Pesquisas em Geociências

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

Programa de Manejo das Dunas das Praias de Osório - RS

Luiz Liberato Tabajara, Luiz Roberto Silva Martins, João Luis Nicoldi

Pesquisas em Geociências, 28 (2): 427-445, maio/ago., 2002.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/20317>

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., 2002.

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

Programa de Manejo das Dunas das Praias de Osório-RS

LUIZ LIBERATO TABAJARA¹, LUIZ ROBERTO SILVA MARTINS² & JOÃO LUIS NICOLodi¹

¹Curso de Pós-Graduação em Geociências

²Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – CECO – Instituto de Geociências
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Av. Bento Gonçalves, 9500 – Campus do Vale, Prédio 43-125
Agronomia – Porto Alegre – RS – Cep. 91501-970 Caixa Postal 15001 – Telefone: (051)3316-6396

(Recebido em 10/01. Aceito para publicação em 05/02)

Abstract - An intensive and detailed study developed in a pilot area located in the northern portion of Rio Grande do Sul (Brazil) coastal plain, more specifically at Atlântida and Mariápolis resorts, Osório, was carried out in order to establish a dune management program. The study contributes to the beach profile preservation of the studied area and can be divided in three stages: a) diagnosis and mapping, b) dune reconstruction and, c) activities aiming at controlling of degradation. For the diagnosis and mapping of the pilot area, aerial survey with small format photographs were taken using a 35-mm camera. The photographs were georeferenced and the images processed through a Geographic Information System – GIS. The technique of dune reconstruction involved replenishment of poor sand delivery areas, stabilization through vegetation profile, reformation of dunes with the aid of machines, and control of wind deflated surfaces through structural methods. Protection of remaining dunes consisted of placing straw tracks ahead of the dune system, detour signals conducting to shoreline transversal to northeast wind and control of erosion through drainage ditches and building of a wall support. Strategic measures were taken to encourage the participation of the population and the support of authorities, and classes on environmental education began to be taught at municipal schools. The basic principle in dune management is to maintain a satisfactory vegetative cover on the foredune, to avoid sand evasion to the continent and its consequent lost from the coastal system. Management of coastal dunes involves the application of sound land use principles, organisation of recreational activity and rehabilitation of disturbed dunes.

Keywords - Dune management, dune rehabilitation, dune protection.

INTRODUÇÃO

A linha de costa apresenta várias defesas naturais contra as ondas, que incluem o leito do fundo da antepraia, as barras arenosas nas quais as ondas arrebenham, praias e dunas. As dunas são as últimas defesas naturais da costa. Elas restringem a intrusão das ondas, dos ventos, do borrifo marinho e das areias para o interior do continente, além disso atuam como um reservatório para suprimir areia para a praia durante as tempestades (*Soil Conservation Service*, 1986; *U.S. Army Corps of Engineers*, 1984). A preservação das dunas assegura também a transição entre os ambientes marinho e terrestre.

As evidências atuais de erosão costeira no Rio Grande do Sul podem ser um reflexo das variações climáticas advindas de um aquecimento global, responsável tanto pela elevação do nível do mar, como também pelo aumento da frequência e/ou magnitude das tempestades (Tomazelli *et al.*, 1999). A persistir esta tendência de comportamento da linha de costa, as implicações econômicas serão drásticas nas áreas mais ocupadas do litoral Norte do Estado, especialmente naquelas onde as proteções das dunas foram retiradas em projetos de urbanização da orla.

Recentemente, as agências governamentais de gerenciamento de terras situadas nas costas leste e oeste dos Estados Unidos da América, respectivamente a *General Land Office* (Mckenna *et al.*, 1993) e *Oregon Department of Land Conservation and Development* (Marra, 1993) promulgaram normas de planejamento costeiro e de estabilização da linha de costa. As práticas de manejo recomendadas por estes órgãos para controlar os problemas de erosão e de enchentes marinhas, são as que empregam preferencialmente soluções não estruturais, tais como; o manejo de dunas frontais e o controle do uso da terra.

Além dos agentes naturais de riscos, os frágeis ambientes costeiros requerem práticas de gerenciamento, a fim de minimizar os conflitos de uso existentes na ocupação do espaço. O desafio do planejamento do litoral Norte do Rio Grande do Sul é conciliar o desenvolvimento da indústria do turismo e sua infra-estrutura associada, com a necessidade de conservação dos recursos naturais. Este enfoque aproxima-se da estratégia de Manejo Integrado da Zona Costeira (ICZM) preconizado por Clark (1996), ao permitir que se incorpore ao manejo dos recursos naturais, a conservação da biodiversidade, maximização dos

Em respeito ao meio ambiente, este número foi impresso em papel branqueado por processo parcialmente isento de cloro (ECF).

benefícios econômicos, e proteção da vida e das propriedades dos perigos naturais, tais como os ciclones extratropicais.

Na prática o manejo de dunas é frequentemente ligado ao manejo de praia (Bird, 1996), e conforme o *Soil Conservation Service* (1990), baseia-se nas seguintes estratégias: 1) a conservação do sistema de dunas existentes, concedendo uma zona também entre as propriedades privadas e as áreas ativas de praia, 2) recuperação das dunas com distúrbios e, 3) controle das atividades recreativas. Dentro desta concepção, entre março de 1998 a abril de 2000, foi desenvolvido nas praias de Atlântida Sul e Mariápolis, município de Osório, litoral Norte do Rio Grande do Sul (Fig. 1), o “Plano experimental de manejo das dunas das praias de Osório-RS”.

Este projeto piloto pode ser dividido em duas experiências de manejo de dunas: a primeira testou a efetividade de métodos estruturais na construção de dunas frontais (Tabajara *et al.*, 2000), tendo como base, os trabalhos referidos pelo *U.S. Army Corps of Engineers* (1984), e as experiências realizadas na região pela Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul (Hofmann, 1940). Na segunda experiência de manejo, conjugou-se os resultados obtidos durante o primeiro ano do projeto, com os programas internacionais de manejo de dunas, especialmente os relatados pelo *Soil Conservation Service of NSW* (1986 e 1990)

e *Texas General Land Office* (1991). Informações adicionais podem ser obtidas em outros manuais de manejo de dunas, por exemplo Ranwell & Boar (1986) e Cullen (1982).

DESCRIÇÃO DA ÁREA

O sistema praial em estudo apresenta vários subambientes que foram monitorados ao longo do trabalho, e estão identificados na figura 2 de acordo com as nomenclaturas abaixo:

- campo de dunas: área delimitada pela base da duna frontal (“*foredune*”) ou duna embrionária e a planície de cordões regressivos litorâneos.
- pós-praia (“*backshore*”): zona que se estende do limite superior do varrido até o início das dunas fixas por vegetação (duna embrionária ou frontal) ou de qualquer outra mudança fisiográfica brusca.
- face praial (“*beachface*”): identifica a parte do perfil praial sobre a qual ocorrem os processos da zona de varrido;
- zona de surfe: porção do perfil sobre o qual ocorrem tanto os processos da zona de arrebenção como a de surfe propriamente dita.

