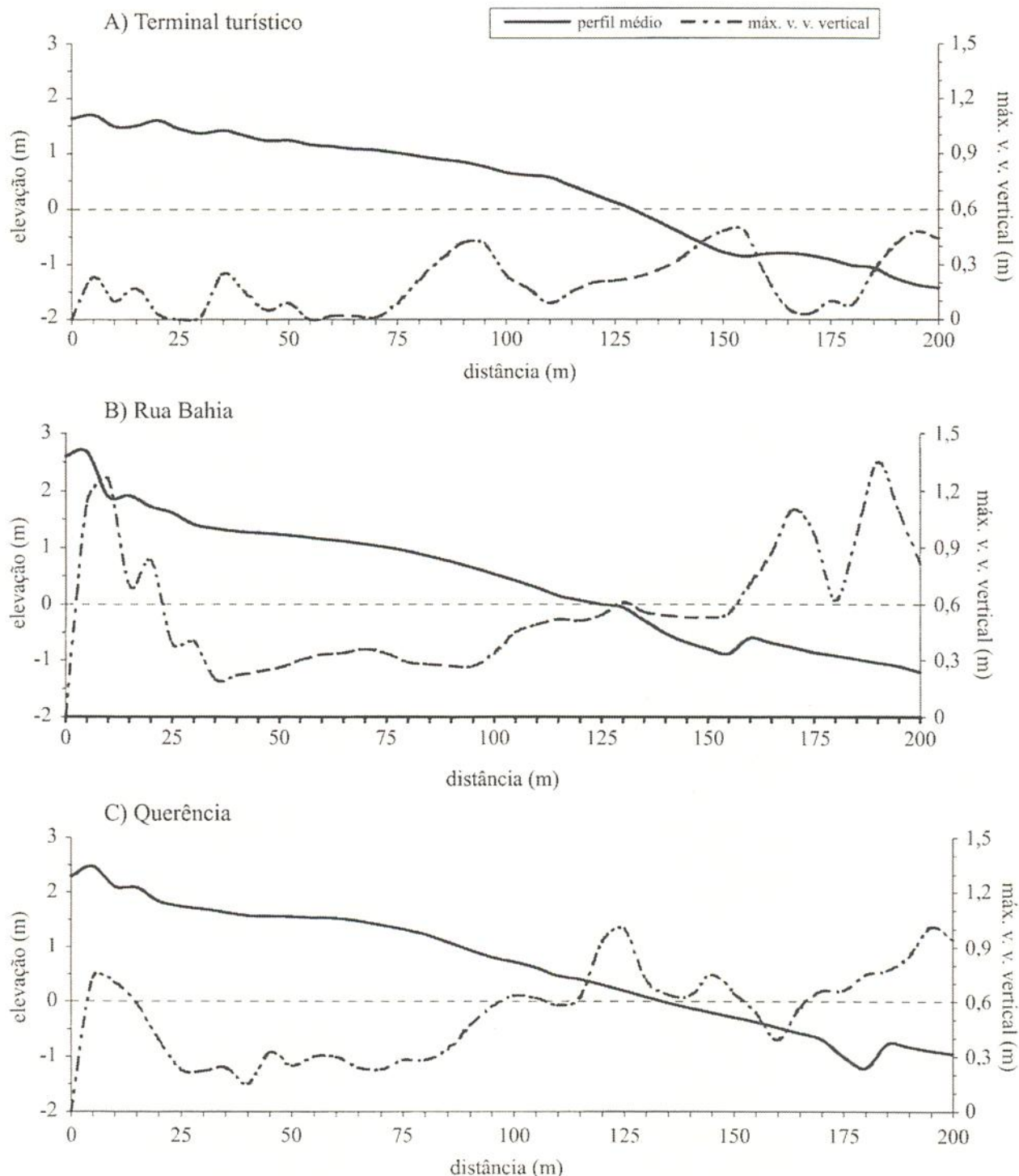


Figura 6 - Perfis de praia médios e as máximas variações de volume vertical em A, B e C. Observa-se que a variação de volume na face da praia cresce de A para C.

