



Revista de Gestão Costeira Integrada -
Journal of Integrated Coastal Zone
Management

E-ISSN: 1646-8872

rgci.editor@gmail.com

Associação Portuguesa dos Recursos
Hídricos

Tabajara, Luiz L. C. A.; de Oliveira, Julio F.; Terra Leite, Pedro; de Oliveira, Rafael M.;
Franchini, Ricardo A. L.; Cristiano, Samanta C.; Claussen, Miriam R. S.
Critérios para a Classificação e Manejo de Costa Arenosa Dominada por Ondas e com
Intensa Ocupação Urbana: o caso de Imbé, RS, Brasil
Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management,
vol. 13, núm. 4, 2013, pp. 409-431
Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos
Lisboa, Portugal

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=388340143002>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

CrITÉRIOS para a Classificação e Manejo de Costa Arenosa Dominada por Ondas e com Intensa Ocupação Urbana: o caso de Imbé, RS, Brasil *

Classification criterion sand management of a wave-dominated sandy coast with intensive urban occupation: the Imbé Case, RS, Brazil

Luiz L. C. A. Tabajara ¹, Julio F. de Oliveira ^{@,2}, Pedro Terra Leite ³, Rafael M. de Oliveira ², Ricardo A. L. Franchini ², Samanta C. Cristiano ², Miriam R. S. Claussen ⁴

RESUMO

A necessidade do município de Imbé (RS) de elaborar o seu Plano de Manejo de Dunas ensejou a construção deste método para o gerenciamento costeiro ativo de setores da costa. Entre dezembro de 2011 e março de 2012, o estudo diagnóstico se apropriou de técnicas clássicas da morfodinâmica praias, dinâmica sedimentar, morfologia e ecologia das dunas, complementadas com a obtenção de uma matriz de dados ambientais e de padrões urbanísticos (*checklist*) para definição de índices de vulnerabilidades (IVR). Inicialmente, quatro setores costeiros com características similares foram identificados, a saber: Setor sul (a)- costa urbanizada sem dunas; Setor sul (b)- costa em erosão por ondas e sangradouros; Setor central- costa estável a progredante; Setor norte- costa em erosão gradual. A análise por agrupamento da matriz de dados permitiu classificar cinco grandes grupos, entre os quais dois grupos prioritários ao manejo, segundo o comportamento das variáveis empregadas na taxação da lista de controle. As associações tendem a se formar entre trechos adjacentes o que facilita a proposição das soluções de manejo em larga escala espacial. O risco de erosão aumentou para o norte do município em razão do avanço da urbanização e de uma estrada litorânea sobre as dunas, coincidente com a diminuição da largura e dos estoques de areia da praia subaérea associada ao campo de dunas transgressivas de Imara.

Palavras chaves: vulnerabilidade de dunas, perfis morfoecológicos, manejo de dunas

ABSTRACT

The north coast of the state of Rio Grande do Sul (Brazil) has been suffering a continuing process of human occupation in the last decades due to the expansion of tourism and second-residences. The need of the municipality of Imbé (Rio Grande do Sul – RS) to elaborate the Plan of Dune Management led to the construction of a method for managing coastal assessment to priority sectors. The diagnosis is a first step to the planning of the whole coast of the municipality, which uses criteria of environmental analysis and human occupation, seeking the division into

@ - Corresponding author

1 - Seagrass Gerenciamento Costeiro e Aquacultura Ltda, Av. João Wallig, 687 / 404F Passo D'Areia Porto Alegre, RS, CEP 91340-000, Brasil. e-mail: luiztabaja@hotmail.com

2 - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15001, Porto Alegre, CEP 91501.970, RS., Brasil. e-mail: jfgeo@gmail.com

3 - Prefeitura Municipal de Imbé, Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Pesca, Av. Paraguassú, 1043, Imbé, RS, Brasil.

4 - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Geografia, Instituto de Geociências, Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15001, CEP 91501.970, Porto Alegre, RS, Brasil

sectors. The identification of conflicts between urbanization and beach facilitates the choice of management techniques and control the different use of space, in order to solve the problems of erosion and the littoral degradation. Between december 2011 and march 2012 classical techniques of beach morphodynamic, morphology and ecology of the dunes were applied in the research area. Also, they were complemented with an data matrix elaborated from environmental and urbanization patterns (checklist) for setting rates vulnerabilities (IV%). Four sectors with similar characteristics were identified to facilitating the application of management techniques in a large spacial scale: South sector (a) – urbanized coast without dunes; South sector (b) – erosional coast due wave and washouts; Central sector – progradational and stable coast; North sector – gradual erosional coast. At the north of beach, the risk of erosion and degradation of foredunes grew up due to the expansion of urban and the construction of the road on APP (Area of Permanently Protection) dunes. Coincidentally decreased the subaerial beaches and losses of stock sediment into the transgressive dunefield of Imara. As suggestions to control the erosion problem, the Plan of Dune Management of the Imbé beach proposes: Installing sand fences, scattering the dead vegetation, constructing foredunes and vegetation plantings, resizing the washouts, improving the beach access and signalizations in addition to environmental education.

Keywords: Foredunes Vulnerability, Morpho-Ecological Profiles, Dune Management

1. INTRODUÇÃO

O município de Imbé situa-se no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil, e que por distar apenas 120 km de Porto Alegre (Capital do Estado), conter praias oceânicas e o estuário de Tramandaí, é muito procurado no verão para o lazer, pesca e banho. A área municipal é eminentemente urbana, compreendendo a sede municipal e os demais balneários situados na orla marítima, que perfazem um total de vinte. Os domicílios urbanos são mais ocupados apenas no período do verão, mas a elevada taxa de crescimento demográfico do município de Imbé (taxa de 5,89% segundo o IBGE, 2001), aponta para um aumento na demanda imobiliária devido à expansão demográfica da população residente e sazonal.

Antigos loteamentos imobiliários, formalizados pelos balneários, avançaram sobre o sistema de dunas frontais, acarretando problemas cíclicos de manutenção das vias públicas. O excesso de demandas pontuais de retirada de areia e de uso das praias, antecedendo ao verão, ensejou a Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul (FEPAM) a dar as bases normativas para os municípios elaborarem os seus Planos de Manejo de Dunas. A área de preservação permanente das dunas (APP das dunas) foi definida pelas “Diretrizes Ambientais para o Desenvolvimento dos Municípios do Litoral Norte” (FEPAM, 2000) como sendo a linha dos 60 metros, a partir do pé da duna para o interior do continente.

Para efeito de licenciamento ambiental, o processo de planificação da costa foi dividido em duas etapas, com diferentes objetivos e graus de detalhamento (FEPAM, 2004). A primeira etapa (Licença Prévia) deverá caracterizar as condições ambientais e de ocupação de toda a orla do município, classificar os setores da costa e estabelecer quais os setores prioritários ao manejo de dunas, decorrentes dos conflitos entre a APP das dunas e a ocupação urbana. A segunda etapa (Licença de Instalação) é o plano de manejo propriamente dito, com o detalhamento das intervenções propostas para solucionar os problemas de erosão, drenagens pluviais, acessos de pedestres e de veículos à praia, e demais ocorrências conflitantes com a conservação das dunas costeiras.

Além dos agentes naturais de riscos, decorrentes do cenário de subida do nível médio do mar e aumento na frequência e magnitude das tempestades (Scor Working

Group, 1991; IPCC, 2001), os frágeis ambientes costeiros requerem práticas de gerenciamento, a fim de minimizar os conflitos de uso existentes na ocupação do espaço.

O objetivo principal deste trabalho é consolidar o método para a elaboração do diagnóstico e classificação dos setores da costa, assim como eleger áreas prioritárias para eventual intervenção, disponibilizando aos gestores municipais uma ferramenta para facilitar a tomada de decisão. Deste modo, procura-se atender a demanda dos municípios litorâneos por Planos de Manejo de Dunas, tendo como base, o termo de referência da FEPAM para a emissão de Licença Prévia (LP) e Licença de Instalação (LI).

2. ÁREA DE ESTUDO

O litoral do município de Imbé faz parte da porção nordeste do litoral Norte do Rio Grande do Sul (Fig. 1), e está inserido no sistema deposicional Barreira-Laguna IV formado durante o estágio final da transgressão marinha pós-glacial (Dillenburg *et al.*, 2000). Na borda leste desta barreira, situam-se as praias oceânicas atuais, a partir das quais, para o interior, desenvolvem-se extensos campos de dunas.

A maré astronômica é semidiurna, com altura média de 0,30 m (micromarés), sendo que a maré meteorológica ou ressaca pode alcançar 1,20 m (Almeida *et al.*, 1997). As praias do Litoral Norte do Rio Grande do Sul são abertas, dominadas por ondas e constituídas por sedimentos arenosos unimodais, de tamanho fino (2,30 a 2,90 phi), com amplo predomínio da composição quartzosa (95%) (Martins, 1967; Nicolodi *et al.*, 2002). De acordo com as sequências morfodinâmicas descritas na literatura (Wright & Short, 1984), as praias variam entre intermediárias a dissipativas (Toldo Jr. *et al.*, 1993; Tabajara *et al.*, 2008).

As ondas incidentes têm duas direções predominantes, NE e SE, sendo que a ação do vento NE, vento local e mais frequente na região, origina a formação de vagas; as ondas de SE (*swell*) apresentam comprimento de onda maior e período superior a 10 s, e por isso, determinam o sentido predominante da deriva litorânea de sul para norte (Motta, 1968). Os eventos de maior energia de onda são originados pelas tempestades oriundas do quadrante SE, sendo comum no inverno a geração de ondas acima de 3,5 m de altura (Calliari *et al.*, 1998). A profundidade, na qual a base da onda mais frequente ($H(\text{altura}) = 1,5 \text{ m}$ e $T(\text{período}) = 7 \text{ s}$) começa a movimentar os sedimentos (profundidade de fechamento), situa-se em torno de 7,5 m (Almeida *et al.*, 1999).

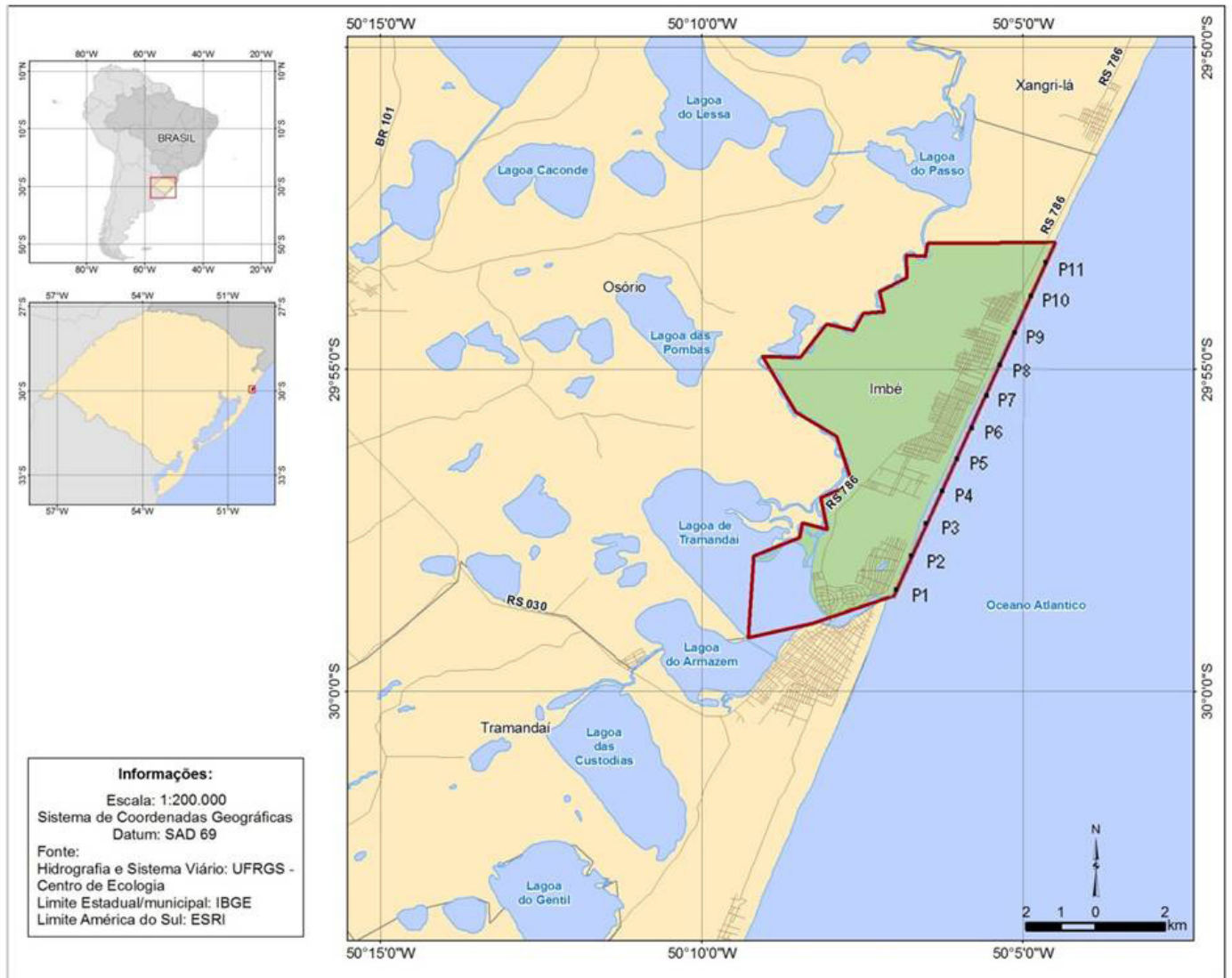


Figura 1. Localização do município de Imbé no Litoral Norte do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Figure 1. Location of the Imbé municipality in the North Coast of Rio Grande do Sul State, Brasil.

O campo de dunas transgressivas de Imara está situado no extremo norte do município de Imbé, no balneário de Imara, e foi descrito por Martinho *et al.* (2010) como de Atlântida Sul, em referência ao balneário vizinho pertencente ao município de Osório, onde ele se inicia. Nesta porção da costa, em consequência da ausência da escarpa da Serra do Mar adjacente, inicia-se o alargamento dos campos de dunas concomitante com o incremento da velocidade dos ventos e o decaimento das precipitações (Tomazelli *et al.*, 2008).