As praias do litoral Norte do Rio Grande do Sul são extensas e retilíneas, com orientação geral NE-SW (figura 1), e constituídas por sedimentos arenosos finos, unimodais, com amplo predomínio da composição quartzosa, (Martins, 1967; Tomazelli & Villwock, 1992). As dunas frontais são feições maiores, que se destacam dentro de uma topografia de praia suave, formada por um pós-praia e uma zona de surfe larga e de baixo gradiente, com grande estoque de sedimentos subaquosos. Toldo Jr. *et al.* (1993 e 1994), as classificam num estado morfodinâmico dissipativo-intermediário e com baixa variabilidade temporal. Weschenfelder *et al.* (1997), com base na análise de parâmetros morfométricos do perfil praial, observou a existência de um ciclo de erosão (inverno) e deposição (verão).

Pelos registros de Motta (1969), as ondas incidentes no litoral têm duas direções predominantes, NE e SE. A ação do vento NE, vento local e mais frequente na região, origina a formação de vagas. As ondas de SE, denominadas de ondulação ou “*swell*”, apresentam comprimento de onda maiores e períodos de onda mais longos (superiores a 10s), sendo originadas à centenas de km da costa por ação do Anticiclone Móvel Polar. A altura anual da onda significativa é de 1,5m,

Figura 1 - Localização da área.

Figura 2 - Compartimentos do sistema praial no litoral de Osório-RS.

entretanto, ondas maiores que excedem freqüentemente 3,5m, são comuns durante o inverno (Calliari *et al.*, 1998). A amplitude média da maré astronômica na região é da ordem de 30cm (micromarés), sendo freqüentemente sobreposta por fenômenos meteorológicos, como os ventos do quadrante sul, que podem elevar o nível local a valores superiores a 1 metro acima do normal (Almeida *et al.*, 1997). Estas condições de alta energia geram uma zona de surfe totalmente dissipativa, segundo Wright & Short (1984), e freqüentemente ocorre o empilhamento do trem de ondas na costa, provocando escarpas na base da duna frontal.

A dinâmica do clima no litoral Norte do Rio Grande do Sul é determinada pela influência de dois centros de ação: o Anticiclone Semipermanente do Atlântico Sul e o Anticiclone Móvel Polar. O comportamento dinâmico das massas de ar varia ao longo do ano, em função dos anticiclones. Na primavera-verão, a insolação mais intensa no hemisfério sul desloca o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul mais para o sul, com predomínio do vento NE e de precipitações do tipo convectiva. O Anticiclone Móvel Polar, com penetrações mais freqüentes no outono-inverno, acompanha o deslocamento do centro de baixa pressão com a passagem da frente fria.

O vento NE, por ser o processo mais ativo na planície costeira, é o principal agente modelador da sua paisagem (Delaney, 1965; Tomazelli, 1993). Por este fato, Tomazeli (*op. cit.*) relacionou o regime de ventos atuantes na região, com a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul. Durante os meses de primavera-verão, quando os ventos do quadrante NE aumentam em freqüência e velocidade, observa-se um grande incremento no potencial de deriva das areias transgressivas para o interior do continente. Para Tabajara *et al.* (2000), o maior crescimento das dunas frontais durante o verão, deve-se à conju-

gação de três fatores: a) aumento do suprimento de areia, devido ao regime de ondas de mais baixa energia; b) alargamento e aumento do volume de areia depositada no pós-praia (Weschenfelder *et al.*, 1997), e, c) ventos de NE soprando a velocidades maiores à 5m/s, velocidade crítica para iniciar o movimento das areias pelo vento, Tomazelli (*op. cit.*).

METODOLOGIA

O Programa de Manejo das Dunas das Praias de Osório-RS que promoveu ações para proteger, recuperar e ordenar o uso de uma área piloto de 1km de extensão de praia (Fig. 3), pode ser definido em três etapas:

Atividades de diagnóstico e mapeamento

O recobrimento aerofotográfico vertical com o uso de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato (FAPEFs), obtidas com câmara não métrica (35mm), conforme Disperati (1991), tornou possível a caracterização das dunas frontais deste segmento de praia oceânica do litoral Norte do Rio Grande do Sul, segundo Zomer *et al.* (1997). Posteriormente, as aerofotos coloridas foram ampliadas até escala aproximada de 1:1.800, escaneadas individualmente, sobrepostas no software *Adobe Illustrator* para criação do mosaico fotográfico.

Para georeferenciar espacialmente o mosaico fotográfico à sua posição conhecida no terreno se utilizou a técnica da reamostragem. Eastman (1997) considera duas questões críticas para o sucesso deste processo: a obtenção de uma boa distribuição dos pontos de controle e a acurácia de posicionamento. Após a localização dos pontos de controle no campo com um GPS, a imagem foi processada no software *Idrisi 3.2*, resultando na resolução espacial de 1 metro.

Figura 3 - Mosaico de fotografias aéreas das praias de Atlântida Sul e Mariópolis (Data: 04/03/1998).

Atividades de recuperação das dunas frontais

De acordo com os experimentos de Tabajara *et al.* (2000), os sistemas estruturais mais efetivos e econômicos para construção de dunas frontais são os cercados simples paralelos ao mar, ao longo das dunas remanescentes, e os cercados transversais aos ventos dominantes do quadrante NE (Fig. 4). O material empregado na confecção das esteiras foram palhas de juncos (*Juncus* sp.) ou palhas de tiririca (*Scirpus* sp.), seguindo metodologia regional.

Nas áreas com escasso aporte de areia, como à sotavento do sangradouro próximo ao Perfil 5 (Fig.3), fez-se o preenchimento com o auxílio de uma cavadeira e uma caçamba, tendo como matéria fonte, as areias que invadiam a estrada da interpraia (Figs. 5 e 6). A

localização e a forma da duna reconstruída seguiu as características das dunas remanescentes. Neste caso, dado as limitações impostas pela proximidade da estrada, o perfil teve que ser simplificado a uma duna frontal com as seguintes características: altura da crista variando entre 1,5 a 2,0 m, e a declividade de 5:1 na fase para o mar e de 3:1 na fase continental.

As dunas preenchidas com máquinas foram fixadas através do plantio, em linha, de mudas de capim de praia (*Panicum racemosum*) e margarida de praia (*Senecio crassiflorus*), obedecendo uma distância entre cova de 45cm. Os colmos foram retirados da natureza em lugares estabilizados, submetidos a tratamento com substâncias enraizadoras e armazenados em sacos de algodão durante duas semanas, antes de serem transplantados para o terreno. Esta técnica de

Figura 4 - Esteiras confeccionadas com palhas de junco transversais ao vento NE (Data:15/06/1998).

Figura 5 - Areias transgressivas como fonte de material para o preenchimento de dunas.

repicagem de mudas é a mesma empregada para outras gramíneas de praia no mundo, relatada pelo *U.S. Army Corps of Engineers* (1984), *FAO* (1988), *Soil Conservation Service* (1990) e *Texas General Land Office* (1991). Em seguida ao plantio, se fez a rega e a pulverização de nutrientes químicos (nitrogênio e fósforo na base de 2:1), através de uma pipa de água conectada a uma bomba com mangueira.