Short & Hesp (1982), descreveram a mobilidade do perfil (CV, %) em função da variação de largura do pós-praia (yb) e do volume de sedimentos do perfil (V.v., m³/m), para avaliar o equilíbrio dinâmico entre os estados de praia. Verificaram que os estados intermediários, $\Omega < 6$, apresentam maior susceptibilidade, devido a alta mobilidade nas feições sedimentares proximais, isto é, a primeira barra e o estirâncio apresentam grandes variações de volume horizontal e vertical no montante do perfil. Esta constatação também fora mencionada por Short & Aagaard (1994) ao analisar as variações morfo-métricas de praias compostas de várias barras.

No caso de praias dissipativas, a permanência nas condições intermediárias leva à construção de feições muito superiores ao perfil modal, aumentando a susceptibilidade a ação das tempestades, o que permite registrar drásticas variações de volume sedimentar nas tempestades de outono.

Se as condições de Sul geralmente resultam em maior energia promovendo um estado dissipativo, $\Omega > 6$, seu predomínio acarretará em déficit de sedimentos pela erosão de barras, dunas embrionárias e frontais, levando a um perfil destrutivo extremamente dissipativo, então as variações de volume relacionam-se também, com a frequência e energia da componente Sul.

No entanto, para condições de Sudeste podemos avaliar dois estados distintos, onde normalmente, as condições antecessoras e o regime hidrodinâmico condicionaram o estado morfodinâmico resultante. Perfis dissipativos, com $\Omega > 6$, associam-se à evolução de tempestades de Sul/Sudeste, como os fortes ciclones extratropicais do meio do Atlântico Sul. Enquanto que os perfis intermediários, $\Omega \leq 6$, em média mais característicos para este quadrante nas estações quentes, resultam da menor influência de Sul e, conseqüentemente, maior domínio de ondulações longínquas de Sudeste.

O estado intermediário acrescido, $\Omega \ll 6$, no qual ocorre formação de feições intermediárias secundárias, como a berma, ou o estirâncio em crista

e canal ("ridge and runnel"), se observa principalmente no verão com o regime de Leste/Sudeste. As feições morfológicas gordas, das dunas, estirâncio e das barras são o reflexo do predomínio dos fracas constantes ventos de NE sob domínio da Alta Pressão Tropical, que gera ondas locais, vagas, e fracas correntes de deriva litorânea para SW, proporcionando o desenvolvimento de largo perfil subaéreo exposto ao vento.

Os perfis de primavera e verão, geralmente são largos, secos e acrescionários, formados por barras, cavas, berma de verão e dunas embrionárias, distinguindo do perfil de outono e inverno, côncavo de suave declividade, com terraço superior de tempestade e barra subaquosa externa, distal (Fig. 7).

O fato de haver uma continuidade temporal nos dados morfodinâmicos pode determinar um valor médio ($\Omega \cong 6$) e do desvio padrão ($9 \geq \Omega \geq 3$) do parâmetro ômega local, a partir dos quais classificam-se os eventos destruição e construção da morfologia em função da duração e energia do regime de ondas.

Durante o outono de 1995, os valores diários de ômega (Fig. 8) aliados a dados de variação da linha de costa e volume sedimentar (Fig. 9), caracterizaram o impacto das tempestades de Sul/Sudeste. Os eventos de tempestades avaliados pela variação média de volume (Tab. 1) apresentaram V.v. maiores que 5 m³/m, enquanto a duração e energia estes eventos mantiveram valores de ômega acima de 9.

O perfil Rua Bahia apresentou variações de volume sedimentar da ordem de 5 m³/m, e três eventos de maior energia e duração com valores próximos de 10 m³/m, onde a redução morfológica da linha de costa esteve acima de 10 m. Os eventos de 12/04, 21/04 e 18/05, causaram as maiores alterações na morfologia, erosão das barras, estirâncio e dunas embrionárias, onde a baixa mobilidade do estado dissipativo resultante permitiu a manutenção do perfil praiar. Um terraço das tempestades formou-se no pós praia como rampa de desaceleração ao máximo espraçamento, fato que coincide com o limite médio de largura do pós praia para condições de sul.

