Pesquisas em Geociências

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

Considerações Sobre o Ambiente Praial e a Deriva Litorânea de Sedimentos ao Longo do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil

Luiz Tomazelli, Jorge Villwock
Pesquisas em Geociências, 19 (1): 3-12, Mai./Ago., 1992.

Versão online disponível em:
<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21318>

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 - Mai./Ago., 1992.
Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Considerações Sobre o Ambiente Praial e a Deriva Litorânea de Sedimentos ao Longo do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil

LUÍZ J. TOMAZELLI E JORGE A. VILLWOCK

CECO, Instituto de Geociências, UFRGS, Caixa Postal 15001, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil

(Recebido em 11/02/92. Aceito para publicação em 05/06/92.)

Abstract — The Northern Rio Grande do Sul Coastline is an open low coast with a straight and sandy beach whose morphogenesis is related with a microtidal regime and dominated by wave action. Swell waves from SE, sea waves from E and NE and storm waves from E and SE, control erosional and depositional processes along the sea shore which has 50 m width and 3 to 5% declivity. During the greater part of the year dissipative conditions produce a flat surface with an almost permanent scarp in the foredunes that denotes a more erosional than depositional behaviour, related to storm waves and relative sea level rise. Intermediate conditions produce ridge and runnel features. Two way longshore drift is observed but it dominates from SE to NE. A training wall which controls the Tramandaí inlet and the jetties at the mouth of Mampituba river interrupt the sediments transport and produces deposition at the SE side and erosion at the NE side of these man-made structures.

Resumo — O Litoral Norte do Rio Grande do Sul apresenta-se como uma costa aberta, retilínea e arenosa, cuja morfogênese é controlada por regime de micromarés e dominada pela ação das ondas. Ondulações de SE, vagas de NE e E, e ondas de tempestades de E e SE controlam os mecanismos de erosão e deposição ao longo da praia oceânica que apresenta uma largura média de 50 m e uma declividade entre 3 e 5%. Na maior parte do tempo comporta-se como uma praia dissipativa mostrando uma superfície plana e uma escarpa quase permanente no cordão de dunas frontais que evidenciam um comportamento mais erosivo que deposicional relacionado com a ação de tempestades e elevação do nível relativo do mar. Estados intermediários ocorrem caracterizados pela presença de cristas e canaletas. Embora ocorra nos dois sentidos, a deriva litorânea predomina de SE para NE. As ações antrópicas, relacionadas com a construção de guia de correntes na desembocadura de Tramandaí e de molhes na foz do Mampituba têm produzido bloqueio no transporte de sedimentos, promovendo deposição a SE e erosão a NE das obras mencionadas.

INTRODUÇÃO

A praia oceânica da planície costeira do Rio Grande do Sul, com mais de 600 km de extensão, pode ser considerada como uma das mais extensas e contínuas praias arenosas do mundo. Apesar de sua dimensão e de desempenhar um papel fundamental no desenvolvimento dos demais sistemas costeiros da região — em especial do sistema eólico com o qual a praia mantém uma total interação — são ainda raros os estudos realizados neste ambiente e que tenham se preocupado com seus aspectos hidrodinâmicos, geológicos e geomorfológicos. Dentre estes podem ser citados os trabalhos de Martins (1967), Motta (1967, 1969), Pitombeira (1975), Silva (1976), Villwock & Martins (1972), Villwock *et al.* (1978, 1979), Alvarez *et al.* (1981, 1983) e Tomazelli (1990).

No presente trabalho busca-se analisar alguns aspectos relevantes nas características de um segmento desta longa praia arenosa, situado no Litoral Norte do estado (Fig. 1). Em razão do grau de uniformidade e continuidade da praia, provavelmente grande parte dos resultados deste estudo possam ser estendidos ao restante da costa do estado.

Os temas a serem abordados incluem considerações sobre a hidrodinâmica litorânea, a morfologia praial, a natureza dos sedimentos e a deriva litorânea das areias. Na abordagem do assunto procurou-se somar às poucas informações disponíveis na literatura algumas observações próprias, envolvendo dados obtidos dire-

tamente no terreno bem como resultantes de análises realizadas em fotografias aéreas verticais. Estes dados foram utilizados na elaboração de Tese de Doutorado de um dos autores (Tomazelli, 1990).

Figura 1 — Localização da área de estudo: Litoral Norte do RS.

A HIDRODINÂMICA LITORÂNEA

Os processos oceanográficos físicos envolvendo a ação das ondas, marés e correntes, correspondem ao mecanismo mais importante de movimentação dos sedimentos e de modelagem morfológica das praias. Infelizmente, a caracterização plena do regime hidrodinâmico atual ao longo do Litoral Norte do Rio Grande do Sul esbarra na escassez de registros básicos sobre os parâmetros físicos significativos — especialmente sobre as características das ondas — o que dificulta ou mesmo impossibilita uma análise quantitativa mais precisa sobre os mesmos. Assim, este estudo se deterá mais no exame dos produtos destes processos, ou seja, na análise das conseqüências geomorfológicas e sedimentares deles resultantes.