A formação de um perfil vegetal sobre a duna estabelece a fixação definitiva das areias, mas requer um prazo de 3 a 5 anos de trabalho, por envolver uma sucessão botânica, estabelecida conforme a capacidade de crescimento das plantas frente ao soterramento e a resistência as condições ambientais extremas, tais como: abrasão eólica, temperaturas extremas, severa aridez, luz abundante, poucos nutrientes e inundação ocasional por água do mar (*Soil Conservation Service*, 1986; Clark, 1996).

O campo de dunas em estudo apresenta feições do tipo duna embrionária, duna frontal e pós-duna (Fig. 2), basicamente cobertas por plantas rasteiras com estolões ou rizomas, à exceção de algumas manchas de casuarinas introduzidas pelo homem no pós-duna.

Tabajara (2000b) apresentou a metodologia utilizada na formação de um perfil vegetal sobre as dunas da praia de Atlântida Sul, capaz de estabelecer a fixação definitiva das areias, a partir da deflexão para o alto dos ventos incidentes sobre a costa. A experiência de estabilização consistiu na formação de um perfil vegetal (Fig. 7), composto por três grupos de plantas:

a) espécies primárias- capins e rastejantes: *Panicum racemosum* (capim de praia), *Senecio crassiflorus* (margarida de praia) e *Spartina ciliata* (capim salgado).

b) espécies secundárias- arbustos e arvoretas: *Dodonea viscosa* (vassoura ferro), *Yucca* sp., *Casuarina equisetifolia* e *Acacia longifolia*.

c) espécies terciárias- árvores remanescentes da Mata Atlântica: *Psidium cattleianum* (araçazeiro), *Schinus terebinthifolius* (aroeira-vermelha), *Butia capitata* (butiazeiro), *Rapanea umbellata* (capororoca).

No extremo Norte do Projeto, próximo ao perfil P1, o pós-duna foi reformado com o auxílio de uma escavadeira. As areias com problemas de escape para a estrada foram reconduzidas até a duna frontal, o que também melhorou o acesso à praia. A estabilização do

Figura 6 - Construção de duna frontal com o uso de máquinas (Data: 03/12/1999).

Figura 7 - Perfil vegetal esquemático e a deflexão do vento, modificado do Soil Conservation Service, 1990.

terreno foi feita através de cobertura morta, empregando galhos de casuarina (Fig. 8).

Atividades de controle da degradação

A instalação de esteiras de palha (junco ou tiririca) sobre o campo de dunas, teve os seguintes objetivos:

a) proteger a base da duna frontal remanescente do pisoteio e das ressacas do mar através da instalação de esteiras paralelas ao mar, com aberturas a cada 30 metros ou mais de distância, a fim de permitir a passagem dos banhistas – figura 9, seguindo técnica aplicada pelo *Texas general Land Office* (1991) para a costa do Golfo do Texas.

b) manter o acesso à praia, na direção transversal ao vento dominante – NE, para minimizar os efeitos do vento sobre a trilha do caminho e concomitante construção de dunas transversais - figura 9.

c) controlar a ação erosiva do vento na formação de corredores de ventos “*blowouts*” na frente da duna frontal - figura 10.

d) proteger dos ventos os colmos vegetais plantados com a finalidade de fixar a duna.

Atividades em educação ambiental foram desenvolvidas através do tema “Conhecendo as Nossas Praias”, com objetivo de estimular uma mentalidade marítima em crianças da 7ª e 8ª série do 1º grau da Escola Municipal José Paulo da Silva – Balneário de Atlântida Sul. Utilizando uma abordagem experimental como subsídio a um programa de Educação Ambiental, os conteúdos tratados foram: 1) origem e morfologia das praias, 2) processos costeiros (ondas, correntes, marés e vento), 3) botânica marinha, 4) animais das nossas praias, 5) ecologia, 6) práticas de cidadania e 7) manejo de dunas - figura 11.

Os recursos instrucionais utilizados nas aulas teóricas foram: vídeos, diapositivos, transparências, quadro negro e material da litoteca do CECO/Ufrgs; nas aulas de laboratório no Ceclimar/Ufrgs, em Imbé: lupas binoculares, aquários e terrários; e nas aulas de campo, desenvolvidas na área de manejo, empregou-se instrumentos diversos para medir, por exemplo, os processos oceanográficos e eólicos - réguas graduadas, bússola, binóculo, corpo de flutuadores, balizas, cronômetro e anemômetro.

O sucesso na estabilização contínua de dunas, realçado em todos os programas internacionais cita-

Figura 8 - Reforma do pós-duna com o uso de máquinas e estabilização do terreno com cobertura morta (Data:22/02/2000).

Figura 9 - Esteiras de *Junco* sp. instaladas paralelas ao mar e próximas à base da duna frontal, e esteiras transversais ao vento dominante (NE) ordenando o acesso à praia, durante o verão de 2000.

Figura 10 - Esteiras de palha trapeando areias em bacia de deflação eólica formada na duna frontal.

Figura 11 - Alunos da escola municipal do balneário de Atlântida Sul participando do plantio de colmos de capim de praia em duna reformada (Data:16/12/1999).

dos e no manejo de praias (Bird, 1996), requer a cooperação pública. Placas sinalizadoras foram utilizadas com o propósito de divulgar o trabalho (Fig. 12) e para solicitar a cooperação dos usuários, evitando a depredação.

A construção de um muro de arrimo (Fig. 13), junto à saída do principal sangradouro das águas pluviais à praia, teve como objetivo, além da melhoria estética, controlar a erosão das ondas de tempestade e o rebaixamento da praia nas adjacências da duna frontal do experimento 5. Após o terreno ser moldado no perfil desejado, com declive próximo a 45°, o muro de contenção foi construído através do empilhamento de pedras, revestido internamente por filtros de cascalho e material geotextil (Bidim) e preenchida pela própria areia da praia, conforme revestimento de baixo custo sugerido por *US. Army Corps of Engineers* (1981).

O efeito dos processos eólicos e oceanográficos, bem como o efeito do manejo, sobre a forma da duna, foi monitorado através de nivelamentos geométricos dos perfis praia-duna e levantamentos planialtimétricos do relevo do campo de dunas, nos cinco segmentos costeiros estudados (Fig. 3) e um de controle, situado fora da área de manejo.

RESULTADOS

Diagnóstico e mapeamento

O mosaico fotográfico foi uma fonte de informações valiosas para o desenvolvimento do projeto, pois facilitou o planejamento e a escolha das técnicas de manejo. Após o processamento da imagem no software Idrisi, obteve-se a resolução espacial (1 m) necessária para identificar detalhes precisos das feições morfológicas existentes nas dunas frontais. A escala de 1:500 é considerada a ideal por ser capaz de identificar pequenos blowouts (5 metros de largura) e os lugares que requerem preenchimento (*Soil Conservation service*, 1990). Além disto, estas informações podem ser cruzadas com bancos de dados, gerando subsídios para estudos de apoio a decisão ou análise geográfica.