Tabela 1 - Dados morfodinâmicos do balneário do Cassino.

Parâmetros Localidade	Hb (m)	Tp (s)	Mz (phi)	Ws (cm/s)	incl. face	W	yb (m)	syb (m)	CV %	V.v (m ³ /m)	sV.v (m ³ /m)
T. Turístico (A)	1.25	11	2.88	1.25	1°-2°	7.0	183	51	3.0	5.0	3.0
R. Bahia (B)	0.9	11	2.88	1.25	1°-2°	6.0	146	58	4.0	5.0	3.0
Querência (C)	0.8	11	2.5	1.81	1°-3°	5.0	134	40	5.0	4.0	3.0

Hb = altura significativa média; Tp = período de pico; Mz = grão médio; Ws = velocidade de sedimentação; incl. face = declividade da face da praia; Ω = ômega; yb = largura média do pós-praia e variância; CV = mobilidade; V.v. = variação de volume do perfil e variância.

O parâmetro ω demonstra boa relação com as tempestades, seja por que os elevados valores de ω foram observados para os eventos de maior energia em 12/04, 19/04 e 18/05, onde obtemos maiores variações no volume sedimentar, o que demonstra parâmetro ω direto de campo pode indicar os eventos com maior poder de erosão, se estudarmos previamente o comportamento morfodinâmico da praia.

A análise das cartas sinópticas localizou os centros de baixa pressão próximos da costa responsáveis pela maiores variações de volume sedimentar. Pode-se interpretar que as condições de Sul apresentam zona de geração relativamente próxima da costa, enquanto que para o quadrante Sudeste a zona de geração situa-se mais distante. No entanto, nos eventos do outono de 1995, como na maioria dos eventos fortes verificados para o quadrante Sul, o quadrante Sudeste esteve presente secundariamente quando o centro de pressão se afastava para o meio do Atlântico Sul (Fig. 10).

Como demonstrado por Gan (1992), as tempestades tem uma distribuição zonal em aproxima-

damente 42°S no inverno, diminuindo a influência durante as meias estações, chegando no verão a estar, com algumas exceções, localizada próxima de 60°S. Desta forma, aliando as cartas sinópticas aos dados hidrodinâmicos da costa gaúcha, consideramos que outono e inverno corresponderiam a influência dos eventos próximos de Sul; o domínio de Sudeste nas meias estações, com componente Sul no outono/ inverno e componente Leste na primavera/ verão; e durante o verão, o domínio de Sudeste e Leste com raros eventos de Sul.

CONCLUSÕES

Quanto as características do regime de ondas, obtivemos as seguintes conclusões:

O período pico médio (significativo) está entre 10 e 11 segundos e a altura significativa média em 1 m; - as tempestades de maior energia apresentam alturas significativas em torno de 1,5 m, podendo chegar a 2,5-3,0 m extraordinariamente, com período de pico em torno de 11-14 segundos; - período significativo acima de 15 segundos onde a altura