A costa está sujeita à influência da rosa-de-areia (Deriva Potencial) representativa do potencial de transporte eólico de areia na Estação Meteorológica de Imbé (Tomazelli, 1993). Nesta região, o vento nordeste predomina durante os períodos secos, enquanto que os ventos SW e S, usualmente, chegam junto com chuvas associadas ao deslocamento do sistema frontal para o norte, com a deriva resultante dos ventos para SW. Sob este regime de vento, antes da intensa ocupação do espaço, as dunas transversas e barcanas migravam obliquas à

linha de costa (12°) na direção SW (Martinho *et al.*, 2010).

Atualmente, toda esta região se encontra em processo de conurbação por aglomerado urbano contínuo de condomínios horizontais. Este processo teve início na década de 1990, favorecido por dois fatores: a construção da Rodovia RS-389 (Estrada do Mar), rodovia de tráfego de veículos leves, ligando Porto Alegre ao Litoral Norte, que facilitou o acesso aos balneários e a emancipação do município de Imbé, ocorrida em 1989. Segundo a Metroplan (Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional), a Estrada do Mar alterou a lógica de crescimento das áreas urbanas no Litoral Norte do RS, pela criação das seguintes dinâmicas: proliferação de atividades comerciais no seu entorno; a tendência de aproximação de núcleos habitacionais em sua direção e; a indução de desenvolvimento e crescimento residencial, pela implantação de condomínios residenciais horizontais em sua extensão.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O diagnóstico é uma etapa antecedente ao planejamento de toda a orla do município, que utiliza critérios de análise ambiental e de ocupação do espaço, visando a sua divisão em setores (FEPAM, 2004). A identificação dos conflitos entre a urbanização e os campos arenosos facilita a escolha das técnicas de manejo e de controle do uso do espaço, a fim de solucionar os problemas de erosão e degradação da orla.

No sentido de reconhecer as formas e os processos naturais e antrópicos atuantes ao longo da costa, o esforço de aquisição dos dados abordou duas técnicas de estudo: 1) amostragens de perfis transversais à praia, com a finalidade de obter os estados morfodinâmicos das praias e as condições morfoecológicas das dunas frontais; 2) aplicação de uma lista de controle (*checklist*) para a medição dos índices de vulnerabilidade do sistema de dunas frontais do município de Imbé. O *checklist* é um procedimento para o delineamento do problema no qual as principais características são listadas, taxadas e avaliadas com respeito à vulnerabilidade e a proteção das dunas (Williams *et al.*, 1993).

O conjunto das informações agrega características ambientais e do uso e ocupação do espaço, permitindo a setorização da costa. Os setores prioritários ao manejo de dunas são aqueles que perfazem os maiores índices de vulnerabilidade, tendo como causa de degradação ambiental, agentes naturais e humanos (Fig. 2).

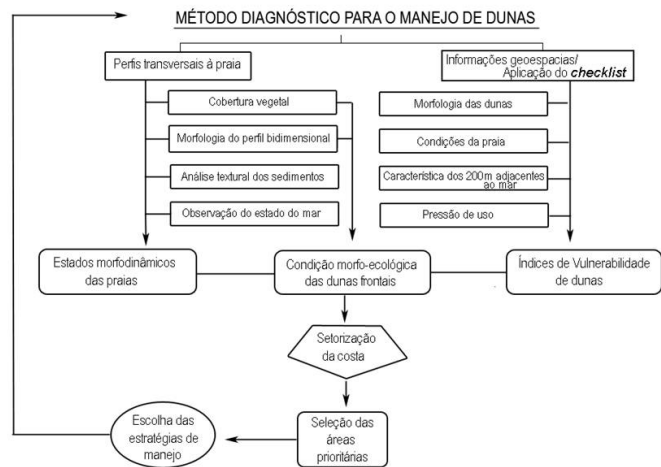


Figura 2. Fluxograma para o diagnóstico, classificação e seleção de áreas prioritárias ao manejo de dunas no litoral de Imbé-RS, usando critérios de vulnerabilidade, morfodinâmica de praia e morfoecologia de dunas.

Figure 2. Flowchart for the diagnosis, classification and selection of priority areas for management of coastal dunes in Imbé-RS, using vulnerability criteria, morphodynamics of beach and dune morphology and ecology.

3.1. Perfis transversais à praia

Nos dias 27 e 28 de dezembro de 2011, o grupo de monitoramento realizou 11 nivelamentos geométricos equidistantes 1 km, ao longo do litoral do município de Imbé

(Fig. 1). O uso do método clássico de estudo da dinâmica praial (Birkemeier, 1985), por meio de perfis topográficos transversais à praia, permitiu agregar à pesquisa da morfodinâmica praial a condição morfoecológica das dunas (Fig. 2). O referencial de nível vertical (RN) de cada perfil de praia foi materializado por meio de marcos situados na região da pós-duna (extremo continental do perfil), de modo que todos os perfis levantados numa mesma posição possam ser superpostos, futuramente, para efeitos de comparação (Muehe *et al.*, 2003).

Associados aos perfis de praia, as condições do mar foram observadas (altura e período da onda) e os sedimentos na zona do estirâncio coletados. No laboratório de sedimentologia do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO/IGEO/UFRGS), a análise mecânica das amostras de sedimentos seguiu o método descrito por Martins *et al.* (1978), com a remoção de carbonato de cálcio e peneiramento da subamostra quarteada, a intervalos de 0,5 phi. O cálculo dos parâmetros estatísticos, segundo método numérico de Balsillie *et al.* (2002), pode tratar as informações de forma rápida e matematicamente precisa.

O inventário morfoecológico das dunas frontais informa a variação da cobertura vegetal ao longo dos primeiros cordões de dunas adjacentes as praias, através de parcelas de 1 m² amostradas a distância fixa de 3 m. As espécies vegetais foram identificadas com o uso de guias ilustrados das plantas das dunas costeiras de Cordazzo & Seeliger (1995). Os resultados são apresentados na forma de gráficos de variação da cobertura vegetal total, por m², ao longo do perfil duna – praia. O uso da mesma base topográfica como referencial de nível permite também o acompanhamento da variação espaço-temporal da cobertura vegetal relativa aos perfis de praia (Santos *et al.*, 1995).

A classificação das dunas frontais utilizou o modelo evolutivo de Hesp (1988), segundo cinco estágios morfoecológicos, desde a duna estável em acreção, bem vegetada (90-100%) e com o declive da face marinha suave (Estágio 1); até a erosão dos cordões em larga escala, permanecendo apenas nódulos remanescentes, bacia de deflação e lençóis de areia móveis (Estágio 5). Importante também foi considerar os conceitos de Arens & Wiersma (1994) na classificação e evolução de dunas frontais, de acordo com o estado em longo período da barreira.

Os compartimentos ambientais estudados nas praias de Imbé estão apresentados na Figura 3. A zona de surfe situa-se entre o ponto de quebra da onda e a linha de costa. A zona do estirâncio é relativamente estreita, estendendo-se desde o ponto de colapso da onda na face da praia até o limite superior da ação do fluxo do espraçamento na praia seca. A pós-praia estende-se desde o nível superior do espraçamento até o campo de dunas ou, simplesmente, até o ponto de fixação permanente da vegetação, sendo a parte seca da praia, está sujeita aos processos aerodinâmicos. A berma é a porção praticamente horizontal da pós-praia formada por sedimentação pela ação de ondas acima da linha de preamar média (Suguo, 1992).

3.2. Determinação dos índices de vulnerabilidade

A vulnerabilidade de dunas é definida como um conjunto de condições que induzem a duna à erosão e a degradação

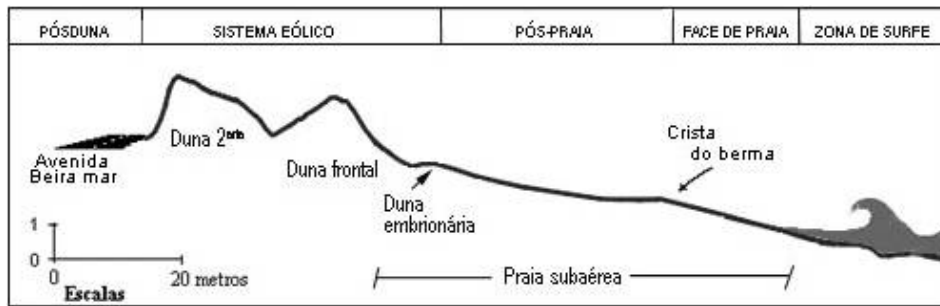


Figura 3. Representação esquemática do perfil praia-duna, incluindo os compartimentos ambientais definidos no texto.

Figure 3. Schematic representation of the beach-dune profile, including environmental compartments defined in the text.

do ecossistema (Davies *et al.*, 1995). Vários fatores podem produzir esta situação, por exemplo, subida do nível do mar, aumento da frequência e magnitude das tempestades, balanço negativo de sedimentos e atividades humanas.

A lista de controle de vulnerabilidade (Apêndice 1) foi estruturada de modo a permitir considerações sistemáticas dos principais parâmetros que resumem as condições das dunas. O método consiste em atribuir pontuação de 0 a 4 aos vários parâmetros de cada uma das seguintes categorias: A- Morfologia das dunas (5 parâmetros); B- Condições da praia (5 parâmetros); C- Característica dos 200 m adjacentes ao mar (8 parâmetros); D- Pressão de uso (7 parâmetros).

As porcentagens das quatro categorias foram calculadas para se gerar um índice de vulnerabilidade (IVR) que varia na proporção direta da fragilidade do sistema, sendo expresso como a porcentagem do escore total encontrado no *checklist*, para as categorias A até D, em relação ao máximo escore. A maioria das variáveis envolvidas na taxação dos índices de vulnerabilidade das dunas de Imbé é original do *checklist* proposto por Davies *et al.* (1995). No entanto, muito dos valores quantitativos aplicados às variáveis foram adaptados às condições existentes nas praias do Litoral Norte do RS.

As imagens da área de estudo foram extraídas do software Google Earth® (2010), a uma altitude do ponto de visão de 500 m. Posteriormente, os dados foram confirmados em campo através de medições manuais e com auxílio de GPS. O tratamento das imagens foi realizado a partir da construção de um mosaico georreferenciado e os dados manipulados no software ArcGIS®. A orla do município de Imbé foi dividida a cada 250 m (unidades amostrais), apresentando 43 trechos costeiros, sendo estes no sentido Sul-Norte (Imbé 1, Imbé 2..., Imbé 43).

Após a construção de uma matriz definida pelo escore dos 25 parâmetros em função das 43 unidades amostrais, as variáveis foram normalizadas entre 0 a 4, e aplicada à análise multivariada com auxílio do pacote estatístico PAST (Hammer *et al.*, 2001). Grupos de unidades amostrais homogêneas em relação às variáveis tratadas estatisticamente foram separados pela análise de agrupamento (Dal Cin & Simeoni, 1994). Os setores prioritários ao manejo contêm os maiores índices de vulnerabilidade e, geralmente, se agrupam em uma única categoria estatística por causa do comportamento similar das variáveis analisadas (Tabajara *et al.*, 2005).

4. RESULTADOS

4.1. Perfis transversais praia-duna

4.1.1. Morfodinâmica das praias

O estudo verificou uma condição sinóptica do litoral de Imbé, reinante no início do verão, que geralmente exhibe estado morfodinâmico intermediário de energia moderada (Toldo Jr. *et al.*, 1993). A Figura 4 apresenta o comportamento morfométrico das praias subaéreas de Imbé, inferido dos nivelamentos topográficos transversais à praia. A Tabela 1 mostra a classificação textural dos sedimentos coletados na zona do estirâncio das praias oceânicas de Imbé, em dezembro de 2011. Em uma abordagem mais genérica, a variação espacial no tipo de praia ao longo da costa possibilitou a sua subdivisão em três setores: Sul, Central e Norte.

O Setor Sul (3 Km) engloba as praias dissipativas de alta energia ($\epsilon > 20$), adjacentes a margem esquerda do banco de vazante do estuário de Tramandaí, característica de praias planas e largas (> 60 m), com baixo gradiente topográfico e dunas frontais altas. Dentro deste modelo, o perfil de praia 1 (P1) foge às características naturais devido ao espalhamento das areias eólicas retidas no muro de arrimo do passeio público, com o emprego de máquinas (Autorização Geral FEPAM nº 26/2012-DL, emitida em 10/01/2012). Os sedimentos nesse trecho da praia variaram entre areia fina (P1 e P2) e média (P3), bem selecionados e de curvas aproximadamente simétricas (P2 e P3) e assimétrica no sentido dos finos (P1).

O Setor Central (perfis de praia 4, 5, 6 e 7) se estende por 4 km, é constituído pelos Balneários Presidente, Riviera, Ipiranga, Nordeste e Mariluz, e se caracteriza por praias intermediárias de mais baixa energia ($\epsilon \leq 20$) com gradientes topográficos moderados, altos estoques de areia ($V_{psl}/Y_b =$ razão entre o volume / largura da praia subaérea $> 1,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$) e dunas frontais bem desenvolvidas e estabilizadas. Os sedimentos praias são formados por areias finas, bem selecionadas e com a curva assimétrica no sentido dos grossos, exceto P4, que apresentou uma curva aproximadamente simétrica.