Atividades de recuperação das dunas frontais

A figura 14a mostra o mapa de contorno das curvas de níveis, referenciadas ao nível médio do mar, antes e depois da construção da duna com o uso de máquinas. Após o preenchimento de 210 m³, a isolinha

Figura 12 - Placa de divulgação do projeto (Data: 05/01/1999).

Figura 13 - Controle da erosão de sangradouro através da construção de um muro de arrimo (Data: 27/12/1999).

Figura 14a - Mapa de contorno da área do experimento 5 e perfil da duna P5, antes e depois do manejo.

dos 2 e 2,5 metros avançaram em direção à praia, ocupando o espaço anteriormente vazio. O formato da duna no perfil de praia-duna P5 (Fig. 14b), assinalado no mapa de contorno, mostra a base da duna frontal próxima a isolinha dos 1,5 metros e uma crista de duna com altura mínima de 1,5 metros.

Apesar das limitações impostas pela proximidade da estrada na construção deste perfil de duna, a sua altura e volume foram suficientes para proteger a estrada contra os ataques por ondas de tempestade. O estabelecimento da vegetação primária melhorou a paisagem, aprisionando as areias e evitando o seu transporte pelo vento para dentro do passeio público e residências.

O plantio da vegetação pioneira, composta por capim de praia e margarida de praia, foi feito em seguida após a construção das dunas dos perfis P5 e P5'

(Fig.14b). Constatou-se que para o mesmo tratamento, as estacas de margarida de praia tiveram uma sobrevivência de somente 30%, bem inferior aos colmos de capim de praia.

Os resultados na sobrevivência também foram diferentes em função da coincidência, ou não, do transplante das mudas com as precipitações pluviométricas. Enquanto na duna do perfil P5, o plantio foi feito logo após um período de chuvas (dezembro/99), o plantio na duna P5' foi realizado durante uma estiagem (fevereiro/2000), fato que refletiu numa mortalidade próxima a 70% do cultivado.

Testes de germinação das sementes das margaridas de praia em laboratório e do desenvolvimento das plântulas à campo (Tabajara, 2000a), indicam a possibilidade de quebra de dormência à frio das sementes, conforme Cordazzo & Souza (1993), e cultivo

Figura 14b - Mapa de contorno que mostra a base da duna frontal.

das sementes pré-germinadas na palha, em substrato preparado numa mistura de 50% de areia de duna, 25% de argila e 25% de vermiculita.

A análise dos embriões das sementes de capim de praia (Tabajara, *op. cit.*) mostraram uma produção numerosa de sementes estéreis (acima de 90%), o que justifica a produção de colmos desta planta por método vegetativo, à exemplo do empregado com a gramínea européia fixadora de dunas, o *Marran grass* (*Ammophila arenaria*) e o capim americano, o *Bitter panicum* (*Panicum amarum*).

A figura 15 mostra uma área crítica próxima ao perfil P1 (Fig. 3), no extremo Norte do Projeto. Antes do manejo, havia a tendência de escape das areias para a estrada devido a presença de superfícies irregulares e dunas do tipo *hummocky* que proporcionavam aumentos no fluxo do vento NE, prevalecente. Com a reforma, além da maior facilidade de acesso dos usuários à praia, a duna tornou mais estável a sua face à barlavento. O emprego dos galhos de casuarina como cobertura morta no pós-duna, pode favorecer a formação de um perfil vegetal mais arbóreo, embora exótico, em função da germinação das suas sementes.

Atividades de controle da degradação

A instalação de esteiras sobre a área de manejo teve um papel importante na proteção da cobertura

vegetal, no ordenamento do espaço e no controle dos corredores de escape de areia. Esteiras alinhadas paralelas ao mar, distantes 3 a 6 metros da base da duna frontal remanescente (Fig. 10), exercem importante controle das atividades recreativas, porque ao definir passagens específicas e permanentes aos banhistas, evitam o excesso de pisoteio. Favorecem também a formação de uma protoduna, que pode coalescer com a duna frontal durante o verão, resultando em uma duna maior, mais convexa e estável aos ventos incidentes sobre a costa. Esta acumulação de areia na frente do sistema de dunas o protege do embate das ondas de tempestades. Já a instalação de esteiras transversais ao vento dominante – NE, direciona o caminho de acesso à praia (Fig. 9) e controla a formação de corredores de vento (*Texas General Land Office, 1991*), além de ser um eficiente método de construção de dunas transversas (Tabajara *et al.*, 2000). O uso de esteiras também foi uma eficiente técnica de reforma de duna, ao evitar o agravamento de *blowouts* (Fig. 10).

O programa promoveu uma contínua realimentação da sua proposta de proteção das dunas à comunidade local, veranistas e autoridades públicas. As experiências em educação ambiental perfizeram um total de 36 horas, dando subsídios à elaboração de uma cartilha formatada em computador, onde inicia-se o conhecimento sobre a estrutura, função e dinâmica dos ambientes de praia e duna. Sendo uma atividade

REFORMA DA DUNA COM MAQUINAS

Figura 15 - Mapa de contorno da área do experimento 1, antes e depois do manejo.

complementar ao programa de manejo, tornou os alunos da escola local parceiros do projeto, ao capacitá-los na avaliação e na resolução dos problemas de degradação existentes. Durante os serviços de campo, havia uma permanente disposição da equipe de trabalho em explicar e sensibilizar a população sobre os objetivos do plano, o que gerou entendimento, aceitação e até envolvimento por parte da comunidade. A divulgação na mídia fez o plano ganhar notoriedade e respeito também junto aos políticos locais.

A construção de um muro de arrimo (revestimento de pedra) sobre as escarpas laterais ao sangradouro P5 (Figs. 3 e 13), trouxe benefícios no controle da erosão sobre a duna adjacente, melhoria estética da paisagem e facilidades de acesso à praia. Controlou a erosão incidente nas dunas ao absorver a energia das ondas de tempestade, durante o outono e inverno, e ao evitar a formação de ravinas devido ao fluxo das águas pluviais à praia. Também valorizou a paisagem ao permitir o plantio de plantas em solo argilo-arenoso no topo do preenchimento e facilitou o

acesso dos veranistas à praia pela formação de um talude lateralmente suave.

DISCUSSÃO

Basicamente, esta pesquisa pode ser subdividida em dois períodos distintos: a) período de acreção de areia à duna frontal, março/98 a março/99, com taxas de deposição positivas, e, b) período de erosão com distúrbios permanentes nas dunas frontais, a partir de abril/99 até abril/2000. A figura 16 apresenta uma taxa média de deposição de areia na duna frontal representativa deste período de estudo, e que pode orientar futuras ações de manejo.