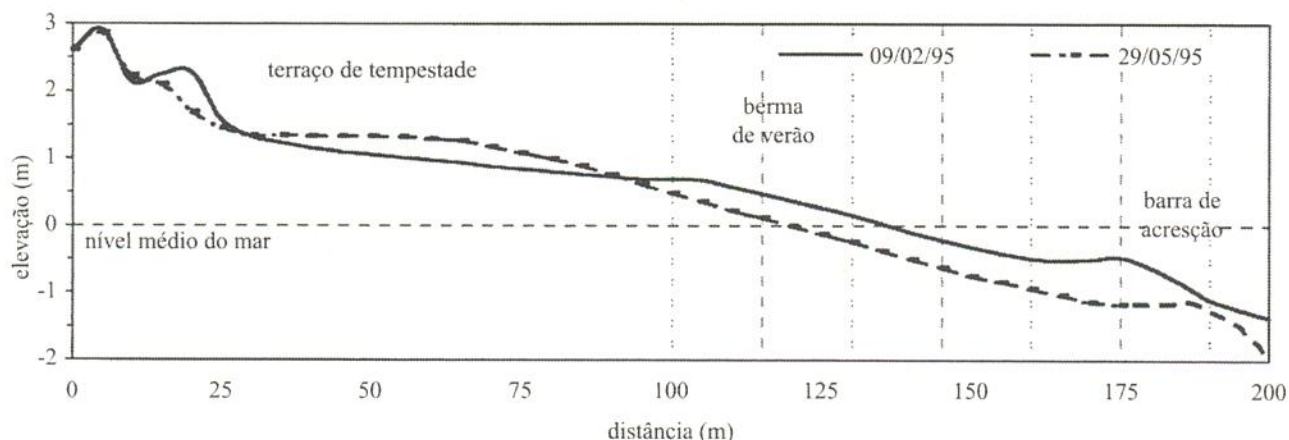


Figura 7 - Perfil Rua Bahia com distinção entre as condições de verão e de outono, em 1995.

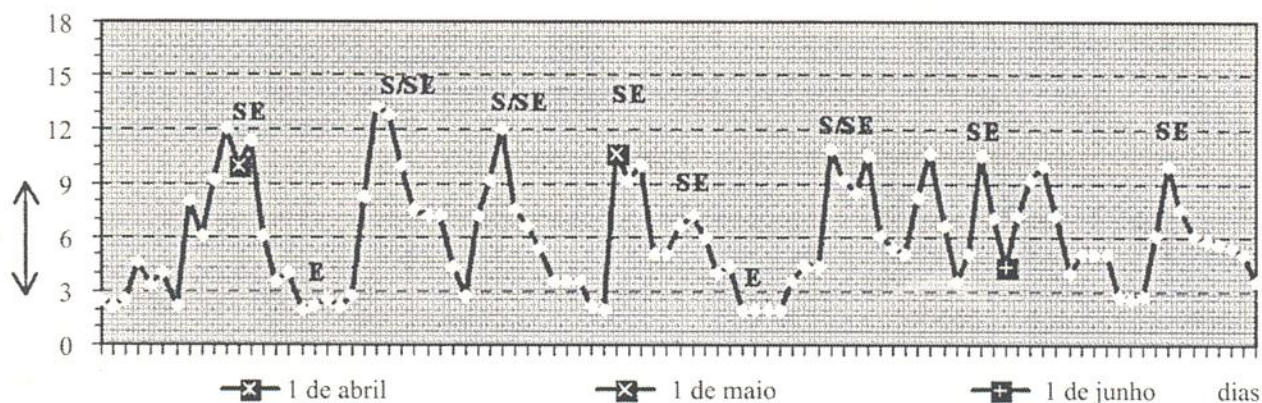


Figura 8 - Valores diários de ω durante o outono de 1995, com os quadrantes de incidência assinalados; a linha branca marca o valor médio $\Omega = 6$ e a seta indica os limites teóricos ($9 \geq \Omega \geq 3$) entre os estados destrutivos e construtivos.