Dentre os poucos levantamentos efetuados na região contendo registros consistentes dos parâmetros oceanográficos físicos, sem dúvida os mais completos, até agora, são os atribuídos ao Eng.^o Victor F. Motta, do IPH-UFRGS, correspondendo a estudos realizados junto às desembocaduras da Lagoa de Tramandaí (Motta, 1967) e Lagoa dos Patos (Motta, 1969), envolvendo, portanto, a área de nosso interesse. Grande parte dos dados básicos referidos abaixo procedem dos estudos deste pesquisador.

O Regime de Ondas

Sob o ponto de vista da importância relativa dos diferentes agentes hidrodinâmicos, a costa do Litoral Norte do Rio Grande do Sul pode ser classificada como uma costa que, em toda sua extensão, é francamente dominada pela ação das ondas. Sua configuração, praticamente retilínea, sem reentrâncias e irregularidades maiores, lhe confere um caráter aberto, exposto diretamente à ação de ondas de energia média a elevada. Esta exposição às ondas, associada à abundância de areia de granulação fina e a uma amplitude insignificante das marés, é fator que faz com que, na maior parte do tempo, a praia em enfoque se comporte como “praia dissipativa”, dentro do esquema morfodinâmico de classificação praial proposto por Wright e Short (1983).

A Figura 2, elaborada a partir dos dados apresentados por Motta (1967), resume as principais características das ondas na altura de Tramandaí, registradas durante o intervalo de tempo de 1 ano (1962-1963), à profundidade de 20 m.

As ondas que atingem, em um determinado momento, a costa da área de estudo resultam da ação do vento soprando sobre a superfície do mar e podem ser classificadas em 3 diferentes tipos cuja ocorrência se dá, muitas vezes, de forma superimposta: (1) ondulação (“swell wave”), (2) vaga (“sea wave”) e (3) onda de tempestade (“storm wave”).

A ondulação corresponde às ondas mais regulares, de período mais longo, de menor esbeltez (relação altura/comprimento de onda), de cristas mais arredondadas e que derivam de centros de geração posicionados longe da região costeira em enfoque, muitas vezes si-

tuados a várias centenas de quilômetros da costa. As observações de campo somadas à análise de fotografias aéreas de diversas datas de voo (e que normalmente foram obtidas em dias de tempo bom, sem a ocorrência de fortes ventos locais) bem como os registros efetuados por Motta (1967), mostram claramente que a ondulação dominante na área em estudo provém de SE. Associada à configuração da linha de costa (praticamente retilínea e com orientação SW-NE) esta ondulação dominante faz com que a deriva litorânea de sedimentos resultante se dê para NE, como se verá mais adiante. O principal centro de geração desta ondulação está no cinturão tempestuoso subpolar do Atlântico Sul, posicionado em torno da latitude de 60° S (Davies, 1980).

Figura 2 — Gráfico construído a partir dos dados de Motta (1967) representando as principais características das ondas na altura de Tramandaí, registradas à profundidade de 20 m, no intervalo de tempo de 1 ano (1962-1963).

As vagas são ondas que resultam da ação de ventos locais soprando dentro da área costeira em enfoque. O fato de situarem-se dentro da própria zona de geração faz com que as vagas sejam bastante irregulares, com características complexas e confusas. As ondas individuais, em geral de elevada esbeltez, apresentam cristas agudas que somente podem ser seguidas por pequenas distâncias antes de desaparecerem. Estas ondas, que normalmente se encontram superimpostas à ondulação, resultam de vários sistemas de ventos que afetam diretamente a região costeira e, em conseqüência, são bastante variáveis quanto a todas suas características como período, comprimento de onda, altura e direção de propagação. Como foi demonstrado por Tomazelli (1990) há um nítido predomínio, na região costeira em estudo, de ventos oceânicos provenientes de

NE e E, o que faz com que esta também seja a direção dominante de incidência das vagas no local, fato este igualmente constatado nos registros de Motta (1967).

As ondas de tempestade, embora mais raras, correspondem às ondas de maior energia que atingem a região costeira em estudo. Elas resultam da ação de fortes ventos associados a tempestades, que ocorrem dentro ou próximo à região costeira. Estas ondas normalmente se associam a expressivas elevações do nível do mar durante os períodos de tempestades ("maré de tempestade") e, via de regra, causam importantes impactos na costa, promovendo intensos processos erosivos e grande movimentação do material sedimentar junto à praia. Não há, até agora, estudos sobre a magnitude e frequência destas tempestades ("ressacas") ao longo da costa do Rio Grande do Sul. No entanto, Motta (1967) registra que, à profundidade de 20 m, alturas de ondas de 4 m ocorrem pelo menos uma vez por ano e que a altura máxima de 7 m apresenta um período de recorrência provável de cerca de 30 anos.

O Regime de Marés

De acordo com a Tábua de Marés da Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha do Brasil, os registros efetuados na costa do Rio Grande do Sul mostram que as marés astronômicas são de pequena amplitude e secundárias em relação às variações de nível associadas à ação dos agentes meteorológicos (ventos e pressão atmosférica). Os marégrafos revelam que a amplitude média das marés astronômicas é inferior a 50 cm. Assim, de acordo com a classificação de Davies (*in* Hayes & Kana, 1976), a costa do Rio Grande do Sul é do tipo de micromarés ("microtidal") por apresentar a amplitude das marés astronômicas inferior a 2 m. Este caráter insignificante das marés astronômicas junto à costa do estado deve-se ao fato de a mesma situar-se próximo a um ponto anfidrômico do Atlântico Sul e também à configuração da linha de costa, praticamente retilínea, aberta, sem reentrâncias e irregularidades que poderiam amplificar, por efeitos de ressonância ou convergência, a amplitude destas marés.

