

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LÍGIA PADILHA NOVAK

**VULNERABILIDADE À EROSÃO COSTEIRA NA ORLA MARÍTIMA DO
MUNICÍPIO DE MATINHOS, PARANÁ, BRASIL**

**CURITIBA
2015**

LÍGIA PADILHA NOVAK



VULNERABILIDADE À EROÇÃO COSTEIRA NA ORLA MARÍTIMA DO
MUNICÍPIO DE MATINHOS, PARANÁ, BRASIL

Artigo científico apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Análise Ambiental, no curso de Especialização em Análise Ambiental, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Renato Lamour.

Curitiba
2015

RESUMO

A linha de costa do Paraná, além das interferências naturais, tem sido submetida a intensas modificações antrópicas pela ocupação da orla. Com isso, processos como a erosão costeira passam a ser vistos como um fator de risco. As praias do Paraná são predominantemente arenosas, sem a ocorrência frequente de rochas, com resquícios de vegetação costeira (restinga) na sua porção norte que progressivamente desaparece na sua porção sul. Com base nessas características, este trabalho objetivou o mapeamento da vulnerabilidade a processos erosivos na costa do município de Matinhos, evidenciando áreas críticas ou mesmo em estágio avançado de erosão. Para isso foram identificados indícios de erosão na linha de costa como feições morfológicas com potencial de agravamento de processos erosivos, sangradouros, obras de proteção costeira e largura do pós-praia. A metodologia utilizada classificou os trechos norte e central do município de Matinhos como menos vulneráveis à erosão. A maior vulnerabilidade foi encontrada nos Balneários Caiobá, Riviera e Flamingo, justamente onde ocorreram as obras de proteção costeira e onde a urbanização apresentou-se mais consolidada. Esta pesquisa gerou resultados importantes que poderão ser incorporados nas políticas públicas da zona costeira, apresentando uma metodologia prática com a aplicação de indicadores e uma ferramenta de análise espacial que contribui para estudos de vulnerabilidade à erosão costeira.

Palavras-chave: Ocupação antrópica; transporte sedimentar; análise espacial.

ABSTRACT

The coastline of the state of Paraná, Brazil, beyond the natural interference, has undergone intense human occupation. Thus, processes such as coastal erosion are seen as risk factors. Based on these statements, this study aims to spatial analysis, focusing environmental issues and identifying critical areas, important for the occupation management, in the municipality of Matinhos. The field work consisted in identifying and locating evidence of erosion on the coastline (width of the shoreline), morphological features considered to favor these processes (natural/anthropogenic washouts), and shoreline protection structures (riprap, walls, stairs). The methodology used in this study classified the northern and central parts of Matinhos as less vulnerable to erosion. The increased vulnerability was found in Caiobá, Riviera and Flamingo beaches, just where the shoreline protection structures were and where urbanization had become more consolidated. This research has led to important results that may be incorporated into the public policies of the coastal zone, with a practical methodology with the application of indicators and a spatial analysis tool that will contribute to vulnerability studies coastal erosion.

Keywords: human occupation, sediment transport, spatial analysis

1. INTRODUÇÃO

A linha de costa tem mudado sua configuração ao longo do tempo pela ação do transporte de sedimentos transversal e longitudinalmente à costa, em consequência da dinâmica das ondas, marés, “ressacas”, *runup*, *setup*, entre outros (BOAK; TURNER, 2005, p. 689).

A erosão costeira é caracterizada como um processo natural de modificação da linha de costa, que do ponto de vista geológico é decorrente de um suprimento negativo de sedimentos. Contudo, sob o ponto de vista da gestão, apresenta conflitos de ocupação pelo antagonismo frequente entre a dinâmica costeira e a ocupação urbana motivada pela especulação imobiliária ou por problemas sociais. Com isso, áreas costeiras de interesse socioeconômico e ambiental merecem atenção dos atores envolvidos na gestão costeira, principalmente quando a erosão se torna severa e/ou permanente ao longo do ambiente praias tornando-se assim um risco (SOUZA *et al.*, 2005).

Não diferente de outros países, o Brasil apresenta diversas praias onde o processo de erosão é grave, demandando em muitos casos medidas para a sua contenção e recuperação da orla (ESTEVES *et al.*, 1999; KLEIN *et al.*, 1999), o que somente veio a se tornar uma preocupação a partir da década de 1990 (SOUZA *et al.*, 2005; SOUZA, 2009; MUEHE, 2006).

As praias da costa litorânea do estado do Paraná são predominantemente arenosas, sem a ocorrência frequente de rochas, apresentando uma faixa de restinga¹ que diminui sua largura de norte para sul (Figura 1). De acordo com Pierri *et al.* (2006, p.160), a urbanização deste trecho do litoral brasileiro ocorreu na forma de loteamentos paralelos próximos ou mesmo sobre a praia. Isto pode ser observado no litoral centro sul do Paraná, onde houve destruição das dunas frontais, aterramento de brejos e desconfiguração de rios e córregos. Alguns dos Balneários que compõem o

¹ Depósito arenoso subaéreo produzido por dinâmica costeira onde se desenvolve vegetação herbácea e arbustiva (SOUZA *et al.*, 2008, p.43).

município de Matinhos são caracterizados pelo pós-praia² estreito ou mesmo inexistente.

Em dois dos principais balneários deste município (Matinhos e Caiobá) se verificam frequentes problemas relacionados aos processos de erosão e onde a vegetação está praticamente ausente. Nesse sentido, tem-se a necessidade de entender a dinâmica deste segmento praiial, mapeando as áreas potenciais à vulnerabilidade costeira, sejam elas causadas por ordem natural ou por intervenção humana.

Considerando o processo de urbanização ocorrido sem considerar os riscos ambientais, além dos gastos públicos expressivos em obras de recuperação das praias atingidas pela erosão costeira, feitas sem o entendimento dos processos costeiros, o objetivo deste estudo foi realizar um diagnóstico ambiental do município de Matinhos. Evidenciando áreas críticas ou mesmo em estágio avançado de erosão e suas causas, servindo de subsídio para trabalhos posteriores no sentido de melhorar a gestão da zona costeira paranaense.

2. ÁREA DE ESTUDO

A planície costeira do estado do Paraná formou-se pelas oscilações do nível relativo do mar ao longo do Período Quaternário, e que se estende por 90 km desde o sopé da Serra do Mar até as praias banhadas pelo oceano Atlântico (ANGULO, 2004, p.30). Estas oscilações sucessivas produziram uma infinidade de feições costeiras, das quais podem ser destacados os cordões litorâneos (BIGARELLA, 1946, p.66). Estas feições apresentam sucessões entre cristas e depressões, constituindo áreas alagadas e pequenas lagoas (ANGULO, 2004, p.39), que ao desembocarem nas praias formam cursos d'água na forma de sangradouros.

A região litorânea paranaense é caracterizada por um regime de micromarés de amplitude de 1,5 m (MARONE *et al.*, 1995). Os ventos mais

² Região entre o limite superior do alcance máximo das ondas até o início das dunas fixadas por vegetação ou qualquer alteração fisiográfica (HOEFEL, 1998, p.29).

intensos que atingem esta costa são provenientes do quadrante S, e possuem um giro sazonal de E-SE-S. Eles atuam com maior intensidade entre os meses de junho e agosto, ocasionado pela maior ação das frentes frias. No restante dos meses do ano há predominância de ventos de direção E e SE (OLIVEIRA; DOURADO, 2010). A direção de propagação de ondas imperante na plataforma interna é SSE, sendo dominada por ondas de alta frequência formadas por ventos próximos à costa, estes gerados por frentes frias e ciclones subtropicais em fase inicial (NEMES, 2011,p122).