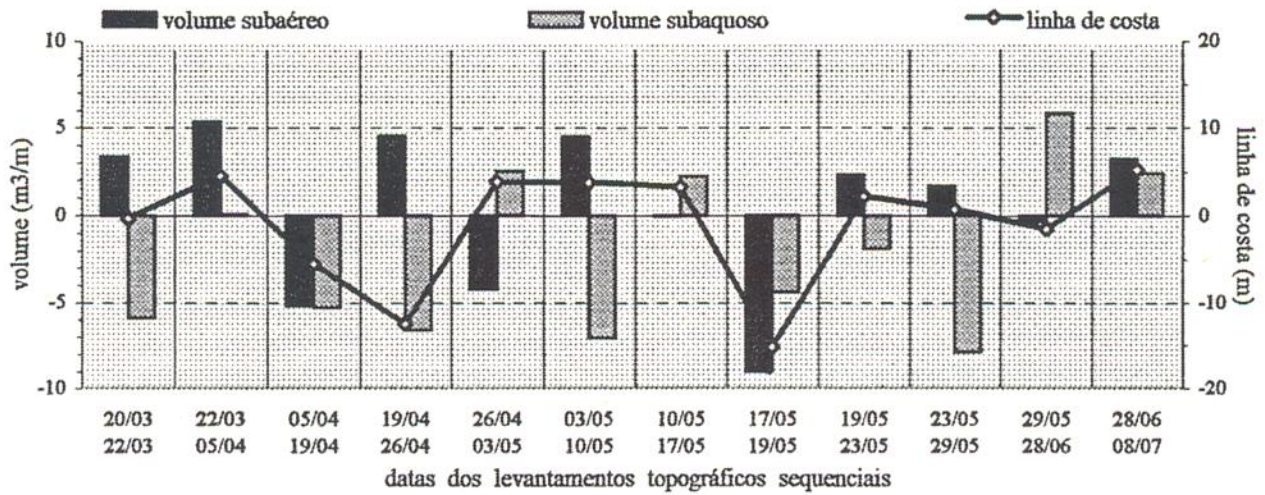


Figura 9 - Variações na linha de costa, no volume subaéreo e subaquoso no outono de 1995.

significativa alcança de 1,5 à 3 m, foi poucas vezes observado, geralmente em ondulações longínquas e tempestades oceânicas extraordinárias, sendo observados preferencialmente em condições de Sudeste; - as “ressacas” de Sul ocorrem em maior frequência nos meses de outono e inverno, mas no verão e primavera pode ser observado um evento forte por mês; - as condições de Leste são geralmente regidas por vagas (curto período) e pequena altura, 0,5-0,25 m, contudo, foram observados eventos extraordinários de tempestades, geradas na região Sudeste do Brasil, e que ocorreram nos meses de primavera, verão e início do outono; - o quadrante Sudeste possui o regime mais representativo para a costa do Rio Grande do Sul, como também salientado por Motta (1963), com ondulações de baixa esbeltez, média de 11 segundos e altura significativa entre 1,0-1,5 m, típicas de um costa regida por ondas; - as correntes de deriva litorânea, nas condições de Sudeste não têm um sentido preferencial podendo ser para SW, ou para NE e também imperceptíveis, dependendo das proximidades, direção e intensidade da zona de geração das ondas; - eventos marcados por incidência de vagas de S ou SW, geradas por ventos locais provocam correntes para NE, enquanto que eventos com ventos locais e vagas de NE ou E promovem correntes para SW; - o quadrante Sul têm corrente de deriva litorânea para NE, já a intensidade da corrente depende da energia das ondas e ventos locais, que geralmente são fortes, assim sua maior frequência possibilita um transporte sedimentar costeiro preferencial para NE.

As populares “ressacas” da costa do Rio Grande do Sul são a combinação das ondas com

marés meteorológicas, pois estando próxima da zona de geração do meio do Atlântico Sul, à aproximadamente 42° lat. Sul, o impacto das tempestades influencia diretamente as características geomorfológicas das praias (Fig. 11).

A distribuição das tempestades oceânicas entre os quadrantes Sul, Sudeste e Leste demonstra ter relação direta com o balanço das tempestades próximas da costa, frequentes no outono/inverno