Portanto, as principais oscilações do nível do mar que afetam a região, dentro desta escala de tempo de curta duração, estão basicamente relacionadas com os agentes meteorológicos, consistindo no que normalmente é conhecido como "maré de tempestade" ou "maré de vento". Durante os períodos de tempestade os fortes ventos que sopram contra o continente deslocam, em direção à praia, uma grande massa de água que, juntamente com a migração dos centros de baixa pressão, podem ocasionar expressivas elevações do nível do mar.

O Sistema de Correntes

O sistema de correntes que pode afetar a sedimentação e, em consequência, a morfologia costeira, inclui os seguintes tipos principais: (1) Correntes de Marés, (2) Correntes da Circulação Oceânica, (3) Correntes

Fluviais e (4) Correntes Litorâneas (induzidas pelas ondas e ventos).

Na região costeira em estudo as correntes de marés, como já foi discutido, podem ser consideradas como inexpressivas. Da mesma forma as grandes correntes de circulação oceânica do sudoeste do Atlântico (Corrente do Brasil e Corrente das Malvinas), por envolverem deslocamento de água muito afastado da costa, também não afetam diretamente a sedimentação costeira. Assim, a ação morfogênica na área de estudo, relacionada com a atividade das correntes, é controlada basicamente pelas correntes litorâneas induzidas pelas ondas e ventos e, muito secundariamente, por correntes fluviais.

A atuação das correntes litorâneas induzidas pelas ondas, de enorme importância na morfogênese costeira por controlar o processo de deslocamento lateral de sedimentos ao longo da costa (deriva litorânea), será abordada mais adiante.

Quanto às correntes fluviais, cabe salientar, inicialmente, que toda a costa do Rio Grande do Sul apresenta somente quatro locais mais importantes de influxo de água doce proveniente do continente que podem afetar a sedimentação costeira, seja pelo aporte de novos sedimentos ou então pelas modificações locais no padrão de circulação litorânea devido ao escoamento fluvial. Estes quatro locais correspondem ao Arroio Chuf, no limite sul do estado, ao canal de Rio Grande, única ligação da Lagoa dos Patos com o mar, ao canal da Lagoa de Tramandaí e, no extremo norte do estado, junto à cidade de Torres, à foz do Rio Mampituba.

Por situar-se na parte central da área de estudo, a desembocadura da Lagoa de Tramandaí será analisada aqui com maior detalhe, embora sua influência na sedimentação e morfogênese costeira não seja muito expressiva. A Lagoa de Tramandaí recebe a água doce proveniente de um sistema interligado de lagoas situadas tanto ao norte como ao sul deste corpo lagunar. Esta água escoar para o Oceano Atlântico através de um único canal cuja vazão depende do nível assumido pelo mar (função, basicamente, do maior ou menor represamento de água pelo vento) e do nível da lagoa que, por sua vez, retrata os períodos de maior ou menor precipitação pluviométrica na região.

Segundo Motta (1967), dados de vazão registrados no canal, no sentido lagoa-mar, durante o período de 1 ano (fevereiro de 1963 a fevereiro de 1964), revelaram os seguintes valores:

- Vazões menores: em torno de 95 m³/s
- Vazões médias: em torno de 130 m³/s
- Vazões maiores: em torno de 180 m³/s

Mesmo as menores vazões registradas no período foram suficientes para manter livre a desembocadura da lagoa, evitando o fechamento que, do contrário, seria promovido através da deriva litorânea das areias no sentido SW-NE.

Não existem, até agora, estudos mais detalhados sobre o transporte de material sedimentar através deste canal. As evidências mostram, no entanto, que pro-

vavelmente muito pouco material sedimentar seja transferido no sentido lagoa-mar. Possivelmente, sob o ponto de vista morfológico da região, a corrente associada ao escoamento do canal de Tramandaí exerça principalmente o papel de impedir, graças ao influxo de água doce, que a desembocadura seja obstruída. Como resultado da interferência deste jato de água com as ondas incidentes e as areias em processo de deriva formase, próximo à desembocadura, uma feição deposicional que se assemelha aos deltas de maré vazante ("ebb tidal delta") tão comuns nas desembocaduras lagunares das costas de regime de mesomares. Esta feição, evidenciada claramente pelas linhas de arrebatção, pode ser observada de maneira bastante nítida na Figura 3.

Figura 3 — Vista aérea da desembocadura da Lagoa de Tramandaí. As linhas de arrebatção revelam o desenvolvimento de uma feição deposicional semelhante a um "delta de maré vazante", formada pela interferência do fluxo que escoo pelo canal com as ondas incidentes e as areias em processo de deriva.

A MORFOLOGIA PRAIAL

A praia oceânica da área investigada apresenta um traçado praticamente retilíneo orientado segundo a direção SW-NE. Sua largura, desde a base das dunas frontais até a linha média de maré baixa, varia entre 30 e 100 m, com uma média situada em torno de 50 m.