Período de acreção

No período entre março/1998 a março/1999, o sistema de dunas da área de manejo apresentou estoque positivo, devido ao aporte contínuo e sedimentação das areias junto as esteiras de palhas e no interior da

Figura 16 - Variações sazonais na taxa média de erosão e deposição nas dunas frontais da área piloto.

vegetação psamófitas. No final da primavera de 1998, com o aumento do suprimento de areia pelo mar e alargamento do pós-praia, aumenta o potencial de transporte eólico das areias pelo vento do quadrante NE para o interior do continente. Estando o pós-praia superior colonizado com as plantas pioneiras *Paspalum vaginatum* e *Blutaparon portulacoides*, dá-se a apreensão das areias e formação de uma duna embrionária incipiente junto à base da duna frontal. Com o aumento da taxa de sedimentação no verão, a duna embrionária coalesce com a duna frontal, sendo a vegetação substituída por espécies capazes de resistir mais ao soterramento e ressecamento, como o capim de praia (*Panicum racemosum*) e margaridas de praia (*Senecio crassiflorus*), avançando o sistema sobre o pós-praia (figura 17 - estudo de caso perfil 3).

Período de erosão

Após a incidência de três ciclones extratropicais, ocorridos entre 17 de abril e 30 de maio de 1999, à erosão iniciada por ondas, que destruiu parcialmente a cobertura vegetal da duna frontal, seguiu-se a erosão eólica na primavera (Fig. 16). A onda de tempestade é o agente primário de erosão nas dunas frontais (Carter *et al.*, 1990), favorecendo o escape posterior das areias para o interior do continente, transportadas pelos fortes ventos de primavera. Como consequência, durante o período de erosão, as ações de manejo exigiram a utilização de esteiras para fechar as pequenas brechas (buracos de até 5 metros de largura) na duna frontal, evitando a formação de

corredores de areia e a sua fuga do sistema praial. As dunas com escassa vegetação, como as representada pelo perfil P3, foram as mais vulneráveis a erosão por ondas (Fig. 17) e aos efeitos deletérios do vento na formação de *blowouts* (Fig. 10).

O transporte eólico das areias em direção ao continente é uma função do volume de areia disponível na praia, da forma e extensão subaérea da praia e a natureza do fluxo aerodinâmico através da praia (Short & Hesp, 1982). Admitindo a presença de vegetação/esteiras para o trapeamento eólico da areia no pós-praia superior, variações nestes fatores determinam o grosso da morfologia das dunas frontais. O crescimento das taxas de sedimentação na duna frontal, durante a primavera/verão (Fig. 16), é uma conjunção de pelo menos três fatores: alargamento da praia subaérea, aumento do volume de areia disponível na praia e ação dos ventos do quadrante NE em velocidades acima de 5 m/s. O transporte de areia em direção à praia torna-se mais evidente nos perfis de verão, pelo aumento da declividade e formação de bermas no estirâncio superior. Este movimento de sedimentos normal à linha de costa modifica a forma de praia e a zona de estoque sedimentar, refletindo a troca cíclica de sedimentos (inverno/ verão) entre a zona de surfe, a praia e a duna frontal (Fig.16).

Diagnóstico

Em um número significativo de sistemas de dunas, localizados no noroeste da Europa, foram identificadas a maior ou menor vulnerabilidade recor-

Figura 17 - Comportamento do perfil praia-duna P3, após a incidência de ciclones extratropicais no outono de 1999.

rendo ao “checklist” (Willians *et al.*, 1993). O grupo de parâmetros analisados são: a) morfologia das dunas, b) condições da praia, c) características dos 200m adjacentes ao mar, d) pressão de uso, e) medidas de proteção recente. Este estudo de suscetibilidade do campo de dunas, ao revelar o seu panorama antecedente, é uma ferramenta de grande utilidade para adoção de estratégias de gestão. Estas informações podem ser associadas a um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e atualizadas através de monitoramentos sazonais (inverno e verão).

Etapas de recuperação de dunas

Antes de se implementar qualquer programa de manejo ou reabilitação de dunas, certas informações devem ser levantadas, a fim de se apropriar os métodos e as técnicas possíveis de resolver os problemas existentes em toda a área de duna (Soil Conservation Service, 1990). Esta investigação e planificação devem responder algumas questões; tais como: causas da erosão, uso desejado do solo, início dos trabalhos, suporte financeiro disponível, disponibilidade e quantidade de mão de obra, máquinas necessárias para execução dos trabalhos, manutenção, nível de consciência e envolvimento da comunidade. O fluxograma da figura 18 apresenta as etapas a serem vencidas em qualquer plano de manejo de dunas.

O uso de uma técnica ou a combinação de técnicas utilizadas para um sistema de dunas, pode não ser adequado para outro. Como exemplo podemos citar o relativo fracasso, durante o primeiro ano do projeto (1998), na construção de uma duna frontal com o uso de esteiras, em área adjacente à sangradouro, com

baixo aporte de sedimentos (Tabajara *et al.*, 2000). A solução somente veio na segunda etapa do projeto (1999/2000), com o preenchimento do sistema de dunas através de areias importadas de outras fontes.

Para o Soil Conservation Service (1986 e *op. cit.*) a reforma de dunas deve envolver o preenchimento, a estabilização de pequenos “Blowouts” e, em larga escala, a reconstrução de centenas de metros de duna frontal. Incluem dois métodos principais: a) importação de areia de outros lugares ou movimento de areia do próprio local com o uso de máquinas e, b) forma-

ETAPAS DO MANEJO DE DUNAS

Figura 18 - Fluxograma das etapas a serem obedecidas para o sucesso do plano de manejo.

ção de dunas com esteiras para apreensão de areia. Na última opção, a esteira reduz a velocidade do vento e, assim, torna-se capaz de capturar areia. A taxa de formação de duna usando esteiras depende do volume de areia trazida pelos ventos desde a praia. As esteiras por terem capacidades limitadas de apreensão de areia (6 m^3), devem ser sobrepostas por novas esteiras à medida que vão sendo enterradas (normalmente isso ocorre entre janeiro e fevereiro), ou mantidas até o estabelecimento da vegetação.

O primeiro passo em qualquer programa de revegetação é plantar as espécies primárias pelas suas capacidades de aprisionar areias, e, assim, fornecer a condição para que mais tarde, arbustos e árvores se estabeleçam protegidos da abrasão eólica. Tal como o programa de revegetação australiana que utiliza as gramíneas “marram”- (*Ammophila arenaria*) e “spinifex” (*Spinifex sericeus*) consorciadas; colmos de capim de praia podem ser plantados entre abril e agosto, enquanto sementes pré-germinadas de margarida de praia podem ser plantadas nos meses mais quentes, sob a proteção de palhas ou entre o capim. A utilização do capim salgado (*Spartina ciliata*) ancorado nestas duas plantas resulta numa maior deflexão inicial do vento, devido aos seus numerosos caules aéreos que podem atingir alturas entre 100 a 160cm (Cordazzo & Seeliger, 1995).

A gramínea *Panicum rasemosum* é a espécie pioneira mais vigorosa e com maior capacidade de regeneração de todas, sendo a principal fixadora de areia da costa sul brasileira (Pfadenhauer, 1978; Costa *et al.*, 1984). Uma duna frontal estabilizada naturalmente por capim de praia, tem a capacidade de retenção de $12 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (Tabajara, 2000 b), similar ao capim de praia europeu (*Ammophila arenaria*) capaz de reter $13,8 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ (U.S. Army Corps of Engineers, 1984). A sua produção numerosa de sementes estéreis (acima de 90%), justifica a reprodução por método vegetativo.