A batimetria da plataforma continental interna do Paraná varia entre os 5 e os 15 m (VEIGA *et. al.*, 2004, p.68), onde o talude é suave pela ausência de grandes obstáculos para a propagação das ondas em direção da costa. O clima da região é dependente do deslocamento do anticiclone semipermanente no Atlântico Sul e da passagem de massas polares frias no inverno. Possui uma estação típica de chuva entre o final da primavera e do verão, e uma estação seca compreendida entre outono e inverno, usualmente interrompida por um curto e fraco período de chuva no início do inverno (LANA *et al.*,2000).

O município de Matinhos possui uma área de 118 km², ao norte limita-se com Pontal do Paraná e ao sul com Guaratuba (Figura 1). A população residente é de 29.428 habitantes (IBGE, 2010) e em períodos como o verão e/ou feriados este número pode duplicar, porém não existe uma estimativa da população flutuante para este município.

Os arcos praias desta região apresentam orientação NE-SW em sua maior parte, sendo interrompidos por um único pontal rochoso denominado de Pedra de Matinhos. Os sedimentos praias são constituídos por areias finas a médias, bem selecionadas e com predomínio de assimetria negativa (ANGULO, 1992). Segundo Quadros (2002), o estado morfodinâmico destas praias é dissipativo, apresentando comportamento intermediário e refletivo em alguns trechos do litoral, como no balneário Praia de Leste. A corrente de deriva longitudinal flui com sentido NE (BIGARELLA *et al.*, 1978), evidenciado pela orientação das desembocaduras dos rios e pela morfologia dos deltas de maré vazante dos estuários de Guaratuba e Paranaguá (ANGULO, 1992).

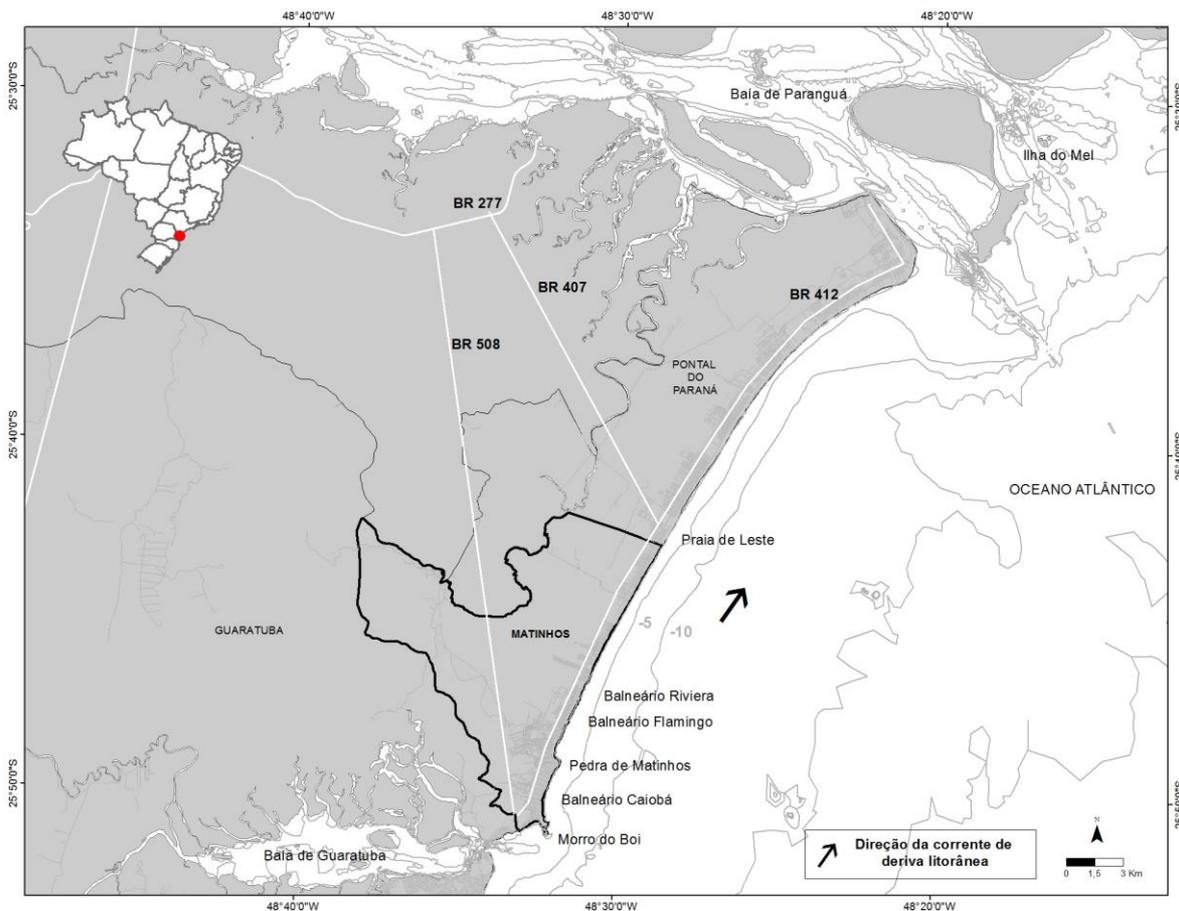


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo e suas principais toponímias.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As características granulométricas dos sedimentos praias foram estabelecidas a partir da coleta de 32 amostras superficiais de sedimentos ao longo da linha de água, com espaçamento de 500 metros entre si. Essas amostras foram preparadas para a análise pela técnica de ataque químico com ácido clorídrico (HCl) diluído em 10%, para a eliminação dos carbonatos (CO_3) contidos na amostra *in natura*. Nesta oportunidade, também foram quantificadas as suas porcentagens nos sedimentos, pela comparação de pesos antes e depois do ataque.

Tais amostras foram submetidas à análise granulométrica por dispersão laser em um equipamento *BlueWave* (Microtrac), o que possibilitou o

estabelecimento dos parâmetros estatísticos granulométricos das partículas sedimentares (Diâmetro médio, Grau de seleção e Assimetria). Posteriormente, estes resultados foram também utilizados na identificação da dinâmica sedimentar da área pela aplicação dos métodos GSTA (*Grain Size Trend Analysis*; Gao e Collins, 1992) e GSTAST (*Grain Size Trend Analysis with Significance Test*; Chang *et al.*, 2001) o que possibilitou o estabelecimento de vetores de tendências de transporte sedimentar residual das células de circulação costeira.

O grau de erosão na linha de costa foi efetuado pela observação, descrição as respectivas localizações (GPS) dos indícios descritos por Souza (1997) e Souza *et al.* (2005). Ainda foram identificados e registradas outras feições potencializadoras dos processos erosivos como: 1. Sangradouros (naturais e antrópicos); 2. Desembocaduras (rios e gamboas); 3. Galerias de escoamento pluvial; 4. Estruturas de proteção costeira (enrocamentos, muros, gabiões e escadarias); 5. Grau de urbanização da orla, e 6. Largura do Pós-Praia.