Ao longo do segmento praial estudado — um trecho com cerca de 120 km de extensão — a única irregularidade maior a interromper a homogeneidade e continuidade da praia corresponde ao canal que liga a Lagoa de Tramandaí ao mar. Além desta descontinuidade, a praia é marcada somente pela ocorrência de inúmeros outros cursos de água intermitentes, de pequeno porte, denominados de "sangradouros", e que dão escoamento às águas pluviais coletadas no campo de dunas adjacente. Na maioria das vezes estes pequenos canais possuem uma duração temporária, restrita aos períodos de maior pluviosidade.

Um importante parâmetro na caracterização morfológica da praia, relacionado com a granulometria dos sedimentos disponíveis e com o nível de energia das ondas incidentes, é a declividade média de seu perfil transversal. A realização de vários perfis topográficos expeditos ao longo da área investigada, em diferentes

locais e épocas, abrangendo, portanto, diferentes "estados morfológicos praias", revelou que a praia em enfoque caracteriza-se por apresentar uma baixa declividade em toda a sua extensão, com valores médios entre 3 e 5%. Estes valores são condizentes com a granulometria das areias ali disponíveis e com o nível de energia praial existente.

Nos últimos anos, a descrição morfológica das praias recebeu um novo enfoque resultante principalmente de estudos realizados nas costas da Austrália (veja-se, por exemplo, os trabalhos de Wright *et al.*, 1979; Short & Hesp, 1982; Wright & Short, 1982, 1983). Empregando uma abordagem essencialmente morfodinâmica, os pesquisadores identificaram, no estudo das praias australianas, um número de "estados morfológicos" distintos associados a diferentes regimes de ondas. Estes estudos mostraram que, na busca de um equilíbrio rompido por um súbito aumento na energia das ondas — em geral devido à ocorrência de um evento de tempestade — a morfologia das praias se modifica segundo uma sequência temporal regular e previsível.

Estes "estados morfológicos" abrangem, na realidade, uma sequência contínua de situações morfológicas envolvendo a erosão dos sedimentos da praia supramarés (= pós-praia) e intermarés (= estirâncio) durante os eventos de alta energia, o armazenamento destes sedimentos na parte submersa da praia (praia inframarés) sob a forma de barras (estado de praia "dissipativa"), o seu gradual retorno à praia durante os períodos normais de baixa energia (estado de praia "intermediária") até que ocorra novamente o máximo de armazenamento na parte sub-aérea da praia com a formação de bermas e feições relacionadas (estado de praia "reflexiva").

Utilizando-se estes conceitos morfodinâmicos, constatou-se que na maior parte do tempo a praia estudada se comporta como uma típica praia dissipativa. Seu perfil transversal possui uma declividade suave, uma zona de "surf" larga, e geralmente é marcado pela presença de duas a três linhas de arrebatção, indicando a ocorrência de múltiplas barras paralelas. Como mostram os vários conjuntos de fotografias aéreas de diferentes datas que foram examinados, a primeira destas linhas de arrebatção se mantém, paralela à praia, com uma continuidade quase que perfeita, numa posição mais ou menos fixa, a cerca de 250 m da praia subaérea.

Parte dos sedimentos que constituem estas barras é transferida lentamente em direção à praia onde passa a desenvolver, já na praia intermarés, uma morfologia do tipo "crista e canaleta" ("ridge and runnel") de relevo muito suave. Este estado morfológico é interrompido bruscamente pela ocorrência de eventos tempestuosos quando as ondas de alta energia removem grande parte desta areia que, transferida para a praia inframarés, restabelece as condições dissipativas e permite o reinício do ciclo.

As observações de campo realizadas permitem concluir, portanto, que a praia investigada apresenta dois "estados morfológicos" que a dominam na maior parte

do tempo. O primeiro "estado" é encontrado imediatamente após um evento de tempestade. Em função do grande poder erosivo das ondas de tempestade, boa parte dos sedimentos da praia intermarés e supramarés é removida e redepositada como barras na praia inframarés. As dunas embrionárias são normalmente destruídas por completo e, seguidamente, a própria duna frontal, submetida diretamente à ação das ondas, sofre violenta erosão passando a desenvolver uma escarpa na sua face voltada para o mar (Tomazelli, 1990). Como resposta a estes fenômenos, o perfil praiial transversal torna-se caracteristicamente aplainado, destituído de configurações morfológicas menores. Não há, inclusive, diferenciação morfológica visível entre a praia supramarés e a praia intermarés (Fig. 4).

Figura 4 — Estado morfológico mais comum na praia em estudo. O perfil transversal apresenta-se aplainado, sem diferenciações morfológicas mais importantes. A duna frontal, submetida à ação das ondas de tempestade, em geral desenvolve uma escarpa erosiva. Praia ao sul de Tramandaí.

Dependendo da magnitude da tempestade, o volume de areia removido pode ser muito grande e os efeitos na costa, bastante destrutivos. Tal foi o caso da "ressaca" que atingiu a praia investigada no dia 6 de junho de 1985. Os efeitos desta "ressaca", que alcançou níveis energéticos anormais, ainda podem ser constatados nos dias de hoje ao longo desta praia. Existem várias evidências que mostram que, vários anos depois do evento, o perfil praiial original ainda não foi reconstituído, com a praia supramarés e intermarés mostrando uma clara deficiência de sedimentos em relação ao estado existente antes do evento (Fig. 5).