O Setor Norte (perfis de praia 8, 9, 10 e 11) esteve vinculado a estados morfodinâmicos de mais alto espectro de energia ($\epsilon \geq 20$), característico de praia estreita, plana a côncava, baixos estoques de areia ($V_{psl}/Y_b < 0,8 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$), duna

Tabela 1. Classificação textural dos sedimentos das praias de Imbé- RS.**Table 1.** Grain size classification of the Imbé beach sediments.

| | Média (ϕ) | Desvio Padrão (ϕ) | Assimetria | Descrição dos Parâmetros Estatísticos |
|------------|------------------|--------------------------|------------|--|
| P1 | 2.04 | 0.41 | 0.17 | Areia Fina, Bem Seleccionada com Curva Assimétrica no Sentido dos Finos |
| P2 | 2.05 | 0.44 | -0.07 | Areia Fina, Bem Seleccionada com Curva aproximadamente Simétrica |
| P3 | 1.96 | 0.43 | 0.04 | Areia Média, Bem Seleccionada com Curva aproximadamente Simétrica |
| P4 | 2.09 | 0.43 | -0.02 | Areia Fina, Bem Seleccionada com Curva aproximadamente Simétrica |
| P5 | 2.30 | 0.45 | -0.36 | Areia Fina, Bem Seleccionada com Curva Fortemente Assimétrica no Sentido dos Grossos |
| P6 | 2.14 | 0.40 | -0.11 | Areia Fina, Bem Seleccionada com Curva Assimétrica no Sentido dos Grossos |
| P7 | 2.02 | 0.37 | -0.11 | Areia Fina, Bem Seleccionada com Curva Assimétrica no Sentido dos Grossos |
| P8 | 1.93 | 0.43 | 0.14 | Areia Média, Bem Seleccionada com Curva Assimétrica no Sentido dos Finos |
| P9 | 2.00 | 0.49 | -0.10 | Areia Fina, Bem Seleccionada com Curva Assimétrica no Sentido dos Grossos |
| P10 | 2.04 | 0.38 | 0.05 | Areia Fina, Bem Seleccionada com Curva aproximadamente Simétrica |
| P11 | 1.96 | 0.43 | -0.08 | Areia Média, Bem Seleccionada com Curva aproximadamente Simétrica |

escarpada ou em fase de recuperação. O perfil 9 distinguiu-se pelo estado morfodinâmico intermediário ($\varepsilon = 6,4$) e maior largura da praia subaérea, mas também apresentou estoque de areia abaixo de $0,8 \text{ m}^3 \text{ m}^{-1}$. Ao longo desse trecho, a classificação granulométrica das areias variou de média (P8 e P11) a fina (P9 e P10), com bom grau de selecionamento e curvas aproximadamente simétricas (P10 e P11), mas também com assimetria no sentido dos finos (P8) e dos grossos (P9).

A praia subaérea é caracterizada por ser um compartimento de transição entre os processos oceanográficos e eólicos. No pós-praia seco, a força de cisalhamento do vento sobre a superfície arenosa pode iniciar o movimento de saltação dos grãos e transportá-los. A largura dos perfis subaéreos das praias de Imbé (Fig. 4) variou entre 27 a 77 m e média de 58 m. As menores extensões e volume da pós-praia para o norte são indicativos de erosão costeira, tanto por causa humana como naturais, respectivamente, em razão do avanço das ocupações e estrada sobre o perfil da praia (Fig. 4), e perda do estoque de areia praial na formação do campo de dunas transgressivas de Imara.

4.1.2. Morfoecologia das dunas

A composição florística sobre a superfície dos terrenos arenosos se restringiu a poucas espécies pioneiras, expostas a uma constante movimentação de areia, flutuação da temperatura superficial do solo, pouca retenção de água no substrato altamente poroso e ação do borriço marinho (Pfeilhauer, 1978). As condições ambientais limites ao crescimento das plantas nas dunas tornam-se ainda mais rigorosas em perfis afetados e reduzidos pela urbanização, em razão das tempestades de ventos e ondas marinhas, hidrodinâmica dos sangradouros e o pisoteio humano. As principais espécies fixadoras encontradas nas dunas frontais de Imbé foram *Panicum racemosum*, *Senecio crassiflorus*, *Blutaparon portulacoides*, *Ipomoea pes-caprae*, *Paspalum vaginatum*, *Hydrocotyle bonariensis* e *Spartina ciliata*.

A Figura 4 ainda mostra o comportamento das variáveis morfoecológicas das dunas ao longo da costa de Imbé. O aumento gradual na altura, volume e estoque de areia das dunas em direção à barra do estuário de Tramandaí, ao sul, provavelmente, seja uma conjugação de vários fatores, em especial, o aumento da componente *onshore* do vetor velocidade do vento nordeste (Calliari et al., 2005) e aumento dos estoques de areia disponíveis na praia subaérea.

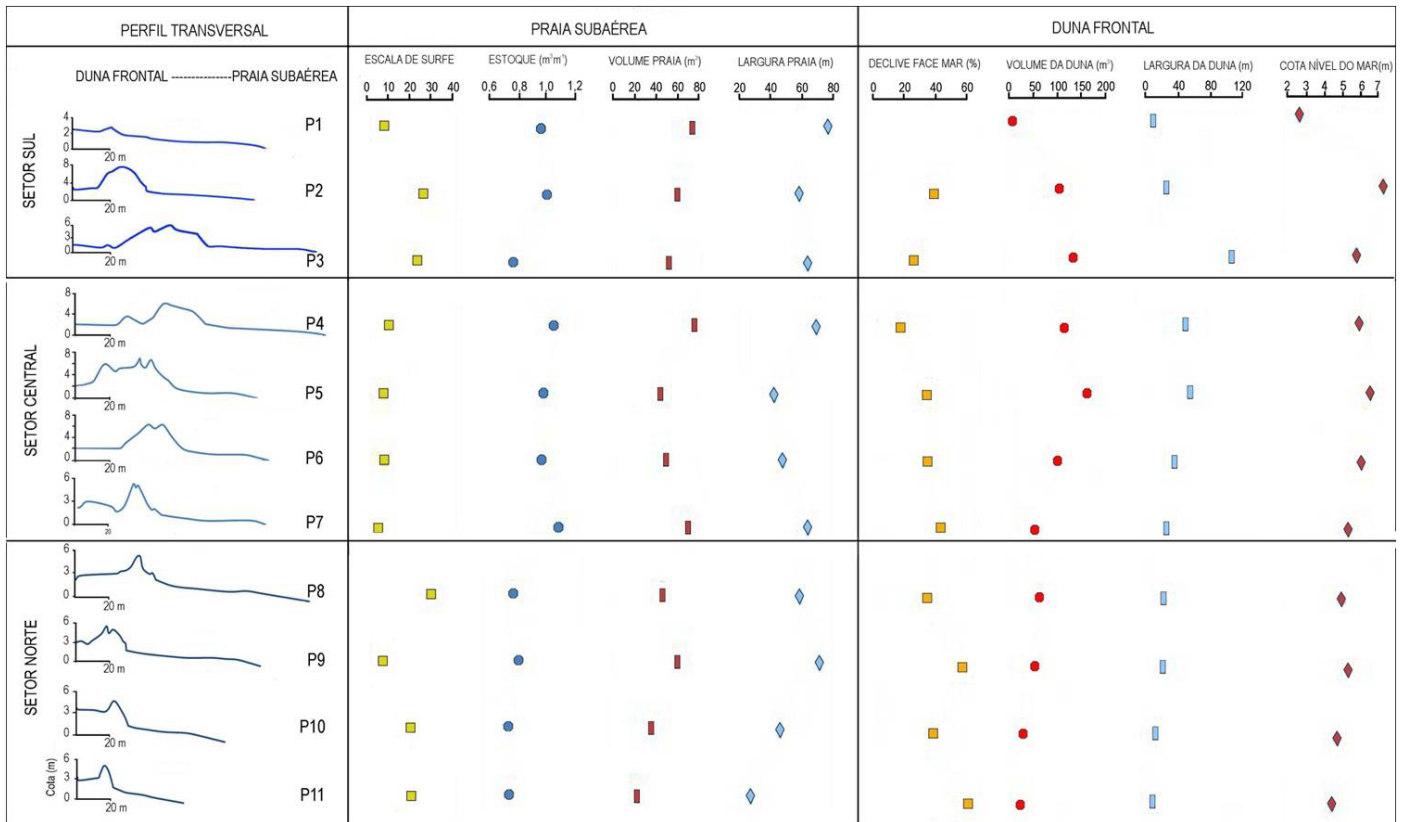


Figura 4. Comportamento das variáveis morfológicas dos perfis da praia subaérea e dunas primárias em Imbé.
Figure 4. Behavior of the morphological variables of subaerial beach and foredunes profiles in Imbé.

Em direção ao norte, ao contrário, ocorre a diminuição dessas variáveis morfométricas e aumento da declividade da face marinha da duna e dos processos de escarpamento por ondas de tempestades (perfis 9, 10 e 11). Os taludes marinhos das dunas dos Setores Centro e Norte estão em fases diferentes de preenchimento e recuperação da vegetação, muitos dos quais desenvolvendo novo cordão de duna no pós-praia, em ciclo de recuperação pós-tempestade (perfil 7).

O comprimento do campo de dunas frontais condiz com o modelo de urbanização sobre a APP. De modo geral, observa-se uma pressão maior sobre as dunas situadas nos loteamentos imobiliários mais antigos (Balneários do litoral Centro-Norte de Imbé). O mais longo perfil de duna preservada é o perfil 3, que se correlaciona ao empreendimento Condomínio *Las Olas*, enquadrado nas normas mais recentes de licenciamento. As quatro figuras anexas são representativas das condições morfoecológicas das dunas setorizadas em Sul (Apêndice 2), Central (Apêndice 3 e 4) e Norte (Apêndice 5).

4.2. Uso do checklist na medição dos índices de vulnerabilidade de dunas

Os resultados mostram uma grande variação no índice de vulnerabilidade relativa (IVR), entre 24% e 67%, com a presença de agrupamentos mais ou menos homogêneos separados por variações pontuais de alguns trechos (Tab. 2). Os trechos Imbé 1, 2, 3 e 4 correspondem ao segmento

contínuo com maior IVR da orla de Imbé, em razão do projeto urbanístico de implantação do passeio público e elevada pressão de uso durante o verão (Seção D do *checklist*), sendo o setor considerado prioritário para iniciar o Plano de Manejo.

Variações pontuais extremas (IVR \geq 60%) foram observadas nas unidades amostrais Imbé 28, 38 e 43. Entre os balneários Mariluz e Harmonia (Imbé 28), a ocupação dos lotes está totalmente no interior da APP das dunas, a largura da duna frontal se reduz a menos de 10 m e a entrada de veículos se faz pela praia. O trecho Imbé 38 situa-se no Balneário de Imara e caracteriza um segmento com intensa ocupação de moradias de baixa renda sobre as dunas frontais. No extremo norte do município (Imbé 43), a duna frontal vem sendo degradada, tanto por máquinas na manutenção da RS-786 (estrada interpraia) como por ondas, que a reduzem a forma de um dique.

O segmento costeiro Imbé 8-17 é o melhor preservado (IVR \leq 40) em razão de causas naturais e do tipo de modelo de ocupação urbana. Conforme visto no item 4.1.1., correlaciona-se ao Setor Central do litoral, característico de praias intermediárias (perfis de praia 4, 5, 6 e 7), com altos estoques de areia, dunas frontais bem desenvolvidas e estabilizadas (Apêndices 3 e 4). Os lotes das casas se afastam além da área dos 60 m da APP das dunas (linha de recuo), com atenuação do impacto da densidade de caminhos de pedestres a praia sobre a cobertura vegetal e morfologia das dunas.

Tabela 2. Variação do índice de vulnerabilidade relativo (IVR) ao longo da orla litoral do município de Imbé, em janeiro de 2012. Seção A: morfologia das dunas; seção B: condições da praia; seção C: característica dos 200 m adjacentes ao mar; seção D: pressão de uso. Níveis de Resiliência: nível 2 – amarelo (20-40%); nível 3 - laranja- (40-60%); nível 4 – vermelho (60-80%).

Table 2. Variation of the relative vulnerability index (IVR) along the littoral of the Imbé municipality in January 2012. Section A: morphology of the dunes; Section B: beach conditions; Section C: characteristic of 200 m adjacent to the sea; Section D: Pressure of use. Resiliency level: yellow-level2 (20-40%), orange-level 3 (40-60%), red-level4 (60-80%).

| Trecho | Segmento | Seção A | Seção B | Seção C | Seção D | IVR |
|---------|----------|---------|---------|---------|---------|-----|
| Imbé 1 | 250 | 95 | 55 | 56 | 68 | 67 |
| Imbé 2 | 500 | 95 | 55 | 50 | 68 | 65 |
| Imbé 3 | 750 | 95 | 55 | 50 | 68 | 65 |
| Imbé 4 | 1000 | 95 | 55 | 56 | 68 | 67 |
| Imbé 5 | 1250 | 30 | 40 | 41 | 61 | 44 |
| Imbé 6 | 1500 | 45 | 65 | 44 | 61 | 53 |
| Imbé 7 | 1750 | 25 | 50 | 44 | 54 | 44 |
| Imbé 8 | 2000 | 15 | 50 | 38 | 4 | 26 |
| Imbé 9 | 2250 | 5 | 55 | 34 | 32 | 32 |
| Imbé 10 | 2500 | 5 | 55 | 38 | 21 | 30 |
| Imbé 11 | 2750 | 15 | 55 | 31 | 18 | 29 |
| Imbé 12 | 3000 | 15 | 35 | 25 | 25 | 25 |
| Imbé 13 | 3250 | 10 | 55 | 16 | 25 | 25 |
| Imbé 14 | 3500 | 10 | 55 | 16 | 21 | 24 |
| Imbé 15 | 3750 | 25 | 55 | 41 | 39 | 40 |
| Imbé 16 | 4000 | 25 | 65 | 34 | 4 | 30 |
| Imbé 17 | 4250 | 10 | 65 | 31 | 32 | 34 |
| Imbé 18 | 4500 | 50 | 45 | 53 | 46 | 49 |
| Imbé 19 | 4750 | 45 | 55 | 38 | 54 | 47 |
| Imbé 20 | 5000 | 50 | 45 | 34 | 57 | 46 |
| Imbé 21 | 5250 | 50 | 60 | 34 | 68 | 52 |
| Imbé 22 | 5500 | 30 | 55 | 34 | 50 | 42 |
| Imbé 23 | 5750 | 30 | 55 | 31 | 39 | 41 |
| Imbé 24 | 6000 | 45 | 55 | 31 | 39 | 41 |
| Imbé 25 | 6250 | 65 | 55 | 41 | 46 | 50 |
| Imbé 26 | 6500 | 70 | 75 | 47 | 46 | 57 |
| Imbé 27 | 6750 | 55 | 55 | 44 | 46 | 49 |
| Imbé 28 | 7000 | 85 | 55 | 53 | 71 | 65 |
| Imbé 29 | 7250 | 65 | 70 | 50 | 57 | 59 |
| Imbé 30 | 7500 | 65 | 70 | 50 | 57 | 59 |
| Imbé 31 | 7750 | 75 | 60 | 56 | 54 | 60 |
| Imbé 32 | 8000 | 50 | 50 | 41 | 39 | 44 |
| Imbé 33 | 8250 | 60 | 60 | 50 | 46 | 53 |
| Imbé 34 | 8500 | 50 | 60 | 50 | 39 | 49 |
| Imbé 35 | 8750 | 65 | 60 | 44 | 43 | 51 |
| Imbé 36 | 9000 | 70 | 70 | 53 | 39 | 56 |
| Imbé 37 | 9250 | 60 | 65 | 44 | 36 | 49 |
| Imbé 38 | 9500 | 80 | 75 | 63 | 57 | 67 |
| Imbé 39 | 9750 | 75 | 65 | 44 | 54 | 57 |
| Imbé 40 | 10000 | 65 | 65 | 47 | 50 | 55 |
| Imbé 41 | 10250 | 75 | 55 | 47 | 46 | 54 |
| Imbé 42 | 10500 | 90 | 70 | 53 | 21 | 55 |
| Imbé 43 | 10750 | 90 | 90 | 63 | 18 | 61 |