As análises espaciais foram estabelecidas com base em pesos atribuídos a cada uma das variáveis analisadas, conforme a sua correlação negativa (1) ou positiva (2) com o risco gerado pela erosão costeira (Tabela 1). A integração e a análise espacial dos dados foram realizadas no *software* ArcGis 10.1, seguindo a proposta de Lamour *et al.* (*em prep*). Inicialmente foram criados polígonos arbitrários com largura de 500 metros costa adentro a partir da linha de costa, pela necessidade de uma mesma área de comparação entre cada um dos indicadores analisados auxiliando na integração espacial.

Posteriormente, foi criada uma grade de malha regular de 50 metros de lado (pixels) para a análise espacial dos dados, que tiveram as coordenadas de seus centroides determinadas por geoprocessamento. Por fim, os dados foram transformados em formato imagem (rasterizados), possibilitando a elaboração de mapas de vulnerabilidade à erosão pela técnica de álgebra entre mapas. A vulnerabilidade foi dividida em 2 classes: alta e baixa. A classificação alta correspondeu aos pesos igual a 2 e baixa aos pesos igual a 1.

Análises e seus critérios

Os sangradouros receberam a classificação pelo seu grau de adensamento, onde a relação com os pesos atribuídos foi diretamente proporcional. Assim como para os sangradouros, foi atribuído às galerias pluviais peso 2 onde estavam mais concentradas, e peso 1 onde havia redução da sua concentração ou mesmo quando não foram observadas em campo. Essa atribuição de pesos foi assim definida, pois, nos locais onde há maior concentração de galerias, há mais pontos de escoamento de águas pluviais, portanto formam maior número de sangradouros. Esta escolha foi embasada pelas constatações de Figueiredo & Calliari (2005) de que, em áreas balneárias aumenta a ocorrência de sangradouros não naturais, pois com o avanço da urbanização e a decorrente pavimentação urbana diminuem a área de infiltração, sendo essas águas extravasadas para a praia na forma de sangradouros.

A largura do pós-praia, contido entre as obras costeiras e a linha de vegetação, foi utilizada como critério para a determinação da sensibilidade da linha de costa aos processos erosivos. Neste processo de delimitação da largura do pós-praia preservado em cada setor da área de estudo, as medidas foram tomadas em fotografias aéreas relativas ao ano de 2003 (ITCG, 2014), pois são as mais recentes disponíveis na região. O peso maior foi atribuído arbitrariamente a larguras menores que os 30 m, enquanto que o menor peso a larguras maiores que os 30 m.

Como não se constatarem diferenças significativas entre as obras costeiras presentes nos balneários, na definição das influências de cada tipo de obras costeiras considerou-se o critério de presença e ausência, atribuindo peso maior ou menor, respectivamente.

O critério de classificação para a urbanização foi baseado na proposta do Projeto Orla (2006), onde as áreas em processo de urbanização apresentam indícios de ocupação recente, com paisagens parcialmente antropizadas, podendo ocorrer atividades tradicionais, como pesca artesanal. Ainda puderam ser caracterizadas pela predominância de segundas-

residências e volume de população não residente. Já orlas com urbanização consolidada apresentam paisagens altamente modificadas pela ação humana, alto adensamento de construções e população e também grande potencial de poluição sanitária. Portanto, orlas com urbanização consolidada tiveram correlação positiva e orlas em processo de urbanização apresentam correlação negativa.

Para o diâmetro médio de grão, a atribuição dos pesos foi baseada no estudo Figueiredo e Calliari (2005) que verificaram que as areias finas apresentam uma correlação positiva para a ocorrência de sangradouros. Portanto, nos trechos onde ocorreram as areias finas atribuiu-se maior peso e onde se encontravam areias médias menor peso.

Alves (2011) constatou que nas zonas de divergência entre vetores de transporte sedimentar as regiões apresentavam tendência a processos sedimentares deposicionais, e em zonas correspondentes a convergência entre vetores, apresentavam processos sedimentares predominantemente erosivos. Baseado nessas constatações, foi atribuído peso 1 aos vetores que indicavam transporte normal longitudinal à costa, e aos vetores que apresentaram comportamento divergente, indicando deposição de sedimentos, e peso 2 aos vetores convergentes, que indicam erosão.

Tabela 1: Apresentação dos indicadores de erosão costeira, dos critérios, dos pesos atribuídos e a bibliografia utilizada para embasar a escolha dos pesos.

INDICADORES	CRITÉRIOS	PESOS	EMBASAMENTO TEÓRICO
Urbanização	Orla em urbanização	1	Projeto Orla (2006)
	Orla urbanizada	2	
Obras Costeiras	Baixa concentração ou ausência	1	Souza (1997);Souza <i>et al.</i> (2005)
	Alta concentração	2	
Pós-praia	Largura 0 – 70	2	Souza (1997);Souza <i>et al.</i> (2005)
	Largura 0 – 30	1	
Galerias Pluviais	Baixa concentração ou ausência	1	Figueiredo & Calliari (2005)
	Alta concentração	2	
Sangradouros	Baixa concentração ou ausência	1	Figueiredo & Calliari (2005)
	Alta concentração	2	
Diâmetro Médio	Areias médias	1	Figueiredo & Calliari (2005)
	Areias finas	2	
Vetores de tendência	Transporte Longitudinal e divergência de vetores	1	Alves (2011)
	Convergência de vetores	2	

4. RESULTADOS

Foram contabilizadas 106 galerias de escoamento de águas pluviais, com distância média de 90 metros entre elas. Estas se apresentaram com uma densidade maior nas áreas norte e central do que na área ao sul, e em trechos adjacentes ao Rio Matinhos e porção norte do Balneário Caiobá não apresentaram galerias pluviais.

Seguindo da área norte até a central, a largura do pós-praia variou de 30 a 70 metros. Na porção sul do Balneário Caiobá a largura média do pós-praia

foi de 15 metros. Principalmente nos Balneários Riviera e Flamingo, em alguns trechos o pós-praia foi inexistente tendo sido substituído por obras de proteção costeira. Além disso, notaram-se resquícios de ocupação informal sobre o pós-praia, ajardinamento com introdução de plantas exóticas, obras de estruturas de acesso à praia e de lazer como quadras esportivas e quiosques. Esta ocupação informal foi mais comum no trecho central e sul da área de estudo.

Foram identificados 37 sangradouros ao longo da linha de costa analisada, dentre os quais, 35 foram classificados como de origem antrópica, pois estavam relacionados com as galerias de escoamento de águas pluviais. Os demais apresentaram características de uma origem natural, tendo sido identificados como os rios Matinhos e Caiobá, os quais se estendem planície costeira adentro se originando nas adjacências e nas vertentes da Serra da Prata. A porção norte da área de estudo apresentou maior número de sangradouros, com distanciamento médio entre eles de aproximadamente 150 metros. Esta região caracterizou-se por apresentar sangradouros de maior porte quando comparados aos sangradouros situados ao sul da área de estudo. A concentração de sangradouros diminuiu a partir da sua porção central em direção sul onde o distanciamento médio entre eles foi de 500 metros aproximadamente. Notou-se que onde havia diminuição da faixa de restinga e pós-praia os sangradouros tiveram menor extensão e conseqüentemente estiveram mais próximos às galerias pluviais. Na extremidade sul, a partir do rio Matinhos, o número de sangradouros diminuiu consideravelmente, onde foram identificados apenas 4 deles. De uma maneira geral, os sangradouros observados são efêmeros e possuem vegetação de restinga associada, contudo apenas os sangradouros classificados como naturais são permanentes.