Entre os anos de 1943 e 1946, o projeto pioneiro de fixação de dunas e areias movediças da restinga da Marambaia, costa SE brasileira (Matos, 1947; Barbosa, 1948) empregaram métodos estruturais e vegetativos na estabilização de dunas frontais. As plantas utilizadas foram o gravatá (*Nidularium* sp.), salsa de praia (*Ipomea pes Caprae Sweet*) e fava da praia (*Canavalia obtusifoliae*), vegetais mais comuns nas praias abrigadas do tipo morfodinâmico intermediário-refletivo, portanto, com menos mobilidade de areia.

As águas naturais do lençol freático levam um tempo considerável para elevar-se até o nível dos colmos vegetais, quando as areias são importadas para aumentar a altura da duna. Para o *Soil Conservation Service* (1986), o plantio nestas circunstâncias deve ser feito somente após fortes chuvas ou rega abundante. Este fato, não foi considerado no momento do plantio dos colmos de capim de praia na duna do perfil P5', em fevereiro/2000, o que provocou uma grande mortalidade das plantas por ressecamento devido a estiagem prolongada. Esta dificuldade, no entanto, pode ser solucionada quando se investe em práticas que prevêm a instalação de um sistema de irrigação por gotejamento (Hamilton *et al.* 1995).

O efeito de ciclones extratropicais sobre as dunas frontais da área de manejo, durante o outono de 1999, demonstrou que para ondas de até 8 metros incidindo na costa gaúcha (Inpe, 1999), ocorre uma elevação de 2,5 metros do nível do mar e formação de escarpas de até 1,5 metros de desnível na duna frontal. Nas áreas ausentes dessa proteção, próximas aos sangradouros das ruas das praias de Osório, houve a inundação das ondas das ressacas e destruição da estrada. Portanto, 1,5 m é a altura mínima para construção de dunas com a função de proteção das infra-estruturas urbanas.

A fragilidade das áreas próximas aos sangradouros, durante os eventos de tempestade, deve-se ao constante rebaixamento do pós-praia causado pelo fluxo de drenagem das águas continentais, o que favorece a penetração das ondas de maior energia. Alia-se ao fato de que nestas áreas, as dunas são pouco desenvolvidas em função do baixo aporte de sedimentos.

Atividades de controle da degradação

Todos os programas internacionais preconizam o controle das atividades recreativas nas áreas de uso intensivo das praias, a fim de evitar a destruição das dunas e sua vegetação. Isto pode ser impedido em grandes extensões, à partir da instalação de cercas na periferia do campo de dunas, direcionamento dos acessos transversais ao vento dominante e construção de passarelas por cima das dunas ou estrados de madeira pelo chão. As áreas de estacionamento de veículos, quiosques e outros serviços devem ser locadas o mais longe possível atrás das dunas.

O dilema no manejo costeiro é que as dunas são extremamente frágeis e não suportam a pressão da comunidade, mas compõem um valioso recurso de lazer popular. Por isso, parte do sucesso de um programa de

manejo, deve-se a uma série de medidas desenhadas para sensibilizar a população, capazes de gerar mudanças de atitudes e diminuir o impacto físico das pessoas sobre o sistema de praia. Portanto, uma estratégia de manejo sobre a comunidade deve considerar a sua conscientização e envolvimento no projeto.

As Nações Unidas (1983) classificam funcionalmente o muro de contenção como um método estrutural para o controle da erosão a partir do fortalecimento da linha costeira. Sendo a estrutura de construção dos muros mais rápida e frágil que os diques, a sua finalidade é proteger as terras do ataque de ondas e correntes de mais suave energia. São uma das formas mais simples de proteção das instalações urbanas nas partes altas contra ação das ondas. O peso do bloco rochoso não precisa ser considerável, por isso, esta estrutura pode resultar pouco custosa, sempre que se disponha dos materiais necessários (U.S. Army Corps Engineers (1981).

O muro de contenção fracassará se a sua base não for protegida, especialmente próxima à saída das manilhas, onde ocorre o rebaixamento do nível de base devido ao fluxo de água, nos períodos de chuva. O mais comum é que o pé seja protegido com um manto rochoso, ou situando-o por debaixo do nível de escavação. Para o cordão de dunas não ficar segmentado (observar figura 2, junto aos sangradouros), a Prefeitura deverá prolongar as manilhas de drenagem, pelo menos 8 metros para dentro da praia.

Legislação, Fiscalização e Normatização

Sob a luz da legislação federal, o espaço compreendido por praias e dunas é uma Área de Preservação Permanente, de uso comum do povo, vedada a sua apropriação, ocupação e descaracterização – Lei n. 7661/88 art. 10 do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro. Sendo bens pertencentes à União, são passíveis de proteção pelos meios jurídicos através de ação popular ou ação civil pública – Constituição Federal de 1988 art. 225. No entanto, a falta de fiscalização e de informação da população, não faz valer esse direito constitucional em defesa da sua qualidade de vida (Cavedon & Diehl, 2000). A situação torna-se ainda mais dramática pelo fato dos administradores públicos litorâneos serem muitas vezes coniventes com a depredação, por desconhecerem a função de proteção das dunas. Por isso, faz-se necessário na implantação de Programas de Manejo de Dunas, a inclusão de programas de educação ambiental em todos os níveis e campanhas explicativas a população conjugado a ações de vigilância ambiental.

Ao considerarmos a legislação estadual, constata-se também a responsabilidade do estado em desenvolver ações permanentes de proteção, restauração e fiscalização, incumbindo-lhe promover o gerenciamento costeiro. O estado deve dar suporte técnico aos municípios costeiros para estes desenvolverem o meso/microzoneamento (Estado do Rio Grande do Sul, 2000), juntamente com os segmentos sócio/econômicos representativos do município, e por extensão empreender programas de proteção e estabilização de dunas frontais.

Nos Estados Unidos vários programas de manejo (Mckenna *et al.*, 1993, Hamilton *et al.*, 1995 e Marra, 1993) envolvem uma constante e estreita coordenação entre o Estado e as Instituições locais. Na costa do Golfo do Texas, a estatal *General Land Office* formulou as normas de gestão costeira para fins de proteção do sistema praia/duna, e regulamentou o acesso e uso das praias. Em síntese, destacam os principais critérios para que os municípios costeiros elaborem os seus próprios planos de proteção de dunas e preparem os acessos à praia. O papel do estado é revisar os planos, estando de acordo com as normas, permitir a execução e prestar assistências técnicas. Outros programas situados na costa da Florida e na costa Oeste preconizam a execução de planos de metas multi-institucionais e de conscientização da população.

CONCLUSÕES

O princípio básico no manejo de dunas é a manutenção de uma satisfatória cobertura vegetal sobre a duna frontal, para evitar a fuga das areias para o interior do continente e a sua desvinculação do sistema praial. Para ter sucesso, todo o programa deve envolver o uso correto do espaço costeiro através da conservação das dunas existentes, recuperação das dunas com problemas e organização das atividades recreativas.