Dentre as variáveis envolvidas na categoria D (Apêndice 1), destaca-se a posição da urbanização dentro do perfil transversal à praia, pois repercute também no aumento do índice de vulnerabilidade de outras variáveis, tais como: área superficial e largura da duna, largura da praia e níveis de cobertura impermeável. Nos locais onde a largura da duna é maior do que 60 m, a função do ecossistema é mantida; enquanto que nas áreas onde parte ou toda a duna frontal foi substituída por ruas, praças ou residências (níveis de resiliência laranja a vermelho da Tab. 2), a capacidade de estabilização das areias pela vegetação é comprometida, facilitando a fuga de areia para o interior do espaço público.

A presença das vegetações exóticas *Casuarina equisetifolia* e *Carpobrotus chilensis* (também chamada de onze-horas-gigante) sobre as dunas também acentua o nível de sensibilidade ambiental. A vegetação pioneira nativa contém estolões e raízes adventícias, mais eficientes na fixação das areias frente aos fortes ventos e com maior capacidade de reformar dunas, após a erosão por ondas de tempestade. Da mesma forma, os quiosques fixos implantados sobre o sistema de dunas acentuam os efeitos negativos sobre o ambiente praiado, através da contaminação hídrica e do solo, além do comprometimento da paisagem litorânea.

Segundo Laranjeira (1997), o grau de vulnerabilidade pode ser pré-estabelecido em função do limiar de resiliência apresentado pelos sistemas de dunas. No nível de vulnerabilidade 1 (intervalo entre 0-20%), o grau de transformação do sistema eólico não põe em risco a sua capacidade de auto regeneração, ou seja, o estado de degradação das feições não ultrapassa o limiar de resiliência. Quando a sensibilidade se acentua um pouco, e se percebem sinais de mudanças no conjunto do sistema, a vulnerabilidade atinge nível 2 (20-40%). Com a continuidade da degradação, as feições dunares se posicionam sobre o limiar de resiliência e já se faz necessária certa restrição ao uso do sistema (nível 3: 40-60%). Com o aumento significativo da pressão sobre as dunas, a sensibilidade fica elevada (nível 4: 60-80%) e o sistema não apresenta mecanismo de resistência aos efeitos negativos. Quando o nível de degradação é extremamente elevado e o limiar de resiliência é ultrapassado (nível 5: 80-100%), o desarranjo das formas eólicas torna-se generalizado, comprometendo a sua capacidade de regeneração.

A classificação dos setores da costa, segundo o limiar de resiliência das dunas, identificou três grandes classes de índices de vulnerabilidade, enquadrada nas categorias 2, 3 e 4 (Tab. 2). Na categoria 4 (60-80%) situam-se os trechos de maior vulnerabilidade e que necessitam de planos de recuperação ambiental e manejo.

4.3. Classificação setorial da costa e seleção de áreas prioritárias

A classificação da costa é um procedimento de ordenamento territorial, baseado numa série de parâmetros com a finalidade de determinar níveis de vulnerabilidade costeira a erosão ou de risco que necessitam ações urgentes de gestão, sendo um importante instrumento de apoio à decisão política. Os setores prioritários ao manejo de dunas são aqueles que perfazem os maiores índices de vulnerabilidade, tendo como causa de degradação ambiental, agentes

naturais e humanos. As informações levantadas no estudo do diagnóstico subsidiaram a classificação da costa, que depois de resumidas na Tabela 3, foram plotadas em mapas georreferenciados (Figs. 5, 6 e 7).

Em 43 casos analisados, ao longo de 10.750 metros de linha de costa, 26 casos (60% das ocorrências) apresentaram IVR entre 40-60%, nível de resiliência 3 da escala de Laranjeiras (1997) e equivalente a escala 3 de Hesp (1988). As dunas exibem formas onduladas, alternando áreas bem vegetadas e estáveis com outras erosivas e pobremente vegetadas. Esta condição é típica dos trechos com urbanização consolidada e com falta de ordenamento dos acessos à praia, nos quais as trilhas dos usuários impactam a frágil cobertura vegetal e induzem a formação de rupturas de deflação eólica.

As dunas frontais com morfologia estável ou em acreção, bem desenvolvidas lateralmente, face marinha com inclinação suave ($\leq 30\%$) e satisfatória cobertura vegetal (estágio morfoecológico 2 de Hesp, 1988; correlacionado ao nível de resiliência 2 de Laranjeiras, 1997) ocorreram em 23,3% dos trechos e, de modo contínuo, entre Imbé 8 e Imbé 17 (Setor Central-Tab. 2). A presença de dunas incipientes na pós-praia (Apêndice 3 - perfil 4), além de proteger a base da duna estabilizada, indica a progradação ou crescimento do sistema em direção ao mar.

Quando a forma tridimensional da duna torna-se mais complexa e a cobertura vegetal fica altamente variável, ocorrem fluxos de velocidade de vento no interior da duna. Esta classe de duna (estágio morfoecológico 4 de Hesp, 1988) esteve correlacionada a IVR entre 60-80% (Tab. 2) e representou 16,3% das ocorrências, devendo ser priorizada no planejamento das intervenções sobre a costa.

4.4. Estratégias setoriais de manejo de dunas

A análise por agrupamento da matriz de dados ambientais e de padrões urbanísticos permitiu classificar cinco grandes grupos, segundo o comportamento das variáveis empregadas na taxação do *checklist* (Fig. 8). As associações tendem a se formar entre trechos adjacentes o que facilita a proposição das soluções de manejo em larga escala espacial. O **grupo 1** contém nível de resiliência 3, engloba os trechos Imbé 5, 6, e 7, situados no Setor Sul, um trecho contínuo de 1750 m (Imbé 18-Imbé 24), correspondente ao Balneário Mariluz e sua extensão para o norte- planos B e C (Figs. 5 e 6), bem como os trechos Imbé 15, 32 e 34. Caracterizam dunas frontais relativamente preservadas, mas com muita pressão humana sobre a vegetação (trilhas incisadas), durante o verão. A principal estratégia de manejo é o ordenamento da área de lazer, melhoria dos acessos à praia através de trilhas sinalizadas, estrados ou passarelas para transposição das dunas.

O **grupo 2** reúne um longo trecho (unidades amostrais 29 a 41) entre os balneários Harmonia, Albatroz, Santa Terezinha e Imara, situados no Setor Norte da área de estudo (Fig. 7). Trata-se de ocupações mais antigas, cujas quadras avançaram sobre a APP das dunas e as residências sofrem risco de desabar devido ao acúmulo de areia junto às paredes, além da dificuldade de acesso dos veículos as garagens dos lotes com frente para o mar. Sazonalmente, durante a primavera-verão, a municipalidade faz a retirada de areia e a manutenção dos acessos através de máquinas. Na maioria dos

Tabela 3. Critérios de classificação da costa de Imbé e as informações síntese de cada setor: Sul *a*, Sul *b*, Central e Centro-Norte.
Table 3. Classification of Imbé coast and summary information for each sector: South *a*, South *b*, Central and North Central.

| Setor | Morfodinâmica | Morfo-ecologia | Vulnerabilidade de dunas | Uso e ocupação |
|---|---|---|--|---|
| Setor Sul: Sede | a 800 m adjacentes à barra de Tramandaí; praia intermediária (P1), presença de corrente de retorno. | Costa manejada duna suprimida pelo calçadão | Nível 4 Problemas cíclicos de invasão de areia | Projeto de uso e ocupação da orla substituindo o sistema de dunas por infraestrutura urbanas. |
| | b 2,2 Km de praias dissipativas (perfis 2 e 3), praia subaérea plana e larga, baixo gradiente e sem bermas na face da praia | Costa em erosão por ondas de tempestade e sangradouro- Cenário D, Hesp (1999), fase de preenchimento de escarpas, dunas altas e vegetadas por gramíneas. | Nível 4 | Uso intensivo do espaço de lazer e banho, com muitos caminhos de pedestres sobre as dunas. |
| Setor Central: Balneários Presidente até Mariluz | 4 Km de praias intermediárias (perfis 4,5,6,e 7), gradientes topográficos moderado | Costa estável a progradante Cenário A , Hesp (1999): Dunas altas, geometria estável, boa cobertura vegetal e presença de dunas embrionária. | Nível 2-3 | A faixa dos 60 metros da APP de dunas foi respeitada nos loteamentos, diminuindo a pressão de uso e ocupação. |
| Setor Centro-Norte: Baleário Santa Terezinha até Imara | 4 Km de praias dissipativas a intermediárias, praia subaérea estreita, plana a côncavas e com déficit de areia aumentando em direção ao Norte da costa. | Costa em erosão gradual com movimento em direção ao continente por meio de corredores de deflação- campos de dunas móveis de Imara. Diminuição na altura e largura das dunas, escarpamento por ondas, baixa cobertura vegetal | Nível 3-4 Trechos contínuos moderados, intercalados por trechos pontuais com IVR% alto. | Ocupação de residências com acesso de veículos em toda APP das quadras, invasão de baixa renda e estrada interpraías sobre as dunas frontais. |

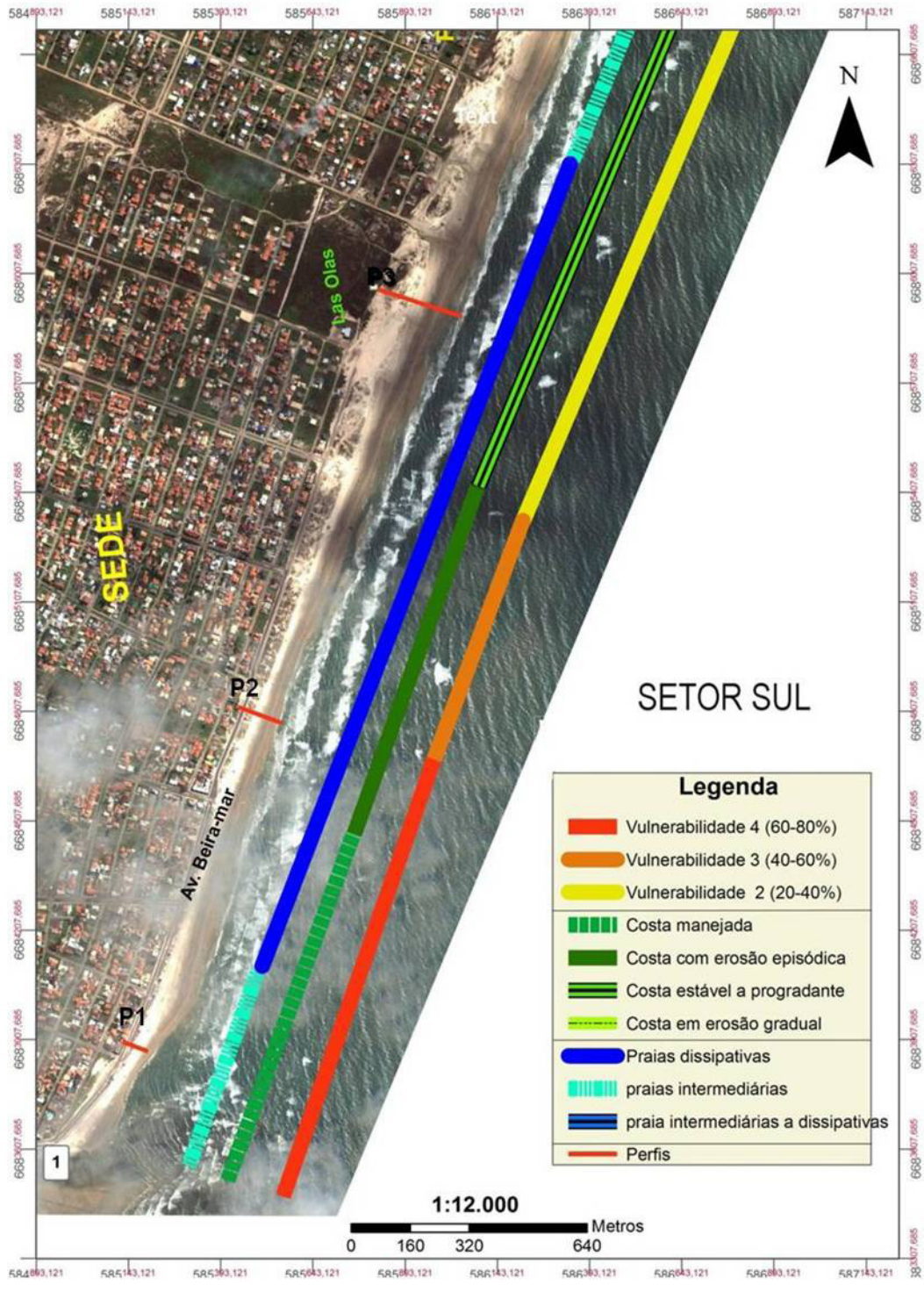


Figura 5. Classificação morfodinâmica, morfoecológica e vulnerabilidades das dunas no setor Sul da orla de Imbé-RS. Imagem de 2010 obtida do Google Earth® (datum WGS 84 – UTM zona 22S).