As obras de proteção costeira identificadas foram escadarias, muros e enrocamentos, observadas principalmente nos Balneários Flamingo, Riviera e Caiobá. Em Riviera e Flamingo foram identificadas as três estruturas de proteção da costa, enquanto que no Balneário Caiobá constatou-se presença de escadarias e enrocamentos. As escadarias identificadas em Riviera e Flamingo são menores quando comparadas às localizadas na porção norte do Balneário

Caiobá, que possuem aproximadamente 8 metros de altura (Figura 2). Neste mesmo balneário foram identificados enrocamentos, que não apresentaram diferenças estruturais em relação aos encontrados nos outros dois balneários. Esses balneários têm como característica o pós-praia estreito, alguns locais com resquícios de vegetação de restinga arbustiva e gramíneas, dunas frontais de pequeno porte e ou mesmo inexistentes onde são encontradas as obras de proteção costeira.



Figura 2: Diferentes escalas nas obras de proteção costeira (escadarias) localizadas no Balneário Caiobá (A) e no Balneário Flamingo (B). Acrescentar em cada foto uma letra conforme a sua identificação na legenda.

Ao longo dos 16 km de extensão da área de estudo, na porção norte observou-se áreas vegetadas, com alguns lotes sem ocupação, até a terceira quadra partindo da Avenida Beira-mar. No trecho sul verificou-se uma ocupação consolidada, com poucas áreas vegetadas entre as edificações. Com estas observações foi possível classificar a orla, de acordo com o Projeto Orla (2006) em dois tipos de urbanização, sendo o trecho ao norte em processo de urbanização e trecho sul com urbanização consolidada.

O diâmetro médio dos sedimentos variou entre as areias finas (0,125 - 0,250 mm) e médias (0,250 - 0,500 mm) de bem a muito pobremente selecionadas, segundo a classificação de Wentworth (1922). As areias finas ocorreram em ambas as extremidades do arco praiar (sul e norte), dos pontos 1 a 8 e 27 a 32 enquanto que as areias médias foram observadas na sua porção central, entre os pontos 9 e 26 (Figura 3). A maioria das amostras de sedimentos apresentou bom selecionamento dos grãos (bem a

moderadamente selecionados). No entanto, junto à desembocadura do Rio Matinhos (pontos 9 a 11), e na porção central do arco (pontos 18 a 22), houve ocorrência de sedimentos pobremente selecionados, com apenas uma ocorrência de sedimentos muito pobremente selecionados (ponto 24) (Figura 4). A assimetria variou de muito positiva a muito negativa, sem apresentar um padrão definido (Figura 5).

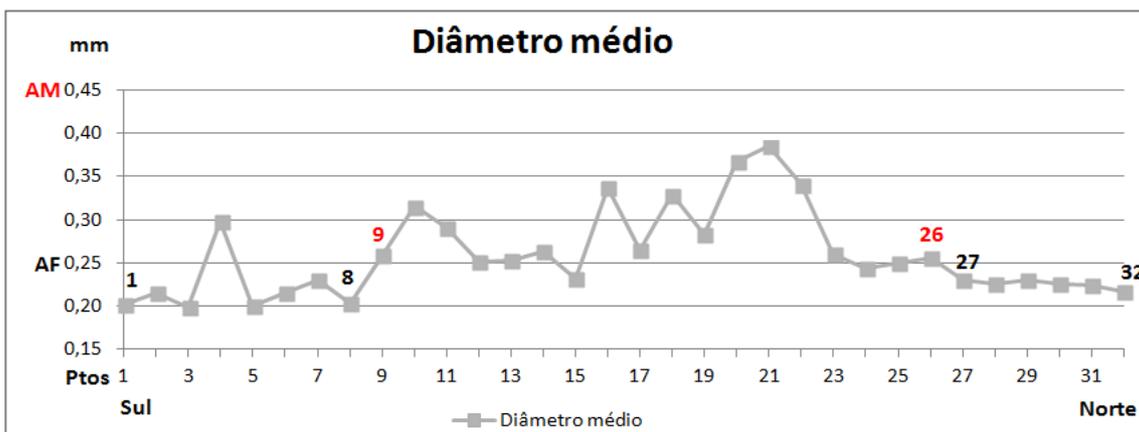


Figura 3: Variação do diâmetro médio dos sedimentos ao longo do trecho estudado. AF: areia fina; AM: areia média.

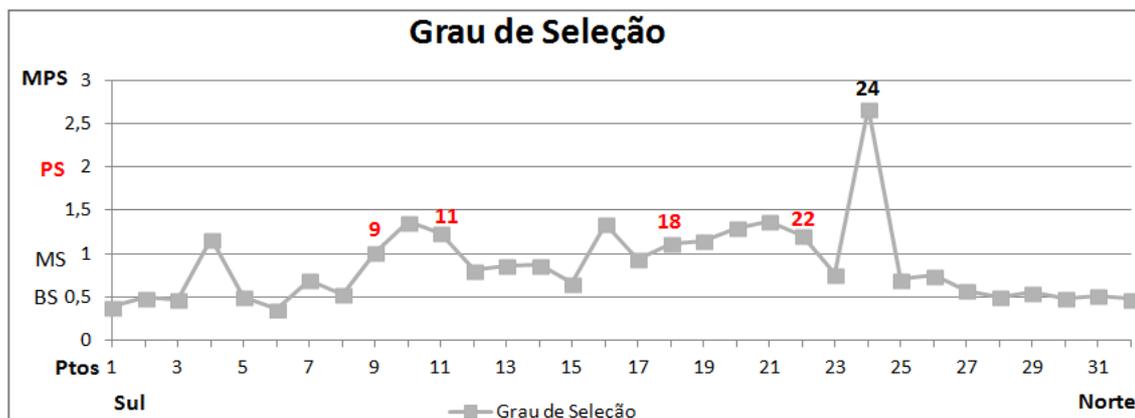


Figura 4: Variação do grau de seleção dos sedimentos ao longo do trecho estudado. BS: bem selecionado; MS: moderadamente selecionado; PS: pobremente selecionado; MPS: muito pobremente selecionado.

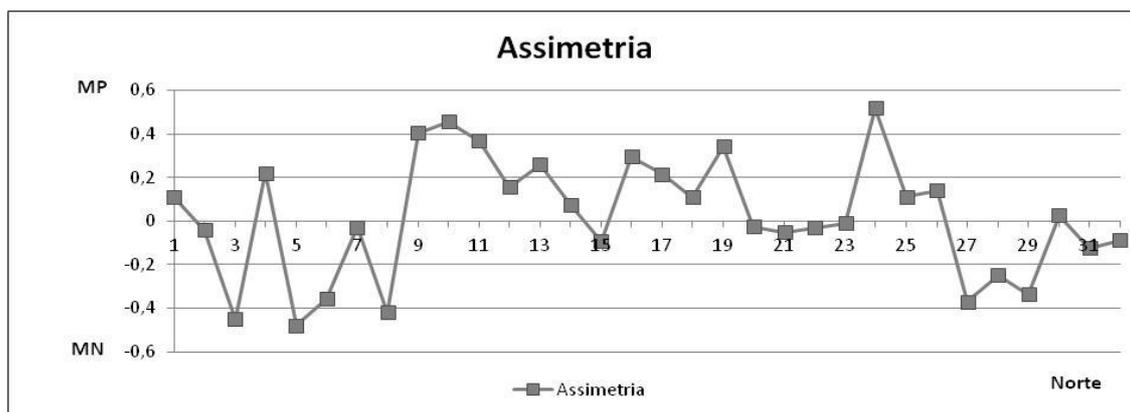


Figura 5: Variação da assimetria dos sedimentos ao longo do trecho estudado. MP: muito positiva e MN: muito negativa.