Conforme as experiências vividas no projeto experimental de manejo de dunas nas praias de Osório, corroborada pelos resultados obtidos em programas equivalentes no mundo, qualquer programa de manejo de dunas deve considerar o seguinte:

a) O planejamento do uso do espaço na frente da praia deve conceder uma zona tampão entre as propriedades privadas e as áreas ativas da praia, condicionadas às mudanças de curto período (ciclos de erosão e deposição), tempestades e ciclones extratropicais e a tendência de subida do nível do mar atual.

b) Todo o programa de manejo deve considerar as seguintes etapas: diagnóstico ambiental, planejamento participativo, implementação do projeto, monitoramento e programa de manutenção, com larga escala temporal.

c) As técnicas de reabilitação e reforma de dunas envolvem o preenchimento das áreas com escasso aporte de areia e plantio da cobertura vegetal, controle de pequenos “blowouts” e, em larga escala espacial, a reconstrução de centenas de metros de duna frontal.

d) O controle das atividades recreativas é fundamental para evitar a destruição das dunas e a sua vegetação, isto significa principalmente controlar o acesso para pedestres e veículos às praias.

e) Uma estratégia de manejo sobre a comunidade deve considerar: conscientização pública, incluindo a educação ambiental dentro do currículo escolar, envolvimento da comunidade e conscientização das autoridades.

f) As áreas adjacentes aos sangradouros são áreas críticas de erosão, cujos problemas podem ser amenizados com as seguintes medidas: 1) prolongamento das manilhas dos sangradouros, ancorado a muros de arrimos no pós-praia superior, 2) preenchimento das dunas adjacentes com o uso de máquinas, importando material similar de outros locais.

O governo do Estado através dos seus órgãos responsáveis pelo uso e conservação de solos deve incentivar os municípios e autarquias litorâneas a realizarem os seus planos de manejo locais. Para tanto, deve elaborar um documento que normatize o uso das áreas na frente da praia, proteção da dunas e regulamente os acessos à praia. A promulgação desta Lei estabelecerá as metas para o planejamento e o manejo de dunas, que deve ser assistido tecnicamente pelo Estado.

A vegetação primária, combinada com os arbustos e as árvores, fornece uma cobertura auto-sustentável para a duna. O perfil vegetal ao fazer a deflexão dos ventos para cima (Fig. 3), provoca a deposição das areias junto a duna embrionária ou frontal, mantendo-as integradas ao sistema praial. O sucesso do programa também promoverá a redução de custos de manutenção, a valorização da paisagem e a formação de habitat para a fauna nativa, especialmente pássaros.

Finalmente, cabe considerar que a utilização das zonas costeiras, ao redor das quais vivem cerca de três quartos da população mundial e para onde convergem várias tendências socioculturais e econômicas, em alguns casos de natureza conflituosas, recomenda

a realização de trabalhos como o ora realizado. Isto tem sido prioritário em várias iniciativas lideradas em escala mundial, por organismos governamentais (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization-UNESCO) e não governamentais (International Council for Scientific Union-ICSU), conduzindo a produção de recomendações, normas e manuais relativos à gestão adequada dos sistemas costeiros. Sendo integrada por sistemas naturais produtivos, complexos e de grande diversidade resultante da interação terra/ mar, a zona costeira permanece ainda pouco conhecida e estudada.

Nos países desenvolvidos a preocupação na manutenção dos ambientes costeiros tem sido prioridade absoluta, numa dimensão federal, estadual e até municipal (Pradson *et al.*, 1994). Em termos de Brasil, torna-se necessário um esforço crescente das agências financiadoras do governo e mesmo iniciativa privada em estimular estudos desta natureza. Apesar da zona costeira ser considerada estratégica, em documento recente elaborado pela comunidade científica (Política Nacional de Ciência e Tecnologia do Mar) e aprovado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT (2001), a quantidade de recursos assegurados são ainda escassos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro recebido para o desenvolvimento do presente estudo. Também o apoio logístico recebido junto aos órgãos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CECLIMAR e CECO) e Instituto de Geociências e Instituto de Pesquisas Hidráulicas, da mesma Universidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L.E.S.B., Rosauro, N.L. & Toldo Jr., E.E. 1997. Análise Preliminar das Marés na Barra do Rio Tramandaí (RS-Brasil). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., 1997, Vitória-ES. *Anais...* Vitória-ES:ABRH, v. 4, p. 559-556.
- Barbosa, J.C.M.H. 1948. Fixação de dunas e seu aproveitamento- o problema das dunas da restinga de Marambaia. *Anuário Brasileiro de Economia Florestal*, 1(1):312-333.
- Bird, E.C.F. 1996. *Beach Management*. Chichester, England: John Wiley, 281p.
- Brasil, 1988. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília: Senado Federal, Centro Gráfico.
- Calliari, L. J.; Speranski, N. & Boukareva, I. 1998. Stable Focus of Wave Rays as a Reason of Local Erosion at the Southern Brazilian Coast. *Journal of Coastal Research*. SI (26) ICS '98 Proceedings, Fort Lauderdale, Florida. p. 19-23.