Figure 5. Classification of morphodynamics, morphoecological and vulnerabilities of the dunes in Southern sector of Imbé-RS. Image of the year 2010 obtained from Google Earth® (datum WGS 84 - UTM zone 22S).

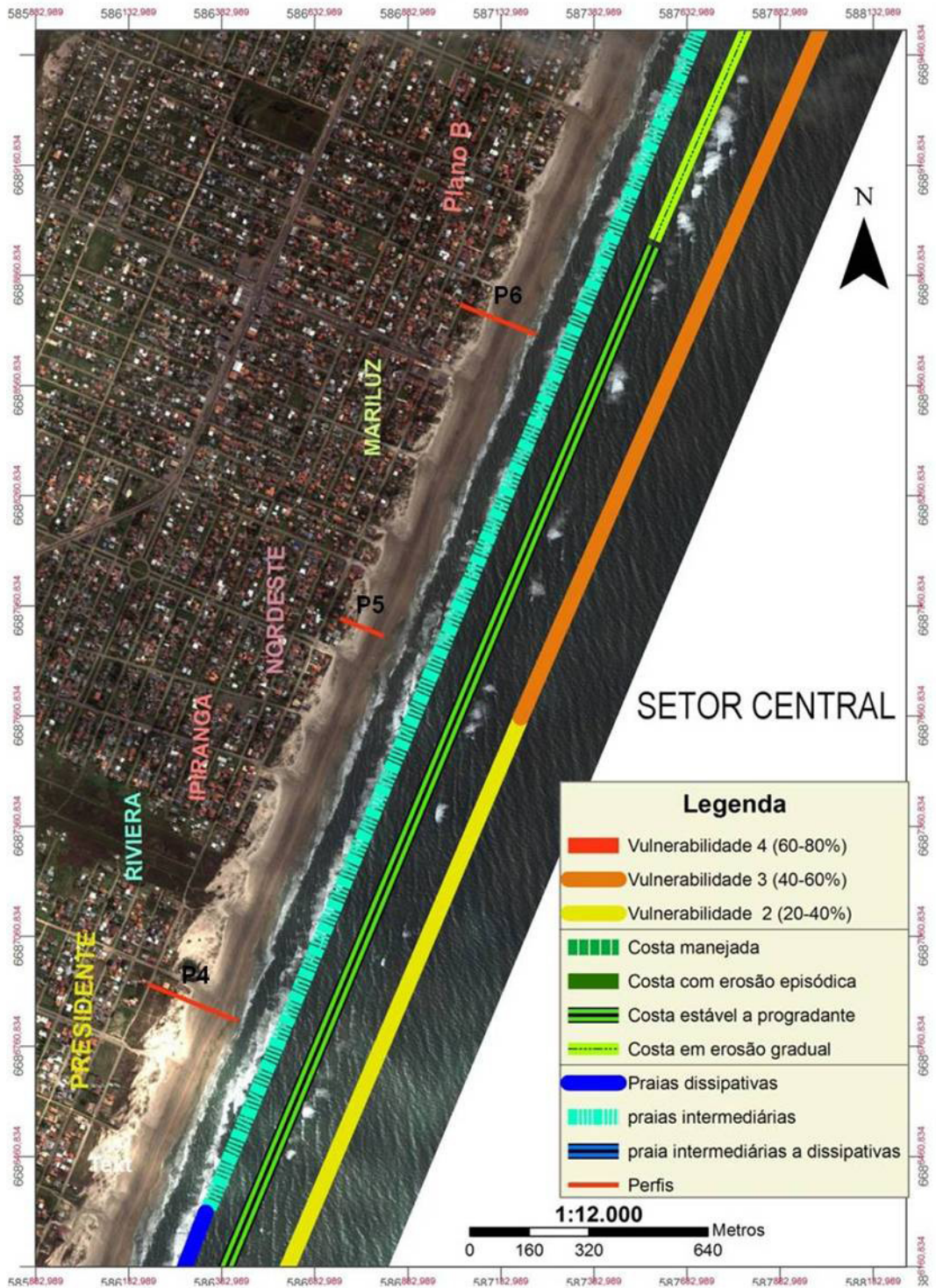


Figura 6. Classificação morfodinâmica, morfoecológica e vulnerabilidades das dunas no setor central da orla de Imbé-RS. Imagem de 2010 obtida do Google Earth® (datum WGS 84 – UTM zona 22S).

Figure 6. Classification of morphodynamics, morphoecological and vulnerabilities of the dunes in Central sector of Imbé-RS. Image of the year 2010 obtained from Google Earth® (datum WGS 84 - UTM zone 22S).

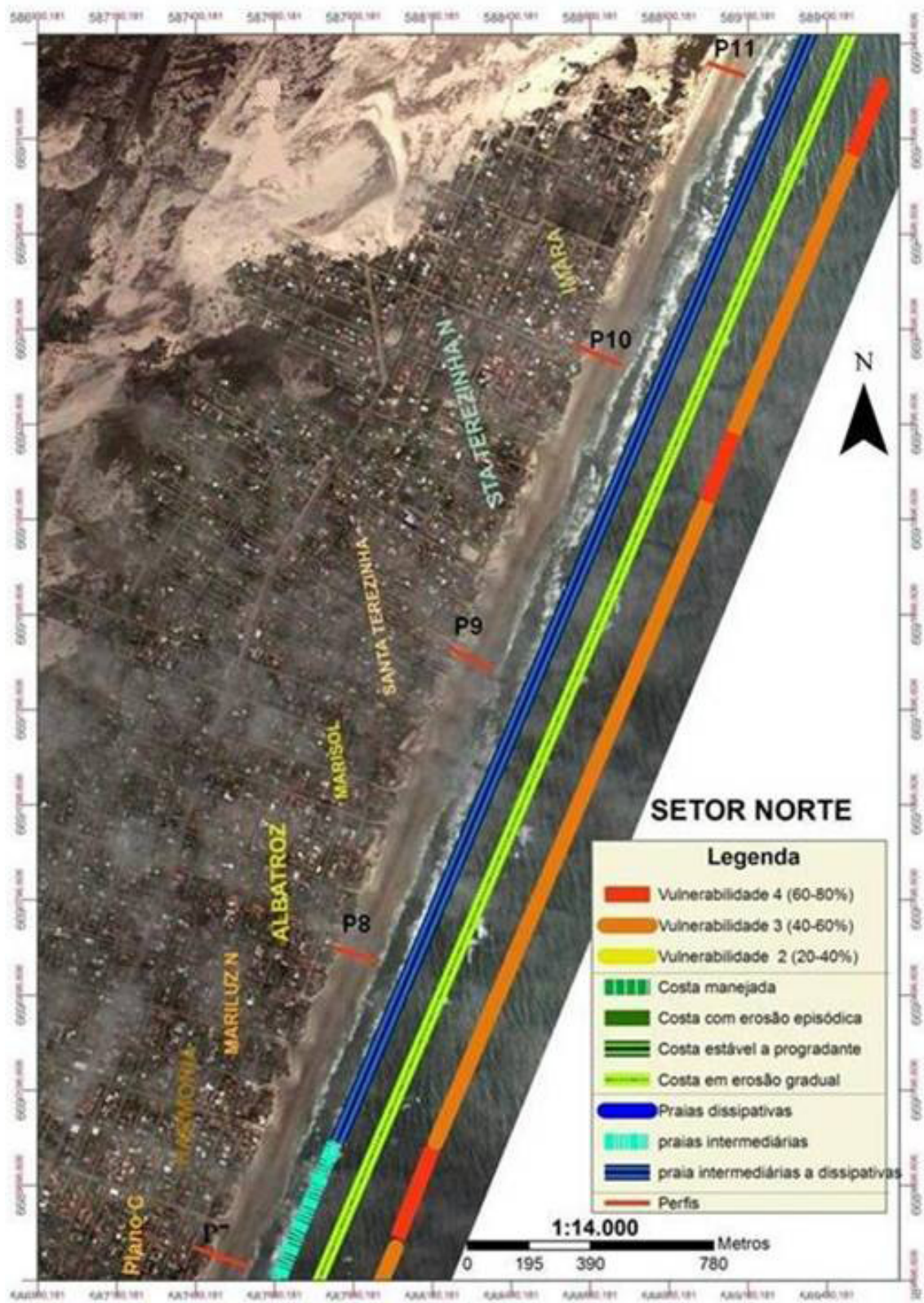


Figura 7. Classificação morfodinâmica, morfoecológica e vulnerabilidades das dunas no setor Norte da orla de Imbé-RS. Imagem de 2010 obtida do Google Earth® (datum WGS 84 – UTM zona 22S).

Figure 7. Classification of morphodynamics, morphoecological and vulnerabilities of the dunes in Northern sector of Imbé-RS. Image of the year 2010 obtained from Google Earth® (datum WGS 84 - UTM zone 22S).

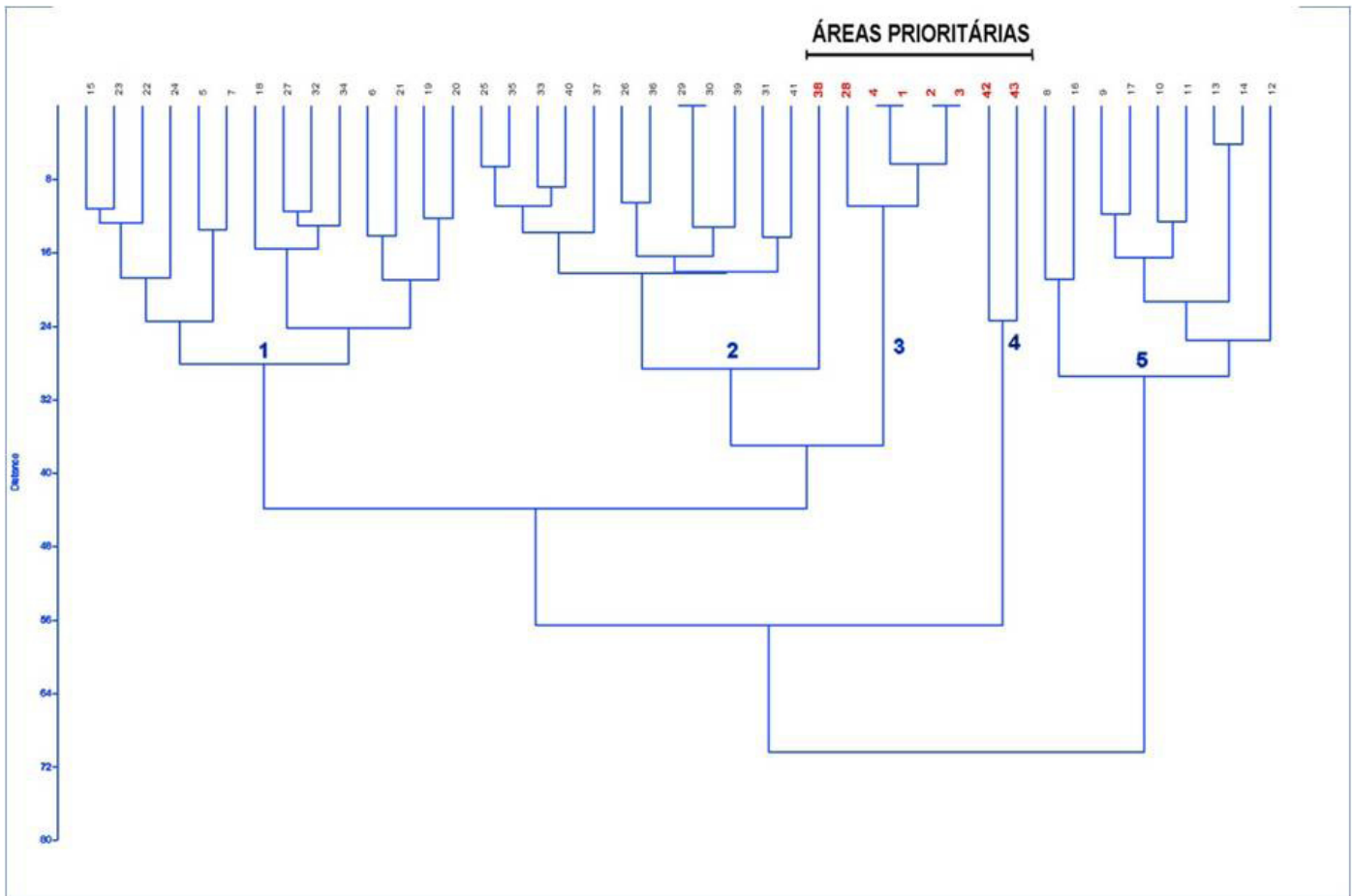


Figura 8. Resultado da análise de agrupamento por intermédio de Dendrograma: cinco grupos foram subdivididos, sendo os trechos em vermelhos considerados prioritários em razão dos seus altos IVR.

Figure 8. Result of the analysis of Cluster for Dendrograma: five groups had been subdivided, being the stretches in reds considered with priority in reason of its high IVR.

casos, o controle dos corredores de deflação se resolveria por meio de cercas de contenção (*sandfence*) e cobertura morta sobre as dunas. Situações de maior investimento envolveriam o prolongamento de manilhas de canais pluviais, recuo de muros de alguns lotes e recuperação dos cordões de dunas frontais.