A aplicação do método GSTA gerou 36 vetores de tendência de transporte, dos quais apenas 10 tiveram um grau de significância acima dos 90% conforme os resultados obtidos pela aplicação do método GSTAST. O mapa dos vetores (Figura 6) mostra que na região norte da área de estudo, os vetores apresentaram direção preferencial de transporte para norte, sendo que próximo ao Balneário Caiobá, os vetores indicaram orientação oposta. O padrão de orientação dos vetores teve maior variação próximo à desembocadura do Rio Matinhos e na área da Pedra de Matinhos, onde os vetores apresentaram orientação para sul-sudeste. Seguindo de norte para sul, constatou-se uma zona de divergência de vetores de tendência de transporte sedimentar entre os Balneários de Betaras e Flórida. Na região do Balneário de Riviera, por sua vez, observou-se uma convergência de vetores.

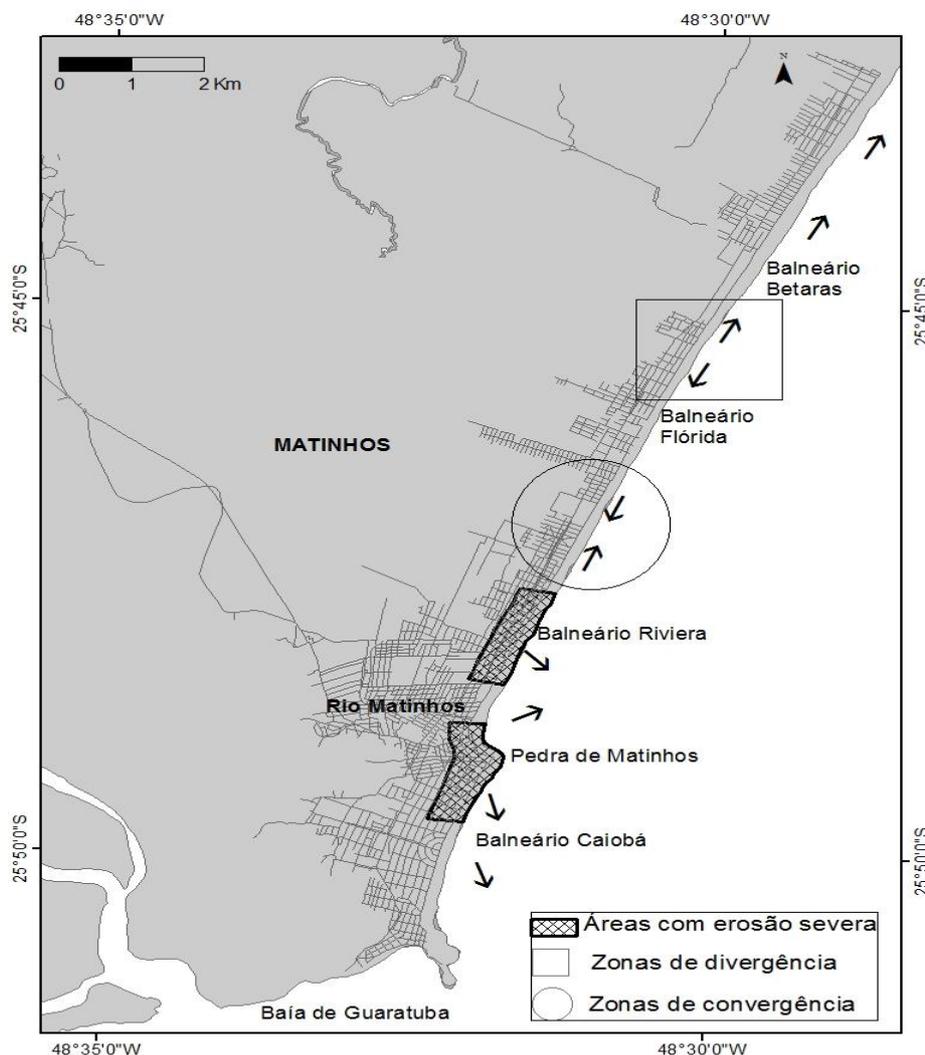


Figura 6: Tendências de transporte de sedimentos com destaque para as áreas indicando tendência erosiva (círculo, convergência entre vetores) indicando tendência à deposição (quadrado, divergência entre vetores), e polígonos indicando áreas com erosão severa.

Correlações espaciais

Neste contexto, a correlação #1 foi efetuada visando a investigação da capacidade de escoamento superficial das águas continentais em direção a linha de água e os seus efeitos, como o rebaixamento localizado do perfil praiar. Os dados incluídos nesta análise foram os de Galerias pluviais, Tamanho médio de grão dos sedimentos praias e os Sangradouros, onde se concluiu que há uma correlação positiva entre estas variáveis.

Na correlação #2, foi avaliado o potencial erosivo da dinâmica costeira em uma escala regional onde foram utilizados os indicadores Largura do pós-praia, Vetores de tendência de transporte e Obras de proteção da costa. Constatou-se aqui também uma correlação positiva entre as variáveis analisadas. Na correlação #3, foi analisado o potencial de transporte de sedimentos em uma escala regional pela dinâmica costeira, onde foram consideradas as variáveis Largura do pós-praia, Vetores de tendência de transporte e Diâmetro médio dos grãos, onde verificou-se uma correlação negativa. A correlação #4 investigou os potenciais de escoamento, erosão e transporte em relação ao grau de urbanização do trecho da costa estudado, sendo observada uma correlação positiva entre as variáveis em questão. Nesta relação, a urbanização foi considerada como o indicador de maior importância pelo fato de estar presente ao longo de toda área de estudo, sendo atribuído peso maior e único (2).

Na correlação #5, calculou-se a média ponderada das variáveis analisadas. Cada variável foi avaliada e teve seu peso baseado na sua importância nos processos erosivos. A urbanização teve maior peso (0,8) seguido das obras de proteção costeira (0,5), pois estão presentes nos locais onde há severos problemas erosivos. As galerias de escoamento pluvial e os sangradouros receberam o mesmo peso (0,3), pois a grande maioria dos sangradouros estava associada a estas galerias. A largura do pós-praia, diâmetro médio de grão e vetores de tendência de transporte sedimentar receberam o mesmo peso (0,15), pois os vetores de transporte residual e o diâmetro médio dos sedimentos estão associados, considerando que para a geração dos vetores são utilizados os parâmetros granulométricos, que inclui o diâmetro médio, a assimetria e o grau de seleção. A largura do pós-praia é resultado da atuação de processos naturais e antrópicos, por esta razão recebeu menor peso. Os pesos foram somados obtendo-se 2,35. Logo após, foi calculado a média ponderada de cada centroide. A partir das médias calculadas, foi encontrado um valor médio de 1,4 e deste valor foi estabelecido que valores menores que 1,4 seriam considerados como baixa vulnerabilidade

à erosão e valores maiores que 1,4 seriam considerados como alta vulnerabilidade. Abaixo segue a fórmula utilizada para esta relação:

$$R5 = ((\text{urbanização} * 0,8) + (\text{obras} * 0,5) + (\text{póspraia} * 0,15) + (\text{galerias} * 0,3) + (\text{sangradouros} * 0,3) + (\text{diâmetro} * 0,15) + (\text{vetores} * 0,15)) / 2,35$$

Tabela 2: Síntese das correlações e dos indicadores envolvidos na susceptibilidade à erosão costeira.