Uma importante consequência desta lenta reconstituição morfológica que segue ao evento anormal é que o efeito de novas tempestades tende a ser ampliado, mesmo que os novos eventos tenham magnitudes menores, uma vez que a deficiência de areia na parte subaérea da praia implica num menor amortecimento da energia das ondas. Explica-se assim a escarpa quase permanente que as dunas frontais apresentam ao longo de toda a extensão desta praia. Fica clara, portanto, a influência no modelado deste ambiente praiial não só da magnitude das tempestades mas também da sua frequência. Infelizmente não existe, até o momento, nenhum estudo na região que se ocupe da análise da frequência e magnitude destas tempestades.

Figura 5 — Efeitos destrutivos da ressaca de 06/06/85 na praia de Tramandaí. Observe-se o estado morfológico aplainado da praia e, como mostra a base da guarita do salva-vidas, o expressivo volume de areia removido pelas ondas de tempestade.

O segundo "estado morfológico" desenvolvido pela praia investigada se manifesta quando parte dos sedimentos removidos pelas tempestades já se encontra reincorporada à praia supramarés e intermarés. Nesta situação é comum o estabelecimento de uma morfologia do tipo "crista-e-canaleta" ("ridge and runnel") de muito baixo relevo e que se mantém até a ocorrência de um novo evento de tempestade.

Em síntese, pode-se dizer que, sob o ponto de vista morfológico, a praia estudada apresenta, nos dias de hoje, um comportamento mais erosivo do que deposicional. Esta erosão não se restringe ao segmento praiial estudado mas parece se estender a toda a costa do Rio Grande do Sul. A identificação de suas possíveis causas abre um campo para muitos debates mas, como mostraram Tomazelli & Villwock (1989) e Tomazelli (1990), há fortes evidências de que a mesma seja estimulada por uma tendência contemporânea de elevação do nível relativo do mar nesta região costeira.

A NATUREZA DOS SEDIMENTOS PRAIAIS

Serão analisadas, neste tópico, três importantes características dos sedimentos constituintes do ambiente praiial estudado: granulometria, composição mineralógica e as estruturas sedimentares dos depósitos.

Na caracterização granulométrica dos sedimentos praiiais investigados tomou-se com base o trabalho publicado por Martins (1967). Este autor apresentou os resultados das análises de 71 amostras de sedimentos das praias do Rio Grande do Sul, das quais 17 foram coletadas na área abrangida por esta investigação. A estes dados, publicados pelo autor, somaram-se os resultados de mais 14 análises perfazendo, assim, 31 amostras que representam bastante bem as características granulométricas médias da praia estudada. Estas características se encontram resumidas na Tabela 1.

Para a determinação da composição mineralógica média das areias praiiais estudadas foram coletadas 10 amostras distribuídas ao longo do trecho investigado. Procedeu-se, em laboratório, a separação dos minerais

leves e pesados usando-se líquido denso (bromofórmio) e efetuou-se a identificação e contagem dos minerais em lâminas de grãos montados analisadas ao microscópio petrográfico, de acordo com uma metodologia cujos detalhes podem ser encontrados em Villwock *et al.* (1978) e Tomazelli (1978).

Média Aritmética (Mz).....	2.46 Ø	0.181 mm
Mediana (Md).....	2.47 Ø	0.180 mm
Desvio Padrão	0.32	
Grau de Assimetria (Sk) _s	-0.05	
Curtose Normalizada (K' _G).....	0.49	
Areia média	7.35%	
Areia fina	86.67%	
Areia muito fina.....	5.91%	

Tabela 1 — Características granulométricas médias (n = 31) do segmento praial estudado.

Os resultados obtidos nesta análise mineralógica se encontram resumidos na Tabela 2.

	%
Fração de minerais “leves”	99.3
Fração de minerais “pesados”	0.7
Epidoto	14.5
Turmalina	4.9
Hornblenda	4.2
Zircão	2.5
Estaurolita	2.3
Rutilo	1.6
Cianita	1.0
Augita	0.6
Outros.....	1.6
Opacos.....	56.7
Alterados.....	10.2

Tabela 2 — Composição mineralógica média (n = 10) das areias praiais da área de estudo. Fração granulométrica analisada: areia fina (0.250 - 0.125 mm).

De acordo com os resultados das análises textural e composicional, conclui-se que o segmento praial estudado é composto por uma areia fina, quartzosa, bem selecionada, com assimetria levemente negativa e que contém, na fração de minerais pesados transparentes, uma suíte variada de minerais dentro da qual se ressalta o conteúdo de epidoto.

Quanto às estruturas sedimentares desenvolvidas nas areias praiais, o estudo revelou que em consequência, basicamente, da limitada variação granulométrica dos sedimentos disponíveis, da predominância de um “estado morfológico” suave e regular e do insignificante valor da amplitude das marés, a suíte de estruturas encontradas no segmento praial estudado é relativamente restrita e reflete, em essência, a ação de espraimento (“swash”) e refluxo (“backwash”) das ondas sobre a areia de granulação fina, além da atividade de outros agentes como o vento, os organismos e os cursos de água intermitentes. Em resposta à ação destes agentes, a superfície da praia exhibe várias feições deposicionais tais como: marcas onduladas de diversos tipos, crescentes de corrente (“current crescents”), marcas de espraimento (“swash marks”), marcas de ravina-mento, rastros e pegadas de organismos, etc.