O **grupo 3** abriga um segmento contínuo de 1000 m, desde a barra do estuário de Tramandaí até a Avenida Garibaldi, no Setor Sul (Figura 5), que por ter tido o maior nível de resiliência (4) foi eleito prioritário a intervenção. O modelo de urbanização da praia substituiu as dunas por passeio público, edificação de quiosques e estacionamento de veículos. No período que antecede a temporada de verão, ocorrem invasões e acúmulos de areia no interior da zona urbanizada, acarretando problemas cíclicos de manutenção. A largura da pós-praia (100 m) ainda permite a construção de dunas, trabalho a ser feito todo início da primavera, empregando métodos estruturais e vegetativos. Os trechos pontuais 42, 43 (**grupo 4**), também prioritários ao manejo, decorrem da ocupação ilegal de lotes no interior da APP das dunas e a construção da estrada RS-786. A solução envolve a retiradas das moradias e recuo 50 metros da estrada para o continente.

O **grupo 5** reuniu trechos de menor nível de vulnerabilidade (20-40%), incluindo o Condomínio *Las Olas* (Fig. 5), e os balneários Presidente, Riviera, Ipiranga (Fig. 6). Neste segmento existem vazios urbanos e áreas naturais, bem como trechos contendo dunas largas (acima de 40 m) e sujeitas à baixa pressão de uso. As condições morfoecológicas das dunas são típicas de costa estável a progradante, geometria estável, boa cobertura vegetal e presença de dunas embrionárias (Tab. 3).

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

5.1. Perfis bidimensionais praia-duna

A expressão mais simples de uma praia arenosa é o perfil da sua seção transversal (perfil bidimensional), que registra a altura, largura, declividade e volume da praia (Short, 1999). Estudos clássicos da dinâmica costeira comparam os resultados de perfis sequenciais, obtidos a partir de um mesmo referencial de nível fixo ao longo do tempo. Estas observações mostram que as feições morfológicas variam entre dois extremos (Pethick, 1984), desde um perfil inclinado e convexo (verão) até um mais rebaixado, aplainado a côncavo (inverno). O presente estudo é uma radiografia da costa, no início do verão de 2012, com o objetivo de levantar

os problemas, buscar soluções e licenciar as atividades na costa.

A análise comparativa das variações da linha de costa e do volume de sedimentos são métodos diretos para a caracterização da erosão costeira ou do balanço sedimentar em dado perfil no tempo (Souza *et al.*, 2005). Os setores da linha de costa de Imbé em retrogradação e estabilidade geral nas últimas décadas (Toldo Jr. *et al.*, 1999), estiveram boa correlação com as medidas dos perfis transversais à praia. Os indícios de erosão costeira no Setor Norte de Imbé estão relacionados ao estreitamento da pós-praia (Largura $\leq 40\text{m}$), diminuição dos estoques de sedimentos ($< 0,8 \text{ m}^3\text{m}^{-1}$) e degradação dos estágios morfoecológicos das dunas frontais. A linha de costa estável no setor central da orla de Imbé esteve bem correlacionada a praias intermediárias com maior estoque de sedimentos ($> 1 \text{ m}^3\text{m}^{-1}$) e dunas estabilizadas, tanto pela geometria como pela satisfatória cobertura vegetal (Fig. 4 e Apêndices 2, 3, 4 e 5).

A erosão costeira é o resultado de interações complexas que resultam principalmente da dinâmica entre a quantidade e o tipo de suprimento sedimentar, energia física das ondas e mudança relativa do nível do mar (Toldo Jr. *et al.*, 2006). Dependendo das circunstâncias, a ação combinada do deslocamento das águas devida as ondas, marés, tempestades marinhas e correntes costeiras interagindo com as terras na costa produzem variabilidades na posição da linha de costa (Bird, 1996). Estas variações podem ser sazonais (perfil de inverno/ verão) e interanuais (ciclo ENSO) que se sobrepõem a uma tendência geral de progradação, em larga escala, de toda a barreira situada na província costeira a nordeste do estado do Rio Grande do Sul (Dillenburg *et al.*, 2000).

As causas antrópicas da erosão se sobrepõem às causas naturais de dinâmica de costa, pois interferem nas formas e processos do regime das praias. Estão associadas à pressão de uso e ocupação do espaço pelo homem, na dependência do modelo de urbanização da costa e a posição das edificações ao longo do perfil da praia. Em praias com erosão induzida pelo homem, a vulnerabilidade pode ser medida pela configuração do perfil praias (Marcomini & López, 1997). Com o incremento da urbanização em direção ao mar, o perfil torna-se mais retilíneo a côncavo e sem bermas na face da praia.

As dunas frontais, por interagirem com a praia, proporcionam indicações geoambientais do comportamento da linha de costa (Short & Hesp, 1982; EuroSION Project, 2004; Souza *et al.*, 2005). Na realidade, morfologias erosivas compartilham espaço com morfologias deposicionais dentro de um ciclo dinâmico (Carter *et al.*, 1990), cujo balanço vai tender para um lado ou para outro na dependência do estado da zona de surfe e praia, suprimento de sedimentos e tendência da costa em progredir, erodir ou estabilizar em um longo período de tempo (Hesp, 1999).

As formas erosivas exibem bacias de deflação pouco vegetadas, de moderada a alta escala espacial, e escarpas na face marinha produzidas por ondas de tempestades, cuja inclinação ($\geq 30\%$) apresenta diferentes fases de entalhe e preenchimento (Setor Norte). Numa situação de colapso do sistema eólico ocorrem muitas brechas e descontinuidades laterais do cordão de dunas. Uma duna com morfologia estável e bem vegetada apresenta a inclinação da face marinha suave ($\leq 30\%$) e levemente convexa, resultando em maior estabilidade frente aos fortes ventos (Setor Central).

A presença de dunas incipientes no pós-praia caracteriza a duna em acreção (perfil 4), que além de proteger a base da duna estabilizada, indica a recuperação ou progradação do sistema em direção ao mar.

A matriz arenosa policíclica formadora das praias do RS é retrabalhada no domínio praias por forças bidirecionais (*swash e backwash*), capazes de retirar os sedimentos finos e enriquecê-los com fragmentos de conchas. A boa seleção encontrada em todos os sedimentos coletados na zona do estirâncio é característica de ambientes de elevada energia. No entanto, a assimetria, que afere o grau de classificação da parte central das distribuições granulométricas com as suas terminais, representou ponto importante na caracterização da dinâmica e dos agentes de transporte e deposição presentes na área. Assimetrias negativas (cauda da curva deslocada da normal no sentido dos grossos) estiveram fortemente associadas a praias intermediárias de areia fina com elevados estoques de areia no perfil praias (perfis 5, 6 e 7 do Setor Central) e com mobilidade positiva da linha de costa (Toldo Jr. *et al.*, 1999). A distribuição de tamanho do grão areia média ($Mz < 2,0 \phi$) esteve correlacionado somente a perfis morfodinâmicos dissipativos (perfis 3, 8 e 11), em áreas da linha de costa em recuo e com baixo estoque de areia ($< 0,8 \text{ m}^3\text{m}^{-1}$).

A análise da tendência de transporte de sedimentos pressupõe que as distribuições de tamanho de grão do sedimento mudam ao longo do transporte, sendo possível definir a sua direção segundo a comparação da textura entre os depósitos contíguos (McLaren & Bowles, 1985). O fato do Setor Central da costa de Imbé ter apresentado areias mais fina, melhor selecionadas e com assimetrias negativas em relação aos Setores Sul e Norte (Tab. 1), caracteriza um saldo sedimentar positivo nesse setor, advindo do transporte dos trechos costeiros adjacentes em erosão. Nesse modelo, a energia de transporte dos sedimentos diminui nas praias intermediárias do Setor Central da costa, depositando os grãos mais finos e construindo bermas. No entanto, verifica-se apenas uma tendência observada na área de estudo, corroborada pela mobilidade da linha de costa (Toldo Jr., 1999), mas que deverá ser confirmada com mais amostragens temporais.

5.2. Vulnerabilidade das dunas e classificação da orla

A abordagem metodológica proposta permite identificar rapidamente quais são as zonas mais vulneráveis do sistema de dunas frontais que, por conseguinte, exigem medidas urgentes de proteção (Matias *et al.*, 1997). O *checklist* é um sistema rápido de avaliação tanto na dimensão temporal como espacial (Williams & Bennett, 1996). O método pode ser alimentado por novos parâmetros ou eliminar parâmetros redundantes e introduzir novas avaliações quantitativas, buscando sempre a melhor aproximação da condição da duna e melhor configurar as estratégias de manejo de dunas.

A vulnerabilidade das dunas frontais de Imbé mostrou a presença de agrupamentos mais ou menos homogêneos, separados por variações pontuais de alguns trechos (Tab. 2). A matriz das variáveis empregadas na medição e cálculo dos IVR, após ser submetida à análise multivariada, classificou cinco regiões costeiras com características similares quanto ao comportamento das variáveis analisadas, facilitando a proposição das soluções de manejo. Entre as áreas prioritárias

para iniciar o Plano de Manejo destaca-se o Grupo 3, setor Imbé 1-4 (Fig. 9). Trata-se de um grupo homogêneo e contínuo com elevados índices de vulnerabilidade (IVR > 60%), decorrente de uma urbanização equivocada que suprimiu as dunas.

A acentuação da vulnerabilidade no sistema de dunas está diretamente relacionada à pressão de uso, tais como às atividades turísticas e de veraneio que, ao mesmo tempo em que geram receitas para o município, são responsáveis por impactos ambientais e sociais negativos, incluindo perda de habitat, aumento na pressão sobre os estoques pesqueiros, poluição das águas costeiras com esgotos, acúmulo de lixo, entre outros tantos (Clark, 1996).

A pressão de uso humana (seção D *checklist*) sempre foi o principal condicionador das características morfológicas da faixa de dunas em área com ocupação consolidada do Litoral Norte do RS (Tabajara et al., 2012). Na escala regional existem diferenças nas forçantes costeiras a nível oceanográfico, meteorológica e climática: as ondas que chegam à costa sofrem modificações ao longo da plataforma interna que resultam em regimes diferentes na zona de arrebentação (Dillenburg et al., 2005); a componente normal do vento NE em relação à costa torna-se mais importante para o sul (abaixo de Tramandaí) e a altura das dunas frontais aumenta (Calliari et al., 2005); assim como o afastamento da costa em relação as escarpas da Serra Geral deixam o clima mais seco e ventoso para o sul, desenvolvendo extensos campos de dunas transgressivas (Tomazelli et al., 2008). Estas variáveis não foram taxadas nesse estudo, que devido à pequena extensão territorial do município de Imbé (11 Km), não sofreriam variação espacial sensível possível de distinguir os grupos amostrados da costa.

5.3. Estratégias de manejo desenhadas para toda a costa

Com a finalidade de emissão da Licença de Instalação, além dos segmentos considerados prioritários ao manejo, destacam-se as demandas do município, tais como: áreas com problemas cíclicos de manutenção (canais pluviais e fugas de areia para o viário), acessos funcionais e de pedestres, pontos dos empreendimentos imobiliários com frente para o mar, etc. O plano de manejo de dunas do município de Imbé, por meio de mapas georreferenciados, localizou os pontos de intervenção propondo estratégias de manejo de dunas a serem usadas na solução dos problemas de erosão, conflitos de uso, manutenção de sangradouros e na melhoria dos acessos à praia.

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 tampão entre as propriedades privadas e as áreas ativas de praia; 2) recuperação das dunas com distúrbios; 3) controle das atividades recreativas. O grupo de estudo apontou aos gestores do município de Imbé as seguintes técnicas de manejo para resolver os problemas de erosão de toda a orla: controle dos corredores de areia através da instalação de cercas de contenção, espalhamento de cobertura morta, construção de dunas frontais e plantio de capim-de-praia (*Panicum racemosum*), redimensionamento dos sangradouros, melhoria dos acessos à praia, bem como campanhas de sinalização e educação ambiental.



Figura 9. Vista da praia de Imbé no Setor Sul, sede municipal, onde as dunas frontais foram suprimidas pela urbanização pública. Data: 27 de dezembro de 2011.

Figure 9. View of the Imbé beach at the sector where foredunes were suppressed by urbanization public. Date: December 27, 2011.

| Seção A – Morfologia da duna | | | | | |
|--|-------------|------------------|-------------------|------------------|---------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 Área superficial (m ²) | >10000 [] | >7500 [] | >5000 [] | >2500 [] | <2500 [] |
| 2 Largura da duna (m) | > 50 [] | > 40 [] | > 30 [] | >20 [] | > 10 [] |
| 3 Altura máxima da duna (m) | > 5 [] | > 4 [] | > 3 [] | > 2 [] | < 1 [] |
| 4 Processo de escarpamento | baixo [] | | moderado [] | | alto [] |
| 5 Declividade na face frontal marinha | suave [] | | moderada [] | | acentuada [] |
| ESCORE TOTAL/ Percentagem | | | | | |
| Seção B – Condições da praia | | | | | |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 Largura do pós praia (m) | > 100 [] | > 80 [] | > 60 [] | > 40 [] | £ 40 [] |
| 2 Suprimento de areia | alto [] | | moderado [] | | baixo [] |
| 3 Brechas na face de praia | nenhuma [] | | algumas [] | | muitas [] |
| 4 Largura das brechas na face de praia | < 2 [] | | 2 - 10 [] | | > 10 [] |
| 5 Dunas embrionárias | muitas [] | | algumas [] | | pouca [] |
| ESCORE TOTAL/ Percentagem | | | | | |
| Seção C- Características dos 200m adjacentes ao mar | | | | | |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 % de área de blowouts dentro do sistema | < 5 [] | > 5 [] | > 10 [] | > 20 [] | > 40 [] |
| 2 Fuga de areia do sistema p/ continente | pouca [] | | alguma [] | | muita [] |
| 3 % de brechas no sistema de dunas | > 0 [] | > 5 [] | > 25 [] | > 50 [] | > 70 [] |
| 4 % do lado marinho da duna vegetada | > 90 [] | > 60 [] | > 30 [] | > 10 [] | < 10 [] |
| 5 Se as recentes areias depositadas foram | muitas [] | | algumas [] | | nenhuma [] |
| 6 % de cobertura impenetrável | poucas [] | | algumas [] | | muitas [] |
| 7 Existência de vegetação exótica | nenhuma [] | | alguma [] | | muita [] |
| 8 Sangradouros | 0 [] | | 1 [] | | 2 ou + [] |
| ESCORE TOTAL/ Percentagem | | | | | |
| Seção D – Pressão de uso | | | | | |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 Nº de acessos de veículos | 0 [] | 1 [] | 2 [] | 3 [] | 4 [] |
| 2 Densidade de caminhos de pedestre | baixa [] | | média [] | | alta [] |
| 3 Estágio de urbanização | nenhum [] | prla rústica [] | horiz. padrão [] | mista [] | vertical [] |
| 4 Nível de urbanização (%) | <10 [] | >10 [] | 30 a 50 [] | >50 [] | >70 [] |
| 5 Posição da urbanização | sem [] | terço final [] | pós-duna [] | duna frontal [] | pós-praia [] |
| 6 Nº de quiosque na praia | 0 [] | 1 a 2 [] | 3 a 5 [] | 6 a 8 [] | 9 a 10 [] |
| 7 Nº de proprietários | um [] | | alguns [] | | muitos [] |
| ESCORE TOTAL/ Percentagem | | | | | |