Correlações	Indicadores envolvidos
1. Potencial de escoamento	Galerias Pluviais Diâmetro Médio de Grão Sangradouros
2. Potencial de erosão	Largura do Pós-praia Vetores de Tendência de Transporte Obras de Proteção Costeira
3. Potencial de transporte	Largura Pós-praia Vetores de Tendência de Transporte Diâmetro Médio de Grão
4. Influência antrópica	Correlação 1 Correlação 2 Correlação 3 Grau de Urbanização
5. Dinâmica costeira	Média Ponderada das variáveis analisadas

5. DISCUSSÃO

A correlação positiva para o potencial de escoamento com a ocorrência das areias finas e sangradouros identificada por Figueiredo e Calliari (2005) pôde ser observada na porção norte da área de estudo, entretanto esta não é uma correlação geral que pode ser aplicada já que o fator antrópico quando presente é dominante. Ocorre que nesta área há uma densidade maior de galerias de escoamento pluvial, sendo que esta configuração pode ser utilizada

para explicar a maior ocorrência de sangradouros já que em sua maior parte, são de origem antrópica. Na porção sul, apesar da ocorrência das areias finas, não foram encontrados sangradouros na mesma proporção que na área norte, o que pode ser explicado pela presença do Rio Caiobá, para onde as águas pluviais preferencialmente são drenadas.

Segundo Angulo & Andrade (1982, p.685) a construção da Avenida Beira-mar que ocupou parte da praia de Caiobá e alterou a sua curvatura natural, desencadeou um processo erosivo no trecho central da praia Brava de Caiobá na década de 80. Para Muehe (2006, p.3) uma das principais causas da erosão costeira é a interferência antrópica nos processos costeiros seguido da urbanização. Para o mesmo autor, a urbanização em si não promove a erosão, mas as construções localizadas dentro da faixa de resposta dinâmica das praias, frente às tempestades tende a ser retomada pela ação marinha da área construída. Assim sendo o potencial de erosão pode ser reconhecido pela ação conjugada das forçantes naturais e antrópicas, onde a dinâmica de transporte e as obras costeiras comprimem o pós-praia, no caso do litoral do município de Matinhos, culminando em um avançado processo de erosão.

Entre os Balneários Flamingo e Riviera, estes processos erosivos foram intensificados pela ocupação sobre a faixa de restinga e as dunas, que fixou a linha de costa sob forma de muros e estruturas que sustentam as residências. Na tentativa de conter o efeito das ondas e das marés, foram utilizadas estruturas de proteção longitudinais nestas áreas, os enrocamentos (ANGULO, 2000, p.99-100). No entanto, estas estruturas apesar de terem a função de proteger a praia contra a ação de ondas, reduzem a área de dissipação de energia das ondas (ESTEVEZ *et al.*, 1999, p.2), implicando em efeitos nocivos sobre a costa. Isto se reflete em um ciclo vicioso onde a urbanização avança sobre as áreas de acúmulo recente de sedimentos e em contra ponto, a linha de costa tende a restabelecer seu equilíbrio dinâmico culminando nos processos erosivos.

O potencial de transporte mostrou-se menos representativo, pois o trecho que abrange os Balneários Riviera e Flamingo foi apresentado como de baixo potencial, mas que na realidade apresenta um estágio avançado de

erosão, com grande estreitamento do pós-praia. E esta mesma inter-relação apresentou o Balneário Caiobá com uma maior vulnerabilidade à erosão. Neste trecho os vetores de tendência de transporte identificados apresentaram uma variação na sua orientação, sem um padrão definido. A presença do pontal rochoso nas proximidades deste Balneário pode explicar a alteração na orientação dos vetores.

A influência antrópica mostrou-se condizente com o observado em campo, onde a urbanização assumiu importância na análise, pois é uma variável comum a todo trecho em questão e neste estudo foi considerada com elevada importância nos processos erosivos. No trabalho realizado por Nascimento *et al.* (2013) a urbanização foi um fator determinante para a avaliação da sensibilidade à erosão nas praias da Costa do Cacaú na Bahia. Segundo diversos autores (ESTEVES *et al.*, 2000; SCHWARTZ, 2005; BIRD, 1985) a erosão costeira surge como consequência do rápido crescimento e adensamento da população na zona costeira.

A hierarquização dos indicadores indicou trechos que possuem maior adensamento de construções e obras de proteção costeira como os trechos mais vulneráveis à erosão. Ruddorf e Bonetti (2010, p.17), em estudos realizados nas praias da Ilha de Santa Catarina, afirmaram que a ocupação inadequada influencia a suscetibilidade à erosão, pois a presença de estruturas rompe o estoque natural de sedimentos que protege a praia durante eventos de ressaca. Por exemplo, a interferência nesse estoque pode alterar o equilíbrio da praia provocando ou intensificando os processos erosivos, e consequentemente a suscetibilidade. Apesar das praias do Paraná apresentarem uma configuração diferente em relação às praias da Ilha de Santa Catarina, com menos pontais rochosos e serem mais retilíneas é possível afirmar que qualquer interferência na forma de edificações sobre a praia irá alterar a dinâmica praial.

6.CONCLUSÕES

Neste trabalho foi utilizada uma metodologia para o mapeamento da vulnerabilidade da zona costeira aos processos erosivos, baseado no uso de indicadores e análise espacial dos dados. Este método classificou os trechos norte e central do município de Matinhos como menos vulneráveis à erosão. A maior vulnerabilidade foi encontrada no Balneário Caiobá, Balneários Riviera e Flamingo, justamente onde ocorreram as obras de proteção costeira e onde a urbanização apresentou-se mais consolidada.

Quanto aos sangradouros, estes apesar de serem considerados potencializadores de processos erosivos, por transportarem sedimentos em direção ao mar, não evidenciaram um agravamento dos processos na área estudada. De acordo com as correlações feitas, áreas onde os sangradouros estão mais concentrados foram consideradas com baixa vulnerabilidade (Correlação #1). Com os resultados obtidos nas correlações #2, #3, # 4 e #5 foi possível verificar que a ocupação inadequada sobre a orla influenciou de maneira efetiva na vulnerabilidade aos processos de erosão costeira, corroborando com estudos realizados por Angulo (1993; 2000). Apesar de na correlação #2 a urbanização não ter sido um indicador considerado na avaliação, as obras costeiras estão ligadas à urbanização, pois surgem como uma tentativa de contenção de processos agravados pela ocupação indevida.

Dessa maneira, esta pesquisa apresentou uma metodologia prática com a aplicação de indicadores e uma ferramenta de análise espacial que contribuiu para estudos de vulnerabilidade à erosão costeira e, além disso, produziu resultados importantes que podem ser utilizados para tomada de decisão por parte dos gestores públicos no planejamento da zona costeira paranaense.