A abertura de trincheiras e as exposições naturais

ao longo das pequenas barrancas dos sangradouros permitem uma boa visualização das estruturas internas do pacote arenoso praial, especialmente o situado na zona supramarés. Estas exposições mostram o completo predomínio, como tipo básico de estratificação, de uma laminação plano-paralela, horizontal a sub-horizontal, de grande continuidade lateral, disposta em “sets” decimétricos que, por sua vez, se truncam em baixos ângulos. Em geral a laminação fica ressaltada pelas diferenciações na concentração de minerais pesados de coloração escura (principalmente magnetita e ilmenita). A estratificação resulta da acumulação de areia sob a ação do espraimento das ondas acompanhando as variações na inclinação natural da praia, fenômeno que gera os truncamentos a baixos ângulos. Em alguns locais, esta laminação muito regular se encontra interrompida pela presença de uma estratificação cruzada acanalada de pequeno porte relacionada, provavelmente, com a migração de marcas onduladas de corrente, do tipo linguóide, associadas ao fluxo dos sangradouros.

É significativa, portanto, ao longo do trecho praial investigado, a inexistência de estratificações cruzadas de escala maior, o que reflete a monotonia topográfica da superfície da praia que, por sua vez, resulta da falta de condições hidrodinâmicas favoráveis ao desenvolvimento de formas de leito de maior porte.

A DERIVA LITORÂNEA DOS SEDIMENTOS

Ao discutir-se a morfologia praial enfatizou-se a movimentação do material sedimentar no sentido frontal à linha de costa, como resposta às condições energéticas das ondas. Neste tópico serão feitas algumas apreciações qualitativas sobre o deslocamento das areias ao longo da linha de costa, dentro do que se convencionou chamar de “deriva litorânea de sedimentos”. Esta transferência lateral de sedimentos, promovida basicamente pela atividade das ondas que incidem obliquamente à linha de costa, há muitos anos é reconhecida como um dos mais importantes fatores responsáveis pela configuração das praias. Ela deve, necessariamente, ser avaliada em qualquer estudo que se faça a respeito do balanço sedimentar de um segmento praial e suas correspondentes taxas de erosão/deposição. Da mesma forma, nenhuma obra de engenharia costeira que interfira nos padrões de circulação litorânea deveria ser construída sem uma profunda avaliação dos seus efeitos na deriva litorânea dos sedimentos.

São muito raros os estudos realizados na costa do Rio Grande do Sul que se ocuparam da deriva litorânea de sedimentos e, em especial, de sua determinação quantitativa, reduzindo-se estes, praticamente, às contribuições dadas pelos pesquisadores do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como os trabalhos de Motta (1967, 1969) e Pitombeira (1975).

Embora a determinação quantitativa da deriva, envolvendo medidas diretas no terreno ou cálculos a partir dos registros de ondas, não seja uma tarefa muito

fácil ou precisa, é possível de se fazer importantes observações qualitativas a partir da análise de indicadores geomorfológicos na costa e de considerações genéricas sobre o regime de ondas. Muitos estudiosos consideram, inclusive, que esta abordagem da deriva litorânea através de indicadores geomorfológicos é mais vantajosa e precisa, na avaliação da deriva resultante, do que as deduções feitas a partir de medidas diretas no terreno (Jacobsen & Schwartz, 1981; Schwartz *et. al.*, 1985; Morelock *et. al.*, 1985; Schwartz, 1990).

No caso do Rio Grande do Sul, como concluiu Motta (1967), a deriva se processa em ambos os sentidos

da linha de costa mas com predominância final no sentido NE. Tal situação reflete claramente o regime específico de ondas que incide sobre esta costa de configuração praticamente retilínea, sem reentrâncias maiores que poderiam fazer divergir as direções de deriva. Como foi discutido anteriormente, as vagas, mais esbeltas e mais erosivas do que deposicionais, são geradas por ventos locais que, nesta região, provém predominantemente do quadrante NE. Logo, durante sua incidência na costa, como regra, é gerada uma deriva secundária no sentido SW. Já a ondulação ("swell"), de menor esbeltez e de maior poder de transporte, possui como

Figura 6 — Sequência de fotografias aéreas verticais mostrando a configuração da desembocadura da Lagoa de Tramandaí, entre os anos de 1948 e 1975. Em 1960/61 foi construído o guia de correntes que impediu a migração da barra no sentido da deriva resultante (NE). A foto de 1974 se encontra ampliada na Figura 7.

principal centro de geração o cinturão tempestuoso sub-polar e, em consequência, incide desde o SE, implicando numa deriva dominante para NE. Os diversos conjuntos de fotografias trabalhados evidenciam muito bem a incidência desta ondulação de SE. Em muitas fotos é possível de se presenciar, inclusive, a incidência conjunta da ondulação de SE e das vagas provenientes de NE ou de E.

Vários indicadores geomorfológicos confirmam esta deriva resultante em direção NE ao longo de toda a costa do Rio Grande do Sul. Dentre eles sem dúvida os mais evidentes se associam às desembocaduras não estabilizadas dos rios, arroios e lagunas que, invariavelmente, se deslocam no sentido desta deriva resultante. Assim, a migração no sentido NE da desembocadura do Arroio Chuí, no extremo sul do estado, já ocasionou alguns problemas nas questões limítrofes entre Brasil e Uruguai. Os molhes construídos para fixar a desembocadura da Lagoa dos Patos, em Rio Grande, promoveram uma acentuada deposição de areia no seu lado W enquanto que o lado E se encontra submetido à erosão. A desembocadura livre da Lagoa do Peixe, próximo a Mostardas, migra constantemente em direção NE. No extremo norte do estado a desembocadura do Rio Mampituba também ilustra de maneira muito clara esta migração para NE.