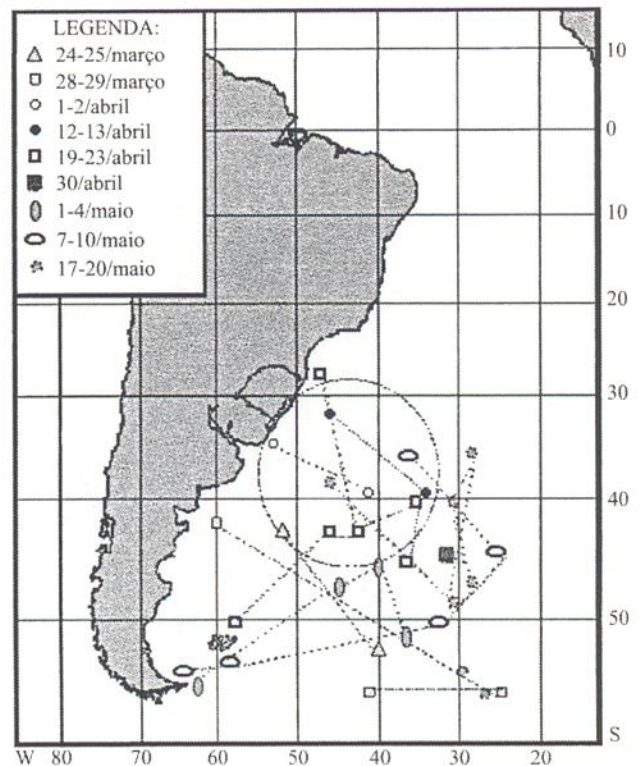


Figura 10 - Distribuição e trajetórias dos principais centros de baixa pressão no Atlântico Sul no outono de 1995; as tempestades próximas da costa estão limitadas por um círculo tracejado.

nos quadrantes sul e sudeste, afastadas e pouco frequentes na primavera/verão para leste sudeste.

O principal fator que resulta na diminuição da energia e conseqüentemente um perfil intermediário são as variações entre ciclos de tempestades de Sul>Sudeste, e o predomínio das condições de baixa hidrodinâmica do Leste>Sudeste.

Contudo, a ocorrência do estado dissipativo não demonstra ser propriamente um padrão sazonal, e sim aleatório, cíclico talvez, respondendo diretamente a energia da(s) tempestade(s) já que mesmo nas estações quentes são observados fortes eventos gerando um perfil dissipativo; bem como, foram registradas diminuições consideráveis na energia das ondas nos invernos de 1992 e 1995, que possibilitaram estados intermediários construtivos e aumento no volume sedimentar (estas condições difíceis de explicar se associaram a ocorrência do El Niño, sendo observadas tempestades com alto índice pluviométrico e menores influências de ventos e ondas).

O ritmo sedimentar do Balneário do Cassino demonstra épocas destrutivas com a sucessão de eventos de alta energia, enquanto que longos períodos de baixa energia hidrodinâmica permitem a re-

composição da morfologia. Assim, o estado modal dissipativo oscila entre os estados secundários intermediários e máximo dissipativo de acordo com o regime energético do Oceano Atlântico Sul.

O parâmetro *ômega* analisado sob uma escala diária, afim de obter o estado modal e os limites de tolerância do mesmo, evidencia a oscilação entre eventos destrutivos e construtivos, caracterizando significativamente as situações hidrodinâmicas danosas para o perfil sedimentar da praia.

As diferenças entre os três pontos de monitoramento relacionam-se com a exposição e evolução morfodinâmica resultante da interferência dos molhes da barra. O perfil Querência que está mais afastado dos molhes, apresenta maior exposição e menor aporte sedimentar, conseqüentemente, maior susceptibilidade ao ataque das ondas; enquanto o perfil do Terminal Turístico dentro da proteção dos molhes, desenvolve um maior número de barras devido ao maior aporte sedimentar; e onde pela evolução dos estados intermediários, o perfil Rua Bahia apresenta-se intermediário aos dois outros.

A embocadura da Laguna dos Patos, barreira natural para a deriva litorânea com constante



Figura 11 - Maré meteorológica no balneário do Cassino em 26/07/93.

aporte terrígeno, condiciona a granulometria mais fina e a declividade suave para a plataforma interna do balneário do Cassino, que favorece a manutenção do estado modal dissipativo com ampla zona de arrebentação e sucessivas barras paralelas a linha de costa (como anteriormente constatado por Calliari e Klein, 1993).

Mesmo sem determinar a contribuição sedimentar da descarga lagunar e o volume trapeado pelos molhes de Rio Grande à partir da deriva litorânea, verifica-se que: neste local de natural progradação continental, a presença das barras e dunas frontais são a efetiva reserva do perfil sedimentar contra as fortes tempestades. O estado dissipativo do Balneário do Cassino está relacionado com a geomorfologia própria da costa exposta à tempestades, enquanto que os estados intermediários representam a boa disponibilidade sedimentar do local.