Para eliminar as incertezas sobre o potencial erosivo dos sangradouros faz-se necessário realizar monitoramentos mensais e que incluam análise de perdas de sedimentos localmente, e também a realização de amostragens de sedimentos da zona de espriamento até a duna frontal. Além disso, é importante incluir outros indicadores hidrodinâmicos e geomorfológicos para

resultados mais consistentes com relação às possíveis zonas de erosão da praia, não somente as com estágio avançado.

REFERÊNCIAS

ALVES,L.C. **Identificação de Células de Deriva Longitudinal Litorânea através do Mapeamento Sedimentológico das Praias do Município de Pontal do Paraná, PR.** 2010.Monografia (Graduação em Oceanografia). CEM-UFPR.Pontal do Paraná.53p.

ANGULO, R. J. As Praias do Paraná: Problemas Decorrentes de uma Ocupação Desordenada. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, n. 99, p. 97-103,jul./dez. 2000.

ANGULO,R. J. & ANDRADE J. J. 1982. Viabilidade de controle de erosão nas praias de Caiobá e Guaratuba. **Ipardes**, Curitiba,65 p.

ANGULO R. J. **Geologia da Planície Costeira do Estado do Paraná.** 1992. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 334 p.

ANGULO R. J. 2004. Mapa do Cenozóico do litoral do Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, 55, p.25-42.

BIGARELLA, J.J. 1946. Contribuição ao Estudo da Planície Litorânea do Estado do Paraná. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**. v.1. pp 75-111.

BIGARELLA, J.J; BEKER, R.D.;DE MATOS, D.J.;WENER, A. 1978. **A Serra do mar e a porção oriental do estado do Paraná. Um problema de segurança ambiental e nacional (contribuição à geografia, geologia e ecologia regional).** Governo do Estado do Paraná, Secretaria de Estado do Planejamento – Associação de Defesa e Educação Ambiental (ADEA). Curitiba, 248p.

BOAK, E.H.; TURNER, I.L., 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. **Journal of Coastal Research**,21(4), 688–703. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.

CHANG, Y.H., SCRIMSHAW, M.D., LESTER, J.N. A revised Grain-Size Trend Analysis program to define net sediment transport pathways. **Computers & Geosciences**, v. 27, p.109-114, 2001.

ESTEVES, L.S.; VANZ, A.; SILVA, A.R.P.; PIVEL, M.A.G.; ERTHAL,S.; BARLETTA, R.C.; VRANJAC, M.P.; OLIVEIRA, U.R. 1999.**Caracterização das obras de proteção costeira no balneário do Hermenegildo**, RS, Brasil. VII Congresso da ABEQUA,Porto Seguro, BA, Brasil. Disponível em: http://www.abequa.org.br/trabalhos/viiabequa_heo001.pdf

FIGUEIREDO, S.A de; CALLIARI,L.J. Sangradouros: Distribuição Espacial, Variação Sazonal, Padrões Morfológicos e Implicações no Gerenciamento

Costeiro. Porto Alegre: **Gravel**, nov.2005. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/gravel/3/Gravel_3_06.pdf>. Acesso em maio/2014.

GAO,S.;COLLINS,M.1992. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport vectors”. **Sedimentary Geology**. 81. p47-60.

GUIMARÃES,B.F.C. **Erosão Costeira e Produção de Blocos para Obras de Proteção com Enrocamentos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas e Geoambiente).Lisboa.87p.

HOEFEL, F.G. 1998. **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica**. Editora da Univali. Itajaí. 92p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico de 2010**. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: maio. 2014.

KLEIN, A. H. F. ; POLETTE, M. ; HOEFEL, F. ; DIEHL, F L ; CARVALHO, J. L. B. ; SILVA, R. P. ; SIEGLE, E. ; ABREU, J G N ; SANTOS, M I F dos ; FACHIN, S. . Erosão costeira no litoral centro-norte de Santa Catarina: Possíveis causas e medidas mitigadoras.. In: **VII Congresso da ABEQUA.. Porto Seguro**: Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 1999. v. CD ROM.

LAMOUR, M. R.; DOMIT, C.; CATTANI, P. E.; PAULA, E. V. Análise espacial de ambientes estuarinos e costeiros: subsídio a estudos de caracterização física e ecológica. (*em preparação*.)

LANA, P. C.; MARONE, E.; LOPES, R. M.; MACHADO, E. C. 2000. The Subtropical Estuarine Complex of Paranaguá Bay, Brazil. In: **Ecological Studies, Coastal Marine Ecosystems of Latin America**. 144,131-145 p.Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

MARONE E. & GUIMARÃES, M.R. & Prata JR., V.P. & KLINGENFUSS, M.S. & CAMARGO R. 1995. Caracterização física das Condições Oceanográficas, Meteorológicas e Costeiras das zonas Estuarinas da Baía de Paranaguá, PR. **VI Congresso Latinoamericano de Ciencias del Mar**. Mar del Plata, Argentina.

MUEHE, D. **Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2006.476p.

NASCIMENTO,L.Potencial de prejuízos econômicos em função da densidade de urbanização e da sensibilidade à erosão costeira na Costa do Cacau, Bahia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.4, (Out-Dez) p.261-270, 2013.

NEMES, D. D. **Caracterização das ondas de superfície na plataforma interna do estado do Paraná.** 2011. Dissertação (Pós graduação em Sistemas Costeiro e Oceânicos). UFPR. Pontal do Paraná. 130 p.

OLIVEIRA, E.; DOURADO, M. 2010. Caracterização Sazonal do Vento na Baía de Paranaguá-PR. **III Congresso Brasileiro de Oceanografia** – Rio Grande – RS – Brasil.

PROJETO ORLA. **Fundamentos para gestão integrada.** Ministério do Meio Ambiente, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. – Brasília: MMA, 2006.74 p.

PIERRI, N. *et al.* A ocupação do solo no litoral paranaense: condicionantes, conflitos e tendências. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba: UFPR, v.13, p.137-167, 2006.

QUADROS, C.J.L.**Variações morfológicas e volumétricas associadas à incidência de sistemas frontais em duas praias arenosas do litoral paranaense.**2002.Dissertação (Mestrado em Geologia)-UFPR, Curitiba,57p.

RUDDORFF, F. M.; BONETTI, J. 2010. Avaliação da Suscetibilidade à erosão costeira de praias da Ilha de Santa Catarina. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.** 14(1): p.9-20, 2013.

SOUZA, C. R. G. **As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo.**1997. Tese de Doutorado em Geologia Sedimentar.Universidade de São Paulo, São Paulo. 359p.2v.

SOUZA, C.R. de G.; SOUZA FILHO, P.W.M.; ESTEVES, SL.; VITAL, H. DILLENBURG, S.R.; PATCHINEELAM, S.M. & ADDAD, J.E. 2005. Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: C.R. de G. Souza *et al.* (eds.). **Quaternário do Brasil.** Holos, Editora, Ribeirão Preto (SP). p. 130-152.

SOUZA, C.R de G. 2009. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada.** n.9 p17-37.

SOUZA, C.R.G.; HIRUMA, S.T.,SALLUN, A.E.M.,RIBEIRO, R.R.,SOBRINHOJ.M.A. **“Restinga”:** **Conceitos e Empregos do Termo no Brasil e Implicações na legislação Ambiental.** São Paulo: Instituto Geológico,2008.104p.