- Carter, R.W.G., Hesp, P. & Nordstrom, K.F. 1990. Erosional landforms in coastal dunes. In: Karl F. Nordstrom (ed). **Coastal Dunes: Form and Process**. Chichester, John Wiley. p.217-250.
- Cavedon F.S. & Diehl, F.P. 2000. Praias e Dunas: Proteção Legal e Conflitos de Uso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PRAIAS ARENOSAS, I., 2000, Itajaí. **Anais...** Itajaí, Univali/CTTMarr, p.348-350.
- Clark, J.R. 1996. **Coastal Zone Management**. Boca Raton, CRC Lewis Publishers, 694p.
- Cordazzo, C.V. & Seeliger, U. 1995. **Guia ilustrado da vegetação costeira no extremo sul do Brasil**. Rio Grande, FURG, 275p.
- Cordazzo, C.V. & Souza, H.Z. 1993. Germinação de *Senecio crassiflorus* (Compositae). **Revista Brasileira de Biologia**, 53(1):81-86.
- Costa, C.S.B.; Seeliger, U. & Cordazzo, C.V. 1984. Aspectos da ecologia populacional do *Panicum racemosum* (SPRENG) nas dunas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. In: Lacerda, L.D.L.D.; Araújo, D.S.; Cerqueira, R. & Turq, B. (Eds.). **Restingas: Origem, Estrutura, Processos**. Niterói, UFF. p.395-411.
- Cullen, P. 1982. Coastal zone management in Australia. **Coastal Zone Management Journal**, 10(1):182-212.
- Delaney, P. 1965. Fisiografia e Geologia de Superfície da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Escola de Geologia/UFRGS. **Publicação Especial nº6**, 105p, 8 maps.
- Disperati, A.A. 1991. **Obtenção e uso de fotografias aéreas de pequeno formato**. Curitiba, UFPR-FUDEP, 290 p.
- Eastman, J.R. 1997. **Idrisi For Windows – Manual do Usuário**. Porto Alegre, Centro de Recursos Idrisi. UFRGS, 240 p.
- Estado do Rio Grande do Sul, 2000. **Código Estadual do Meio Ambiente - Lei Estadual nº11.520 de 03.08.2000**. Porto Alegre, Assembléia Legislativa, Corag, 6p.
- FAO, 1988. Manuel de fixation des dunes. Departemenent de forêts de FAO. **Cahier FAO Conservation** n.18, 57p.
- Hamilton, T., Morris, G. & Setti, R.M. 1995. Coastal Revegetation with Compost and Xeriscape Technology. Sand Wars, Sand Shortages & Sand-holdin Structures. In: NATIONAL CONFERENCE ON BEACH PRESERVATION TECHNOLOGY, 1995. **Proceedings...**, p.181-193.
- Hofmann, B., 1940. **A fixação de dunas**. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul. (Boletim, nº79).
- Inpe, 1999. **Atlasul**. São José dos Campos, Inpe. Disponível em: <http://www.atlasul.inpe.br>. Acesso em 10 set. 2001.
- Marra, J.J. 1993. Sand Management Planning in Oregon. **Coastal Zone**, 93:1913-24
- Martins, L.R. 1967. Aspectos texturais e deposicionais dos sedimentos praias e eólicas da planície costeira do Rio Grande do Sul. **Publicação Especial. Escola de Geologia/UFRGS**, 13. 102p.
- Matos, H.P., 1947. Fixação de Dunas e Areias Movediças. **Revista Florestal**, 6(1):47-67.
- Mckenna, K.K.; Davenport, S.S.; Wadick, A.K. & Texas General Land Office, 1993. Management of the beach/dune system in texas. The state of art of beach nourishment. NATIONAL CONFERENCE ON BEACH PRESERVATION TECHNOLOGY, 1993. **Proceedings...** p.385-398.
- Ministério de Ciência e Tecnologia, 2001. **Política Nacional de Ciência e Tecnologia do Mar**. Brasília, DF, MCT, 22p.
- Motta, V.F. 1969. **Relatório Diagnóstico Sobre a Melhoria e o Aprofundamento do Acesso pela Barra do Rio Grande**. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS, 144p.
- Nações Unidas, 1983. **Tecnologias para o control de la erosion costera**. Nova York, DAESI/Nações Unidas. 142p. (ST/ESA/116).
- Pfadenhauer, J. 1978. Contribuição ao conhecimento da vegetação e de suas condições de crescimento nas dunas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biologia**, 38(4): 827-836.
- Pradson, L.; Divins, D.; Butler, T.; Metzger, D.; Sharman, G.; Steele, M.; Berggren, T.; Holcombe, T. & Ramos, R., 1999. Exposing the U.S. Coastal Zone. **EOS**, 80(4):37-42.
- Ranwell, D. & Boar, J. 1986. **Coast Dune Management Guide**. Huntingdon, UK, Institute of Terrestrial Ecology, 105p.
- Short, A.D. & Hesp P.A., 1982. Wave Beach and Dune Interactions in Southeastern Australia. **Marine Geology**, 48: 259-284
- Soil Conservation Service, 1986. **Beach Dunes - their use and management**. Sidney, Soil Conservations Service of NSW, 32p.
- Soil Conservations Service, 1990. **Coastal Dune Management: A manual of Coastal Dune Management and Rehabilitations Techniques**. Sidney, Soil Conservations Service of NSW, 75p.
- Tabajara, L.L. 2000 a. **Plano Experimental de Manejo das Dunas das Praias de Osório-RS**. Porto Alegre, Ceclimar/ Ufrgs. Relatório Técnico Conclusivo, período ago/99 a abr/2000, 80p. (inédito)
- Tabajara, L.L. 2000 b. Perfil vegetal na estabilização de dunas frontais nas praias de Osório-RS. In: SEMANA NACIONAL DE OCEANO-GRAFIA, 13., 2000, Itajaí, SC. **Anais...** Itajaí, Univali, 831-833
- Tabajara, L.L.; Martins, L.R. & Ferreira, E.R., 2000. Efetividade de métodos estruturais na construção de dunas frontais. **Pesquisas em Geociências**, 27(1):97-109.
- Texas General Land Office, 1991. **Dune Protection and Improvement Manual**. Austin, Texas, Resource Management and Development, 25p.
- Toldo Jr., E.E.; Dillenburg, S.R. ; Almeida, L. E. S.B.; Tabajara, L.L.; Ferreira, E.R. & Borghetti, C. 1994. Parâmetros Morfodinâmicos e Deriva Litorânea da Praia de Tramandaí, RS. **Geosul**, 16(1): 75-88.
- Toldo Jr., E.E.; Dillenburg, S.R.; Almeida, L.E.S.B; Tabajara, L.L.; Martins, R.R. & Cunha, O.B.P. 1993. Parâmetros Morfodinâmicos da Praia de Imbé, RS. **Pesquisas**, 20(1):27-32.
- Tomazelli, L.J. 1993. O regime de ventos e a taxa de migração das dunas eólicas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas**, 20(1):18-26.
- Tomazelli, L.J. & Villwock, J. A. 1992. Considerações sobre o ambiente praias e a deriva litorânea ao longo do litoral Norte do Rio Grande do Sul. **Pesquisas**, 19(1):3-12.
- Tomazelli, L.J.; Villwock, J. A.; Barboza, E.G.; Buchmann, F.S.C. & Santos, L. A.O., 1999. A erosão costeira no Rio Grande do Sul: uma avaliação das causas e conseqüências. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 7., 1999, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro, ABEQUA, CD ROM
- U.S. Army Corps of Engineers, 1984. **Shore Protections Manual**. Vicksburg, MS, Army Engineer Waterways Experiment Station, v.2, p.37-53.
- U.S. Army Corps of Engineers, 1981. **Low Cost Shore Protection**. Philadelphia, Rogers, Golden & Halpern, 37p. broch.
- Weschenfelder, J.; Ayup-Zouain, R.N.; Zomer, S.L.C & Souto, R.P. 1997. Caracterização morfológica das praias oceânicas entre Imbé e Arroio do Sal, RS. **Notas Técnicas**, 10:35-48.
- Willians, A.T.; Davies, P.; Curr, R.H.F.; Koh, A.; Bodéré, J.C.I.; Hallégouet, B.; Meur, C. & YONI, C. 1993. A check-list assessment of dune vulnerability and protection in Devon and Cornwall, UK. In: Magoon, O. (Ed). **Proceedings Coastal Zone '93**, 3395-3408. New York, NY, Amer. Soc. Civ. Eng.
- Wright, L.D. & Short, A.D. 1984. Morphodynamic Variability of Surf Zones and Beaches: A synthesis. **Marine Geology**, 56:93-118.
- Zomer, S.L.C.; Ayup-Zouain, R.N.; Weschenfelder, J. & Lange, O. 1997. Recobrimentos aerofotográficos verticais 35 mm no estudo do ambiente praias entre Salinas e Arroio do Sal (RS). **Notas Técnicas**, 10: 49-59.