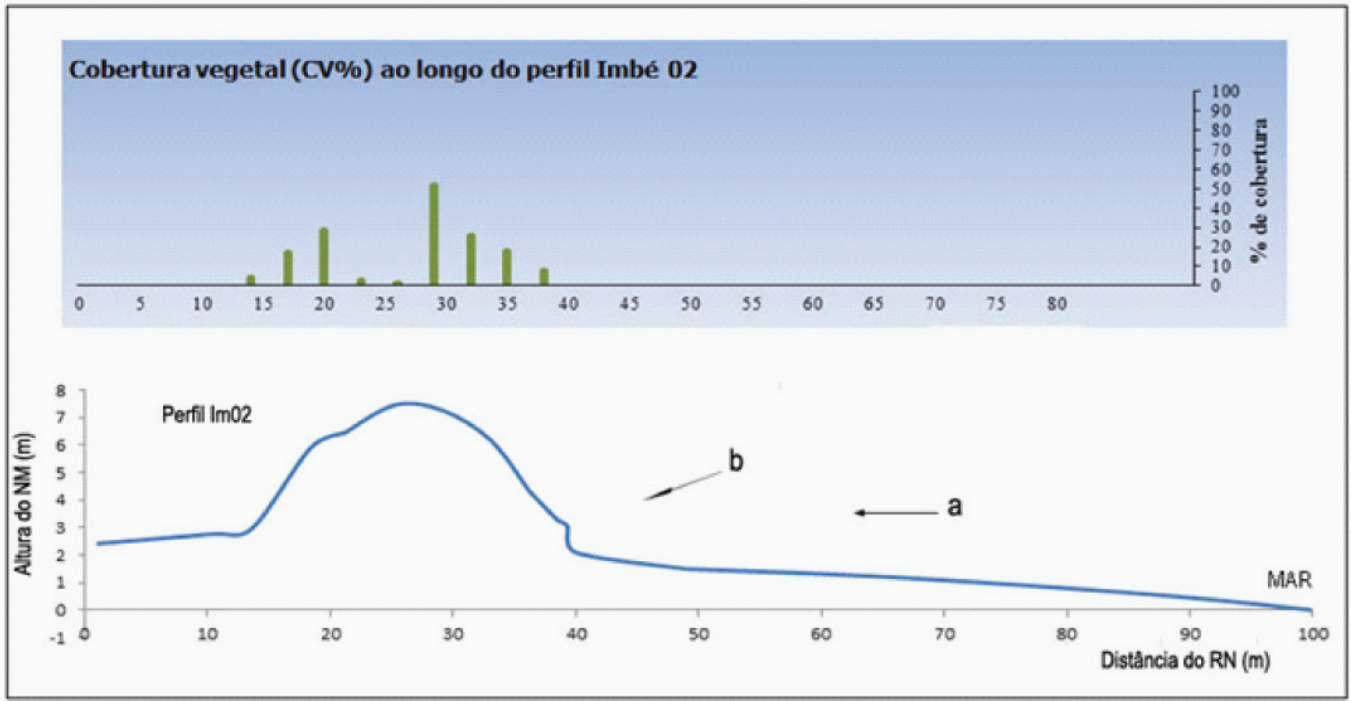
Apêndice 1. Lista de controle de vulnerabilidade de dunas para a medição dos índices de vulnerabilidade dos trechos costeiros do município de Imbé-RS. O método consiste em atribuir pontuação de 0 a 4 aos vários parâmetros de cada uma das quatro categorias: A- Morfologia das dunas; B- Condições da praia; C- Característica dos 200 m adjacentes ao mar; e D- Pressão de uso.

Appendix 1. Checklist of the dunes vulnerability in the coastal sectors of Imbé beach. The method consists in assigning score of 0 to 4 to several parameters of each of the four categories: A-Morphology dunes, B-Beach conditions;-C-Characteristic of 200 m adjacent to the sea and D-Use pressure.

Apêndice 2. No topo, variação da cobertura vegetal percentual ao longo do perfil da duna Imbé 2 (Im02); e , abaixo, foto a- vista do perfil transversal a duna e foto b- vista oblíqua do sistema de dunas com escarpamento por ondas, em larga escala.

Appendix 2. At the top, change in vegetation cover percentage along the profile of the dune Imbé 2 (Im02) and, below, photo a – cross-section view of the dune and photo b - oblique view of the dune system with escarpment by waves in large scale.

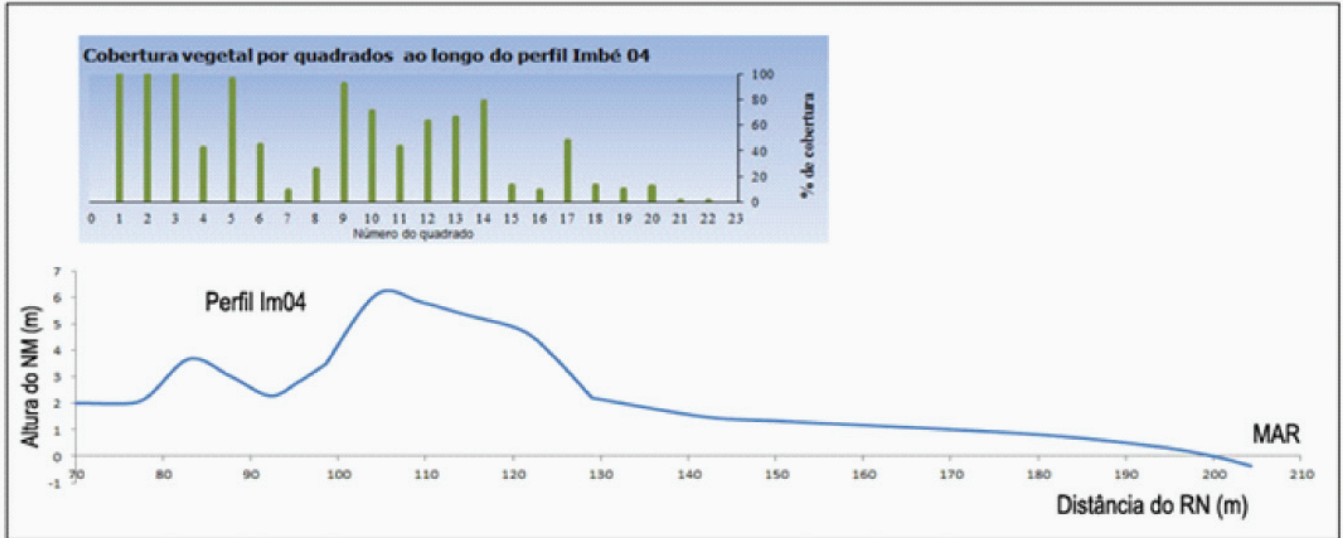
SETOR SUL - perfil Imbé 02



Apêndice 3. No topo, variação da cobertura vegetal percentual, ao longo do perfil da duna Imbé 4 (Im04); e , abaixo, foto a - vista da região do pós-duna e recuo da linha de ocupação; foto b - vista lateral do sistema de dunas em processo de acreção de areia fixadas por *Panicum racemosum*.

Appendix 3. At the top, change in vegetation cover percentage along the profile of the dune Imbé 4 (Im04) and, below, photo a - view of the area of dune and receding occupation, photo b -side view of the system dunes in the process of accretion of sand fixed by *Panicum racemosum*.

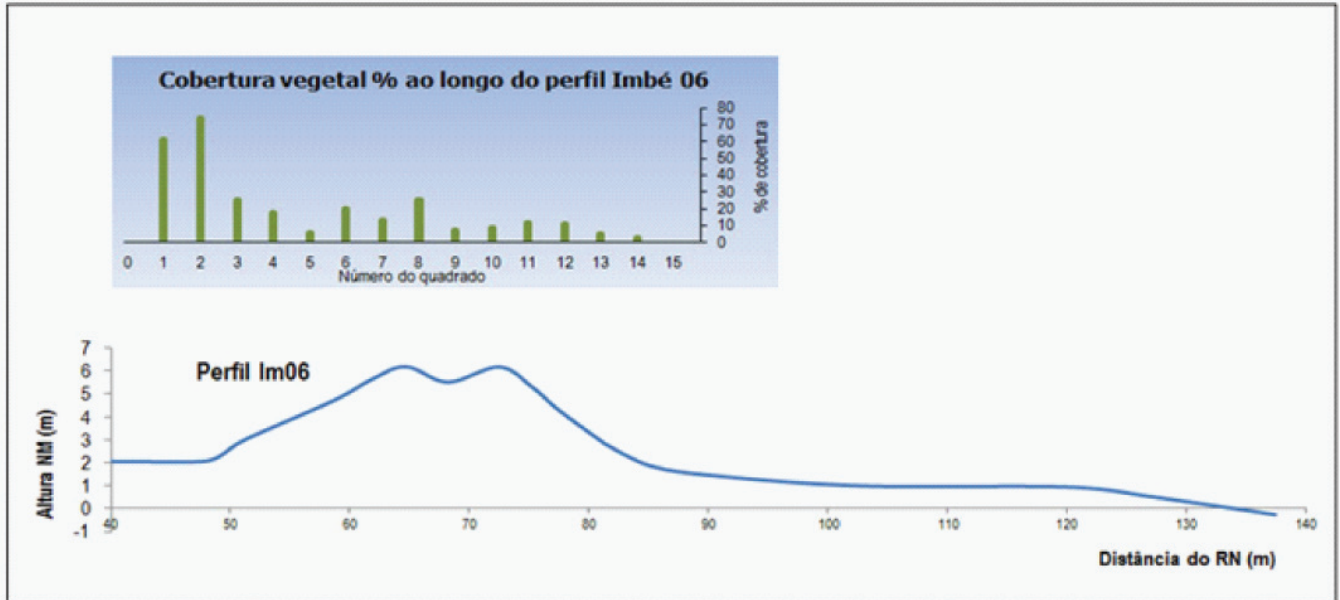
SETOR CENTRAL - perfil Imbé 04



Apêndice 4. No topo, variação da cobertura vegetal percentual ao longo do perfil da duna Imbé 6 (Im06); e , abaixo, foto a- vista das ocupações e lotes presentes nas proximidades do pós-duna; foto b- amostragem por quadrados (1 m2) com a presença de *Ipomoea pes-caprae* no talude reverso da duna.

Appendix 4. At the top, change in cover vegetation percentage along the profile of the dune Imbé 6 (Im06) and, below, photo a - view of occupations and lots nearby of dune, photo b-sampling square (1 m2) with the presence of *Ipomoea pes-caprae* in the reverse slope of the dune.

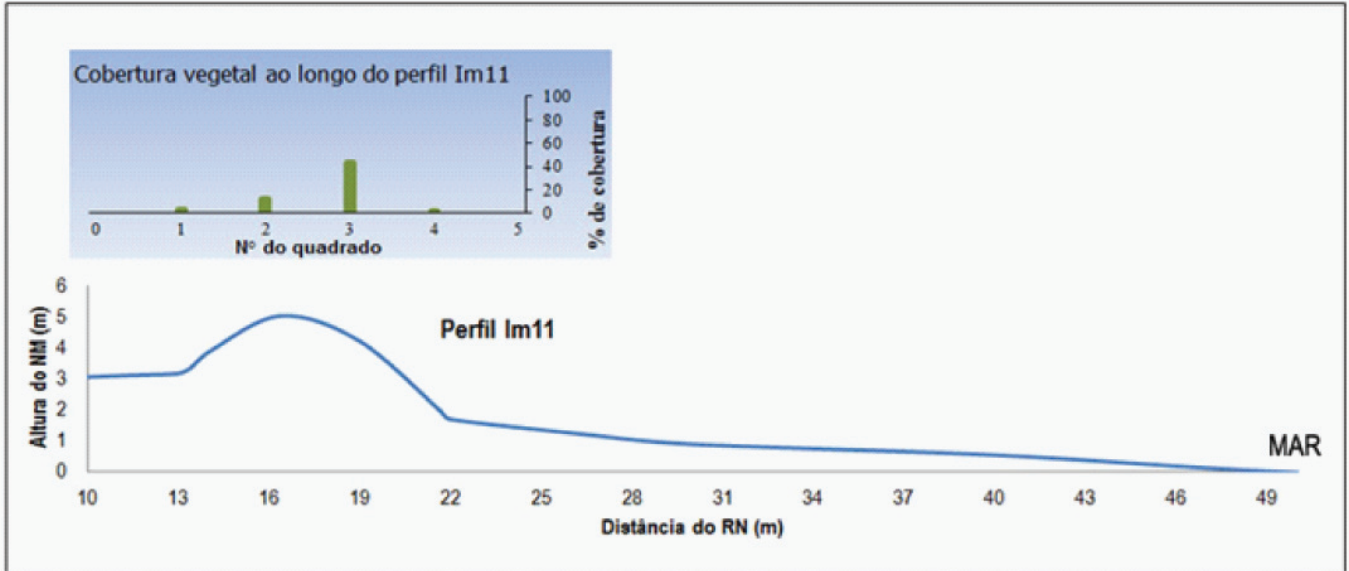
SETOR CENTRAL - Perfil Imbé 6



Apêndice 5. No topo, variação da cobertura vegetal percentual, ao longo do perfil da duna Imbé 11 (Im11); e, abaixo, foto a- reverso do cordão de dunas frontais cortado pela estrada litorânea interpraiais; e, foto b- face marinha e pé da duna frontal em erosão por ondas marinhas e ventos.