Além das feições descritas acima e de muitas outras de menor porte, como a desembocadura dos sangradouros maiores e mais permanentes, provavelmente o melhor indicador geomorfológico desta deriva litorânea dominante corresponda à desembocadura da Lagoa de Tramandaí, situada na parte central da área em estudo. Seu rápido deslocamento no sentido NE somente foi bloqueado em 1960/61 quando o Departamento Estadual de Portos Rios e Canais (DEPRC) construiu um guia de correntes ao longo de sua margem NE. Há registros de que antes da fixação a desembocadura migrava, em média, cerca de 200 metros por ano. A se-

quência de fotografias aéreas correspondentes à Figura 6 documenta claramente este comportamento.

A situação atual mostra que a desembocadura foi estabilizada e que os terrenos situados em Imbé, entre o antigo canal e o mar, correspondentes, portanto, à barra arenosa construída por deriva litorânea, se encontram totalmente urbanizados. A vazão de escoamento do canal de ligação com a Lagoa de Tramandaí é suficiente para impedir o avanço das areias de direção NE o que implicaria no fechamento da desembocadura. Em consequência, como evidenciam as linhas de arrebenção, estas areias em deriva são transferidas e depositadas mais ao largo levando à construção de uma feição sub-aquosa semelhante aos deltas de maré vazante ("ebb tidal delta") que se desenvolvem junto às desembocaduras dos sistemas lagunares em regiões costeiras submetidas a regimes de mesomarsés. Esta feição deposicional subaquosa cria, nas imediações da desembocadura, um padrão de circulação complexo que dificulta o processo de ingresso ou saída das embarcações pelo canal (Fig. 7).

Por fim, uma última e necessária consideração a ser feita a respeito da deriva litorânea de sedimentos ao longo da costa do Rio Grande do Sul é de que a sua eficácia somente não é maior devido às características morfológicas da plataforma continental. A configuração ampla e rasa desta plataforma promove uma acentuada refração na ondulação proveniente de SE de tal modo que sua incidência se dá, na maioria das vezes, em ângulos muito baixos com relação à normal à linha de costa o que diminui sensivelmente o processo de deriva dos sedimentos.

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo, integrados aos dados existentes na literatura, permitem que se retire as se-

Figura 7 — Fotografia aérea vertical de jun/74 mostrando, de maneira mais detalhada, a configuração da desembocadura da Lagoa de Tramandaí. O guia de correntes impede a migração para NE, enquanto o fluxo de vazante exerce uma ação de bloqueio às areias em deriva. Com isto, as areias trazidas de SE depositam-se mais afastadas da praia como bem evidenciam as linhas de arrebenção. Percebe-se, ainda, uma pequena erosão na praia logo ao N da desembocadura. A superfície do mar mostra a superposição dos dois tipos de ondas que governam esta dinâmica costeira: uma ondulação de SE e vagas provenientes de E e NE. Ao atingirem a zona influenciada pelos depósitos subaquosos e o fluxo de vazante estas ondas sofrem refrações e reflexões, gerando um padrão de circulação bastante complexo próximo à desembocadura.

guíntes conclusões a respeito das características da praia oceânica do Litoral Norte do Rio Grande do Sul:

(1) Sob o ponto de vista hidrodinâmico, a praia se encontra submetida a um regime de micromarés e se comporta, na maior parte do tempo, como uma praia dissipativa. A morfogênese costeira é francamente dominada pelas ondas e pelas correntes por elas induzidas. A assinatura final do regime de ondas que nela atua é função da combinação entre: 1) uma ondulação regular proveniente de SE, gerada dentro do cinturão tempestuoso sub-polar do Atlântico Sul; 2) vagas irregulares, geradas pelos ventos locais, e que incidem principalmente de NE e E; e 3) ondas de tempestade de alta energia que acompanham os eventos tempestuosos que ocorrem, com periodicidade irregular, na ou próximo à região de estudo.

(2) Sob o ponto de vista morfológico, a praia mostra um nítido predomínio de um “estado morfológico” que reflete os eventos de tempestade: as dunas frontais exibem uma escarpa quase que permanente e o perfil praiat transversal se apresenta, em geral, aplainado, sem bermas ou outras feições deposicionais. Nitidamente a praia apresenta, nos dias de hoje, um caráter mais erosivo que deposicional.

(3) A deriva litorânea de sedimentos se manifesta em ambos os sentidos da linha de costa mas com predominância final no sentido NE, como resposta ao domínio da ondulação proveniente de SE. Vários indicadores geomorfológicos ao longo da linha de costa do Rio Grande do Sul — como a migração das desembocaduras dos principais rios e lagunas — confirmam consistentemente esta deriva resultante no sentido NE. Considerando que os ventos dominantes sopram de NE, esta região costeira serve como um exemplo muito didático de que a deriva litorânea resultante pode independe do regime de ventos local.