Conclui-se que o método de observação diária, bem como a análise em três principais ângulos de incidência das ondas, adapta-se a morfodinâmica de praias arenosas difundida por Wright & Short (1984), fomentando uma metodologia empírica, de baixo custo e de grande utilidade para o monitoramento costeiro. O caráter quali-quantitativo quando aplicado ao longo de alguns anos pode desenvolver um bom padrão amostral, aumentando a qualidade dos dados e favorecendo uma avaliação temporal do estoque sedimentar.

Agradecimentos - Ao pessoal do Lab. de Oceanografia Geológica (FURG) e do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (UFRGS), atuantes grupos de pesquisa deste país também costeiro, bem como ao CNPq e a FAPERGS que apoiaram o desenvolvimento deste trabalho. Agradecimentos especiais ao Prof. Dr. Eloi Melo F^o. por seus primeiros acordos no universo das ondas, a todos os "Sentinelas do Mar", e ao pessoal do Inst. de Estudos do Mar Alm. Paulo Moreira e a Diretoria de Hidrografia e Navegação (Marinha do Brasil) pelo apoio e material indispensáveis. "Ao Mar e as Ondas, a Patrícia e ao nosso filho Ariel".

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, J. A., Grê, J. C., Toldo Jr., E., 1981. Estudos da praia a Nordeste do Molhe de Rio Grande, Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, 14: 131-147.
- Alvarez, J. A., Grê, J. C. R., Toldo Jr., E., 1983. Estudos oceanográficos e sedimentológicos preliminares da Praia de Tramandaí, RS. **Pesquisas**, 15: 66-85.
- Baba, J., & Komar, P. D., 1981. Measurements and analysis of settling velocities of natural quartz sand grains. **Journal of Sedimentary Petrology**, 51: 631-640.
- Bascom, W. N., 1951. The relationship between sand-size and beach face slope. **Transacts American Geophysics Union**, 32: 866-874 p.
- Birkemeier, W. A., 1981. Fast Accurate Two-person beach survey. **Coastal Engineering Research Center, Coastal Engineering Technical Aid 81-11**: 22 p.
- Birkemeier, W. A., 1985. A User's Guide to ISRP: The Interactive Survey Reduction Program. Instruction Report. **Coastal Engineering Research Center**, 84-11: 101 p.
- Calliari, L. J., & Klein, A. H. F., 1993. Características Morfodinâmicas e Sedimentológicas das Praias Oceânicas entre Rio Grande e Chui, RS. **Pesquisas** 20 (1): 48-56.
- Calliari, L. J., & Klein, A. H. F., 1995. Variabilidade das praias oceânicas entre Cassino e Chui, RS. **Instituto Oceanográfico, Publicação Especial**, 11: 55-63.
- Calliari, L. J., Tozzi, H. A. M. & Klein, A. H. F., 1998. Beach response to storm surge in Southern Brazil. In: Land and Ocean Interaction in Coastal Zone (LOICZ) Meeting, **Academia Brasileira de Ciência**, 70 (2): 231-247.
- Coli, A. B., 1994. **Análise das Alturas de Onda ao largo do Rio Grande do Sul. Dados Históricos e Altimétricos**. Trabalho de graduação do curso de Oceanologia, Fundação Universidade do Rio Grande, Rio Grande, RS., 56 p.
- Davies, J. L., 1980. **Geographical Variation in Coastal Development**. 2ª ed. Longman, Londres, 221 p.
- Dean, R. G., 1973. Equilibrium beach profiles. Characteristics and applications. **Journal of Coastal Research**, 7: 53-84.
- Dolan, R. & Davis, R. E., 1992. An Intensity for Atlantic Coast Northeast Storms. **Journal of Coastal Research**, 8 (3): 840-853.
- Fonzar, B. C., 1994. A circulação atmosférica na América do Sul: os grandes sistemas planetários e subsistemas regionais que atingem o continente: localização e trajetórias. **Caderno de Geociências**, 11: 11-33.
- Guza, R. T. & Inman, D. L., 1975. Edge waves and beach cusps. **Journal of Geophysical Research**, 80 (21): 2997-3012.