Appendix 5. At the top, change in vegetation cover percentage along the profile of the dune Imbé 11 (Im11) and, below photo a - reverse of foredunes crossed by coastal road, and, photo b – dune erosion of the marine face and foredune foot by waves and marine winds.

SETOR NORTE - Perfil Imbé 11



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L.E.S.B.; Rosauero, N.M.L.; Toldo Jr., E.E. (1997) - Análise Preliminar das Marés na Barra do Rio Tramandaí, RS. *XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Resumos*, pp.560-566, Vitória, ES, Brasil.
- Almeida, L.E.S.B.; Rosauero, N.L.; Toldo JR., E.E.; Gruber, N.S. (1999) -Avaliação da profundidade de fechamento para o litoral Norte do Rio Grande do Sul. *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Belo Horizonte, MG, Brasil; Publicado em CD-ROM.
- Arens, S.M.; Wiersma, J. (1994) - The Dutch Foredunes: Inventory and Classification. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 0749-0208), 10(1):189-202, Fort Lauderdale, FL, U.S.A. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/4298203>
- Balsillie, J.H.; Donoghue, J.F.; Butler, K.M.; Koch, J.L. (2002) - Plotting Equation for Gaussian Percentiles and a Spreadsheet Program for Generation of Probability Plots. *Journal of Sedimentology Research*, 72(6):929-933. DOI: 10.1306/040402720929
- Bird, E.C.F. (1996) - *Beach Management*. 281p., John Wiley, Chichester, West Sussex, UK. ISBN: 0471963372
- Birkemeier, W.A. (1985) - Field data on the seaward limit of profile change. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 111(3):598-602. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-950X(1985)111:3(598)
- 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* (ISSN: 1551-5036), si26(2):19-23. Fort Lauderdale, FL, U.S.A.
- Calliari, L.R.; Pereira, P.S.; Oliveira, A.O.; Figueiredo, S.A. (2005) - Variabilidade das dunas frontais no litoral Norte Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. *Gravel* (ISSN: 1678-5975), 3:64-68. Porto Alegre, RS, Brasil.
- Carter, R.W.G.; Hesp, P.; Nordstrom, K.F. (1990) - Erosional landforms in coastal dunes. In: Nordstrom, K.F., Psuty, N.P., Carter, R.W. (Eds.) *Coastal Dunes: form and process*. pp.217-250, John Wiley, Chichester, West Sussex, UK. ISBN: 978-0471918424
- Clark, J.R. (1996) - *Coastal Zone Management Handbook*. 694p., CRC Press. Boca Raton, FL, USA. ISBN: 1566700922
- Cordazzo, C.V.; Seeliger, U. (1995) - *Guia ilustrado da vegetação costeira no extremo sul do Brasil*. 275p, editora da FURG, Rio Grande, RS, Brasil. ISBN: 8589985024
- Dal Cin, R.; Simeoni, U. (1994) - A Model for Determining the Classification, Vulnerabilidade and Risk in the Southern Coastal Zone of the Marche (Italy). *Journal of Coastal Research* (ISSN: 1551-5036), 10(1):18-29.
- Davies, P.; Willians, A.T.; Curr, R.H.F. (1995) - Decision making in dune management: theory and practice. *Journal of Coastal Conservation* (ISSN: 1874-7841), 1:87-96.
- Dillenburg, S.R.; Roy, P.S.; Conwell, P.C.; Tomazelli, L.J. (2000) - Influence of Antecedent Topography on Coastal Evolution as Tested by the Shoreface Translations-Barrier Model (STM). *Journal of Coastal Research* (ISSN: 1551-5036), 16(1):71-81.
- Dillenburg, S.R.; Martinho, C.T.; Tomazelli, L.J.; Dorneles, L.O.; Silva, D.B. (2005). Gradientes de altura de ondas ao longo da costa do Rio Grande do Sul. *Anais do X Congresso da ABEQUA*, Guarapari, ES, Brasil. Publicado em CD-ROM.
- Euroasion Project, (2004) - *Living with coastal erosion in Europe: Sand and Space for Sustainability*. 30p. European Commission, Barcelona, Espanha. Disponível em: <http://www.euroasion.org/reports-online/part4.pdf>.
- FEPAM (2000) - *Diretrizes Ambientais para o Desenvolvimento dos Municípios do Litoral Norte*. 96p., Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul (FEPAM), Porto Alegre, RS, Brasil. *Não Publicado*.
- FEPAM (2004) - *Documento Normativo para a elaboração de Planos de Manejo de Dunas*. 2p., Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul (FEPAM), Porto Alegre, RS, Brasil. *Não Publicado*.
- Hammer, O.; Harper, D.A.T.; Ryan, P.D. (2001) - Past: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica* (ISSN: 1935-3952), 4(1):art4:1-9. Disponível em: http://www.uv.es/pe/2001_1/past/past.pdf.
- Hesp, P.A. (1988) - Morphology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in southeast Australia. *Sedimentary Geology*, 55(1-2):17-41. DOI: 10.1016/0037-0738(88)90088-7
- Hesp, P.A. (1999) - The Beach Backshore and Beyond. In: Short, A.D. (ed.), *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*, pp.145-169, John Wiley, Chichester, West Sussex, UK ISBN: 978-0471965701.
- IBGE (2001) - *Tendências Demográficas: Uma análise dos resultados da Sinopse Preliminar do Censo Demográfico 2000*. 63p., Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RS, Brasil. ISBN 85-24008547. Disponível em www.ibge.gov.br/home/...demografica/analise.../sinopse_censo2000.pdf
- IBGE (2010) - *Mapa Municipal Estatístico (Imbé)*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_estatisticos/censo_2010/mapa_municipal_estatistico/rs/imbe_v2.pdf
- IPCC (2001) - *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)], 83p., IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U.K. / New York, NY, U.S.A. ISBN: 0521014956. Disponível em <http://www.acrim.com/%5C/Reference%20Files/CLIMATECHANGE%202001%20-%20The%20Scientific%20Basis.pdf>
- Laranjeira, M. (1997) - *Vulnerabilidade e gestão dos sistemas dunares: o caso das dunas de Mira*. Dissertação de Mestrado, 199 p., Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal. *Não Publicado*
- McLaren, P.; Bowles, D. (1985) - The Effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology* 55(4):457-470. DOI: 10.1306/212F86FC-2B24-11D7-8648000102C1865D
- Matias, A.; Dias, J. A.; Williams, A.T.; Ferreira, O. (1997) - Vulnerabilidade das dunas da Ria Formosa. *9º Congresso do Algarve*, pp.231-239, Racal Clube, Silves, Portugal.

- Marcomini, S.C.; Lopéz, R.A. (1997) - Beach Profile Vulnerability. *In: Bordomer - Coastal Environments Management and conservation BORDOMER 97, 2* :220-231, Bourdeaux, France.
- Martins, L.R. (1967) - Aspectos texturais e deposicionais dos sedimentos praias e eólicos da planície costeira do Rio Grande do Sul. 102p., *Publicação Especial*, 13. Escola de Geologia/UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Martins, L.R.; Ponzi, V.R.; Corrêa, I.C.S. (1978) - Processamento Geológico de Amostras. *Notas Técnicas CECO/UFRGS*, 1:5-103, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Martinho, C.T.; Hesp, P.A.; Dillenburg, S.R. (2010) - Morphological and temporal variations of transgressive dunefields of Northern and mid-littoral Rio Grande do Sul coast, Southern Brazil. *Geomorphology*, 117(1/2):14-32. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.11.002
- Motta, V.F. (1968) - *Relatório diagnóstico sobre a melhoria e aprofundamento do acesso pela barra de Tramandaí*. 58p., IPH/UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. *Não Publicado*.
- Muehe, D.; Roso, R.H. ; Savi, D.C. (2003) - Avaliação de Método Expedito de Determinação do Nível do Mar como Datum Vertical para Amarração de Perfis de Praia. *Revista Brasileira de Geomorfologia* (ISSN:1519-1540), 4(1):53-57, São Paulo, SP, Brasil. Disponível em www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/download/19/17
- Nicolodi, J.L.; Siegle, E.; Rechden, F.O.R.; Corrêa, I.C.S. (2002) - Análise sedimentológica do pós-praia no Rio Grande do Sul. *In: L.R. Martins, E.E. Toldo Jr. & S.R. Dillenburg (eds), Erosão Costeira: Causas, análise de risco e sua relação com a gênese de depósitos minerais*, CECO/UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil
- Pethick, J. (1984) - *An Introduction to Coastal Geomorphology*. 260p., Edward Arnold, London, UK. ISBN: 0713163917
- Pfadenhauer, J. (1978) - Contribuição ao conhecimento da vegetação e de sua condição de crescimento nas dunas costeiras do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Biologia* (ISSN 0034-7108), 38(4):827-836. São Carlos, SP, Brasil.
- Santos, C.R.; Castellani, T.T.; Horn Filho, N.O.(1995) - "Pioneer" vegetation Dynamics at the Beach and foredunes in Joaquina Beach, Santa Catarina Island, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68(3):495-508, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SCOR Working Group 89 (1991) - The response of Beaches to Sea-Level Changes: A Review of Predictive Models. *Journal of Coastal Research* (ISSN: 1551-5036), 7(3):895-921, Fort Lauderdale, FL, U.S.A. Disponível em <http://journals.fcla.edu/jcr/article/view/78544/75949>
- Short, A.D.; Hesp, P.A. (1982) - Wave Beach and Dune Interactions in Southeastern Australia. *Marine Geology*, 48(3-4):259-284. DOI: 10.1016/0025-3227(82)90100-1
- Short, A.D. (1999) - Wave-dominated beaches. *In: A.D. Short (ed.), Handbook of beach and shoreface morphodynamics.*, pp.145-169, John Wiley, Chichester, West Sussex, UK. ISBN: 978-0471965701.
- Soil Conservation Service (1990) - *Coastal Dune Management: A Manual of Coastal Dune Management and Rehabilitation Techniques*. 74p., Soil Conservation Service of NSW, Sydney, Australia.
- Souza, C.R.; Souza F.P.W.M.; Esteves, L.S.; Vital, H.; Dillenburg, S.R.; Patchineelam, S.M ; Addad, J.E. (2005) - Praias arenosas e erosão costeira. *In: Souza, C.R (ed.), Quaternário do Brasil*, pp.130-152, Editora Holos, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 8586699470
- Suguio, K. (1992) - *Dicionário de Geologia Marinha: com termos correspondentes em inglês, francês e espanhol*. p.171, ed. T.A. Queiroz, São Paulo, SP, Brasil. ISBN: 85-71820015
- Tabajara, L.L.; Gruber, N.S.; Dillenburg, S.R.; Aquino, R. (2005) - Vulnerabilidade e Classificação das Dunas da Praia de Capão da Canoa, Litoral Norte do Rio Grande do Sul. *Gravel* (ISSN: 1678-5975), 3:71-84, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Tabajara, L.L.C.A.; Almeida, L.E.S.B.; Martins, L.R.(2008) - Morfodinâmicas tridimensionais de praia e zona de surfe intermediária-dissipativa no litoral Norte-RS. *Gravel* (ISSN: 1678-5975), 6(1):81-97, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Tabajara, L.L.C.A.; Gruber, N.S.; Portz, L. (2012) - As dunas de Xangri-Lá: inventário, classificação e escolha de áreas prioritárias ao manejo. *Pesquisas* (ISSN 1518-2398), 39(1):35-52, Porto Alegre, RS, Brasil. Disponível em: <http://www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br/3901/3-3901.pdf>
- 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 em Geociências* (ISSN 1518-2398), 20(1):27-32, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil.
- Toldo Jr., E.E.; Almeida, L.E.S.; Barros, C.; Martins, L.R.(1999) - Retreat of the Rio Grande do Sul Coastal Zone, Brazil. *In: Martins, L.R. & Santana, C.I. (eds.), Non Living Resources of the Southern Brazilian Coastal Zone and Continental Margin*. pp.62-68, Editora da UFRG, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Toldo Jr. E.E.; Almeida, L.E.S.B.; Nicolodi, J.L.; Martins, L.R. (2006) - Erosão e Acréscimo da Zona Costeira. *In: D. Muehe (org.), Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*, pp.468-475, MMA/PGGM, Brasília, DF, Brasil. ISBN 85-77380289
- Tomazelli, L. J. (1993) - O Regime de Ventos e a Taxa de Migração das Dunas Eólicas Costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas* (ISSN 1518-2398), 20(1):18-26. Porto Alegre, RS, Brasil.
- Tomazelli, L.J.; Dillenburg, S.R.; Barboza, E.G. ; Rosa, M.L.C. (2008) - Geomorfologia e Potencial de Preservação dos Campos de Dunas Transgressivos de Cidreira e Itapeva, litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas em Geociências* (ISSN 1518-2398), 35(2):47-55, Porto Alegre, RS, Brasil.
- Wright, L.D.; Short, A.D. (1984) - Morphodynamic Variability of Surf Zones and Beaches: A synthesis. *Marine Geology*, 56(1-4):93-118. DOI: 10.1016/0025-3227(84)90008-2
- Williams, A.T.; Bennet, R. (1996) - Dune Vulnerability and Management in England. *In: J. Taussik & J. Mitchell (eds.), Partnership in Coastal Zone Management*, pp.377-384, Samara Publishing, Hereford, U.K. ISBN: 187392099.
- Williams, A.T.; Davies, P.; Curr, R.H.F.; Koh, A.; Bodéré, J.C.I.; Hallégouet, B.; Meur, C. ; Yoni, C. (1993) - A Checklist Assessment of Dune Vulnerability and Protection in Devon and Cornwall, UK. *In: Coastal Zone '93*, 1:3395-3408, ASCE, New York, NY, USA.