(4) A atividade humana tem contribuído para modificar o curso natural dos acontecimentos no sistema praiat da área de estudo. As obras realizadas junto à desembocadura da Lagoa de Tramandaí representam um exemplo claro desta interferência. A construção do guia de correntes, junto à margem norte da desembocadura, impediu sua migração livre e causou uma nítida modificação no padrão de circulação costeira. Na tentativa de se ajustar às novas condições, formou-se, em frente à desembocadura estabilizada, uma feição deposicional análoga a um delta de maré vazante que causa sérias dificuldades às embarcações que pretendem ingressar ou sair do canal. As fotografias aéreas mostram, também, uma clara tendência erosiva na praia de Imbé, imediatamente a norte da desembocadura, como resultado do bloqueio das areias em deriva causado pelo fluxo que escoia pelo canal. Fica evidente, portanto, que a iniciativa de construção de molhes junto à esta desembocadura — um projeto tantas vezes anunciado pelas autoridades — deve ser precedida de amplos estudos sobre os impactos que os mesmos fatalmente irão causar, devido à sua interferência na circulação costeira e na deriva litorânea de sedimentos.

Agradecimentos — Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro a este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, J.A.; Gré, J.C. & Toldo Jr., E.E. 1981. Estudos da praia a nordeste do molhe de Rio Grande — Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, 14: 131-147.
- . 1983. Estudos oceanográficos e sedimentológicos preliminares da praia de Tramandaí — RS. *Pesquisas*, 15: 66-85.
- Davies, J.L. 1980. *Geographical Variation in Coastal Development*. 2ª ed., Longman, Londres. 212 p.
- Hayes, M.O. and Kana, T.W., eds., 1976. *Terrigenous Clastic Depositional Environments — Some Modern Examples*. Univ. South Carolina, CRD — Tech. Rpt. n° 11, Columbia. 269 p.
- Jacobsen, E.E. & Schwartz, M.L. 1981. The use of geomorphic indicators to determine the direction of net shore-drift. *Shore and Beach*, 49 (4): 38-43.
- Martins, L.R. 1967. Aspectos texturais e deposicionais dos sedimentos praias e eólicos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. *Publicação Especial da Escola de Geologia. UFRGS*, 13, 102 p.
- Morelock, J.; Schwartz, M.; Hernandez-Avila, M. & Hatfield, D.M. 1985. Net Shore-drift on the North Coast of Puerto Rico. *Shore and Beach*, 53 (10): 16-21.
- 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).
- . 1969. *Relatório-diagnóstico sobre a melhoria e o aprofundamento do acesso pela Barra do Rio Grande*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. (Inédito).
- Pitombeira, E. da S. 1975. *Estimativa do volume anual de transporte litorâneo na costa do Rio Grande do Sul*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado.
- Schwartz, M.L. 1990. A Coastal Geomorphologist's Views on Recent Developments in Coastal Geomorphology. In: Bruum, P. (ed.) *Port Engineering*. Gulf Publ. Co., Houston. 2: 791-801.
- ; Mahala, J. & Bronson, H.S. 1985. Net Shore-drift Along the Pacific Coast of Washington State. *Shore and Beach*, 53 (7): 21-33.
- Short, A.D. & Hesp, P.A. 1982. Wave, beach and dune interactions in South-eastern Australia. *Marine Geology*, 48: 259-284.
- Silva, M.A.M. 1976. *Mineralogia das Areias de Praia entre Rio Grande e Chuí, Rio Grande do Sul*. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado. 93 p.
- Tomazelli, L.J. 1978. Minerais Pesados da Plataforma Continental do Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldensia*, 2 (3): 103-159.
- . 1990. *Contribuição ao Estudo dos Sistemas Depositionais Holocênicos do Nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul — Com Ênfase do Sistema Eólico*. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado. 270 p.
- & Villwock, J.A. 1989. Processos erosivos atuais na costa do Rio Grande do Sul, Brasil: evidências de uma provável tendência contemporânea de elevação do nível relativo do mar. *Anais, II Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário*, Rio de Janeiro, ABEQUA (No prelo).
- Villwock, J.A. & Martins, L.R.S. 1972. Depósitos Lamíticos de Pós-Praia, Cassino — RS. *Pesquisas*, 1: 69-85.
- ; Tomazelli, L.J.; Hofmeister, T.; Juchem, P.L.; Dehnhardt, E.A. & Loss, E.L. 1978. Análise Textural e Mineralógica das Areias Negras da Costa do Rio Grande do Sul. *Anais, 30º Congresso Brasileiro de Geologia*, Recife, SBG, 2: 913-926.
- ; Dehnhardt, E.A.; Loss, E.L.; Tomazelli, L.J. & Hofmeister, T. 1979. Concentraciones de arenas negras a lo largo de la costa de Rio Grande do Sul, Brasil. *Memorias, Seminario sobre Ecología Bentonica y Sedimentación de la Plataforma Continental del Atlántico Sur*, Montevideo, p. 405-414.
- Wright, L.D. & Short, A.D. 1982. Dynamics of a high energy dissipative surf-zone. *Marine Geology*, 45: 41-62.

_____ & Short, A.D. 1983. Morphodynamics of Beaches and Surf Zones in Australia. In: Komar, P.D. (ed.) *CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion*. CRC Press, Boca Raton. p. 35-64.

_____; Chappell, J.; Thom, B.; Bradshaw, M. & Cowell, P. 1979. Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems. South Australia. *Marine Geology*, 32: 105-140.