- Gan, M. A., 1992. **Ciclogêneses e ciclones sobre a América do Sul**. Tese de doutoramento em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP., 183 p.
- Godolphim, M. F., 1976. **Geologia do Holoceno costeiro do município de Rio Grande, RS**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da UFRGS, Porto Alegre, 146 p.
- Melo F^o, E., 1991. **Projeto Sentinelas do Mar: Instruções para efetuar as observações**. COPPE, RJ., Brasil, 12 p.
- Melo F^o, E., 1993. The Sea Sentinel Project: Wathing Waves in Brazil. In: **8th Symposium on Coastal and Ocean Management**, Gramado, RS., July 19.
- Moore, B. D., 1982. **Beach Profile Evolution in Response to Changes in Water Level and Wave Height**. Master Thesis, Newark: University of Delaware, Department of Civil Engineering.
- Motta, V. F., 1963. **Relatório-análise e previsão de alturas de ondas em Tramandaí**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, Porto Alegre. 30 p.
- Motta, V. F., 1969. **Relatório-Diagnóstico sobre a Melhoria e o aprofundamento do acesso pela Barra do Rio Grande**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, Porto Alegre. (Inédito).
- Nobre, L. C., Cavalcanti, M. A. G., Nobre P., Kayano, M. T., Rao, V. B., Bonatti, J. P., Satyamurti, P., Uvo, C. B., Cohen, J. C., 1986. Aspectos da climatologia dinâmica do Brasil. **Climanálise, Número especial**.
- Plant, N. G., & Griggs, G. B., 1992. Comparison of Visual Observations of Wave Height and Period to Measurements Made by an Offshore Slope Array. **Journal of Coastal Research**, 8 (4): 957-965.
- Seeliger, U., 1992. Coastal Foredunes of Southern Brazil: Physiography, Habitats and Vegetation. In: Seeliger, U. (ed) **Coastal Plant Communities of Latin America**. San Diego, Academic Press: 367-381.
- Schneider, C. & Weggel, J. R., 1982. The Littoral Environment Observation (LEO), Data Summaries. **Coastal Engineering Research Center, Coastal Engineering Technical Aid 81-5**.
- Sherlock, A. R. & Szuwalski, A., 1987. A User's Guide to the Littoral Environment Observation Retrieval System. **Coastal Engineering Research Center, Instruction Report 87-3**.
- Short, A. D., & Hesp, L., 1982. Wave, Beach and Dune Interactions Southeastern Austrália. **Marine Geology**, 48: 259-284.
- Short, A. D., & Aagaard, T., 1993. Single and Multi-Bar Beach Change Models. **Journal of Coastal Research**, SI 15: 141-157.

- Smith, E. R., e Wagner, S. E., 1991. Littoral Environment Observation Program. **Journal of Coastal Research**, 7 (3): 595-605.
- Sonu, C. J., 1973. Three-dimensional beach changes. **Journal of Geology**, 81: 42-64.
- Sunamura, T., 1984. Quantitative predictions of beach-face slopes. **Geological Society of American Bulletin**, 95: 2242-245.
- 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.
- Tomazelli, L. J., 1990. **Contribuição ao estudo de sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da província costeira do Rio Grande do Sul - com ênfase no sistema eólico**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da UFRGS, 270 p.
- 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.
- Villwock, J. A., 1984. Geology of the Coastal Province of Rio Grande do Sul, Southern Brazil. A Synthesis. **Pesquisas**, 16: 5-49.
- Wright, L. D., Guza, R. T. & Short, A. D., 1982. Dynamics of a High-energy Dissipative Surf Zone. **Marine Geology**, 45: 41-62
- Wright, L. D. & Short, A. D., 1984. Morphodynamics variability of surf zones and beaches: A synthesis. **Marine Geology**, 56: 93-118.
- Wright, L. D., Short, A. D. & Green, O., 1985. Short-term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: an empirical predictive model. **Marine Geology**, 62: 339-364.