WENTWORTH, C.K. A Scale of Grade and Class Terms of Clastic Sediments. **The Journal of Geology**,v.30,,pp.377-392, n.5,jul-agos.,1922. Disponível em:< <http://www.jstor.org/stable/30063207>>. Acesso em maio/2014.

VEIGA, F. A., ANGULO R. J., MARONE E., BRANDINI F. P. 2004. Características sedimentológicas da plataforma continental interna rasa na porção central do litoral paranaense. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, 55:67-75 (CD-ROM).

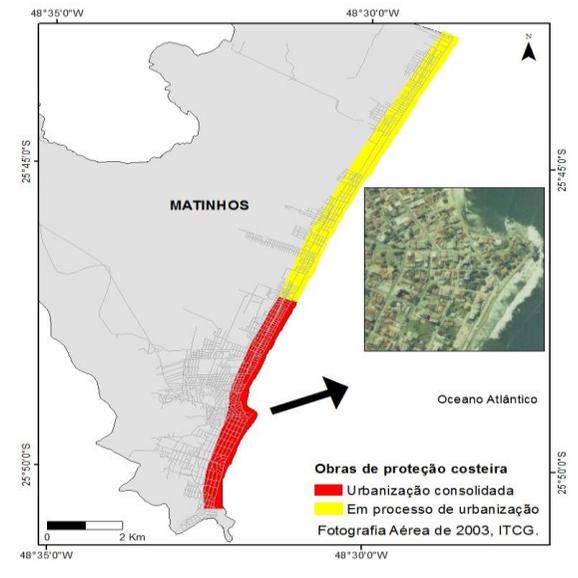
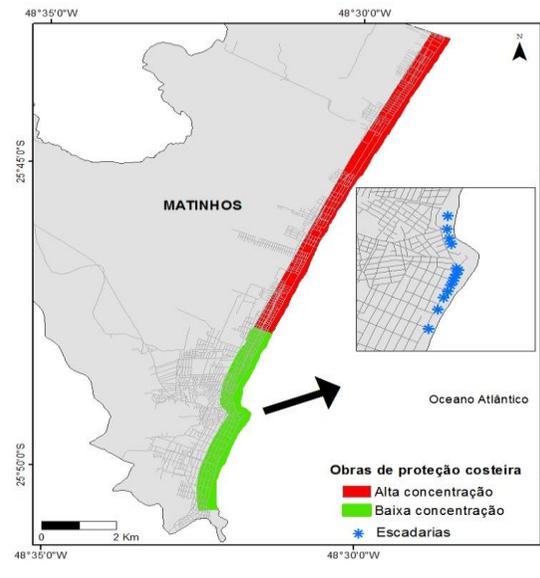
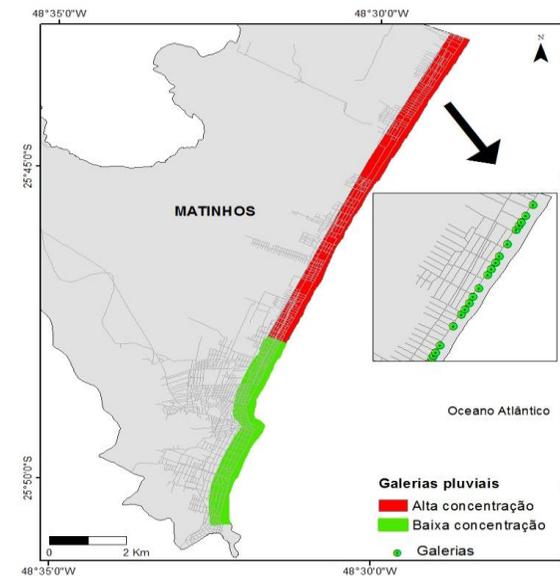
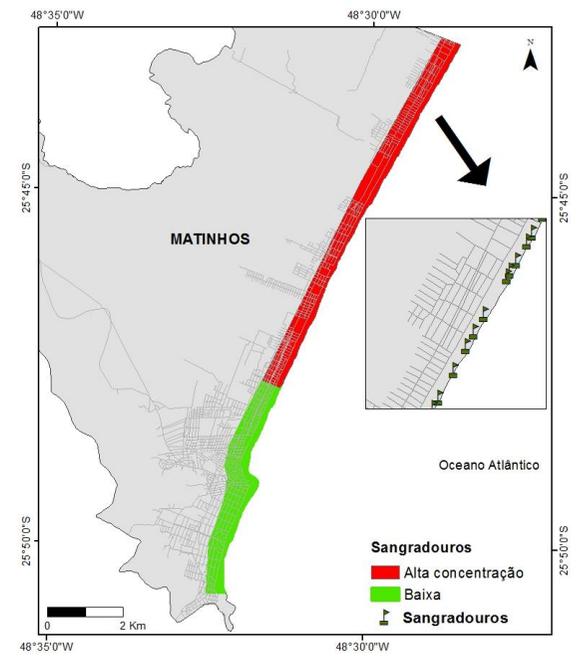
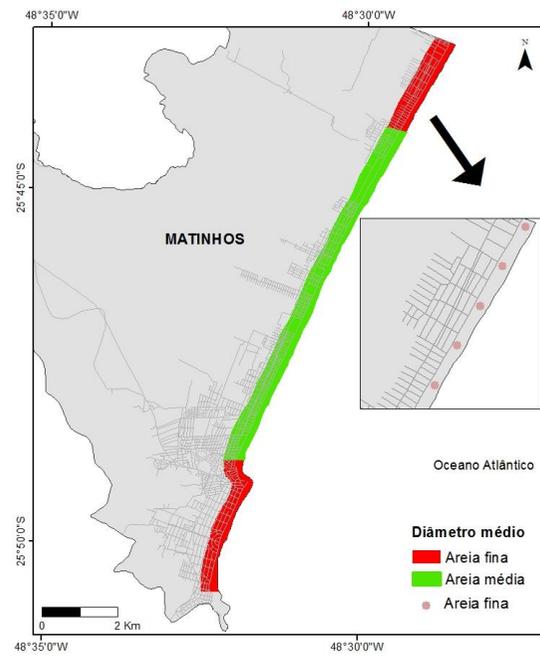
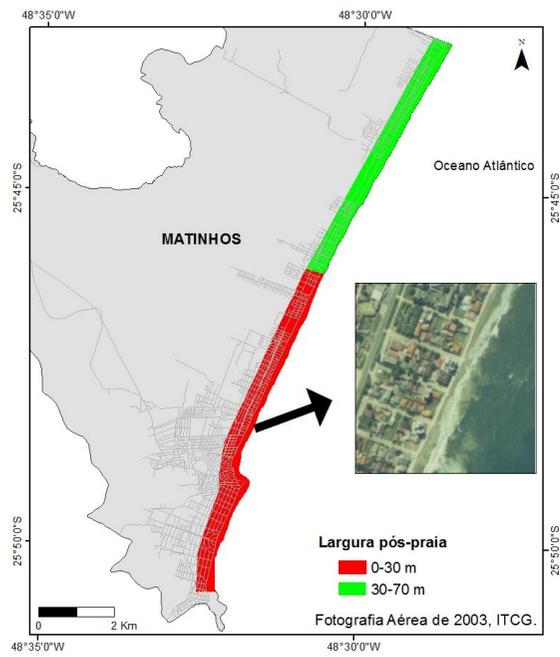


Figura 6: Mapas dos indicadores de erosão costeira.

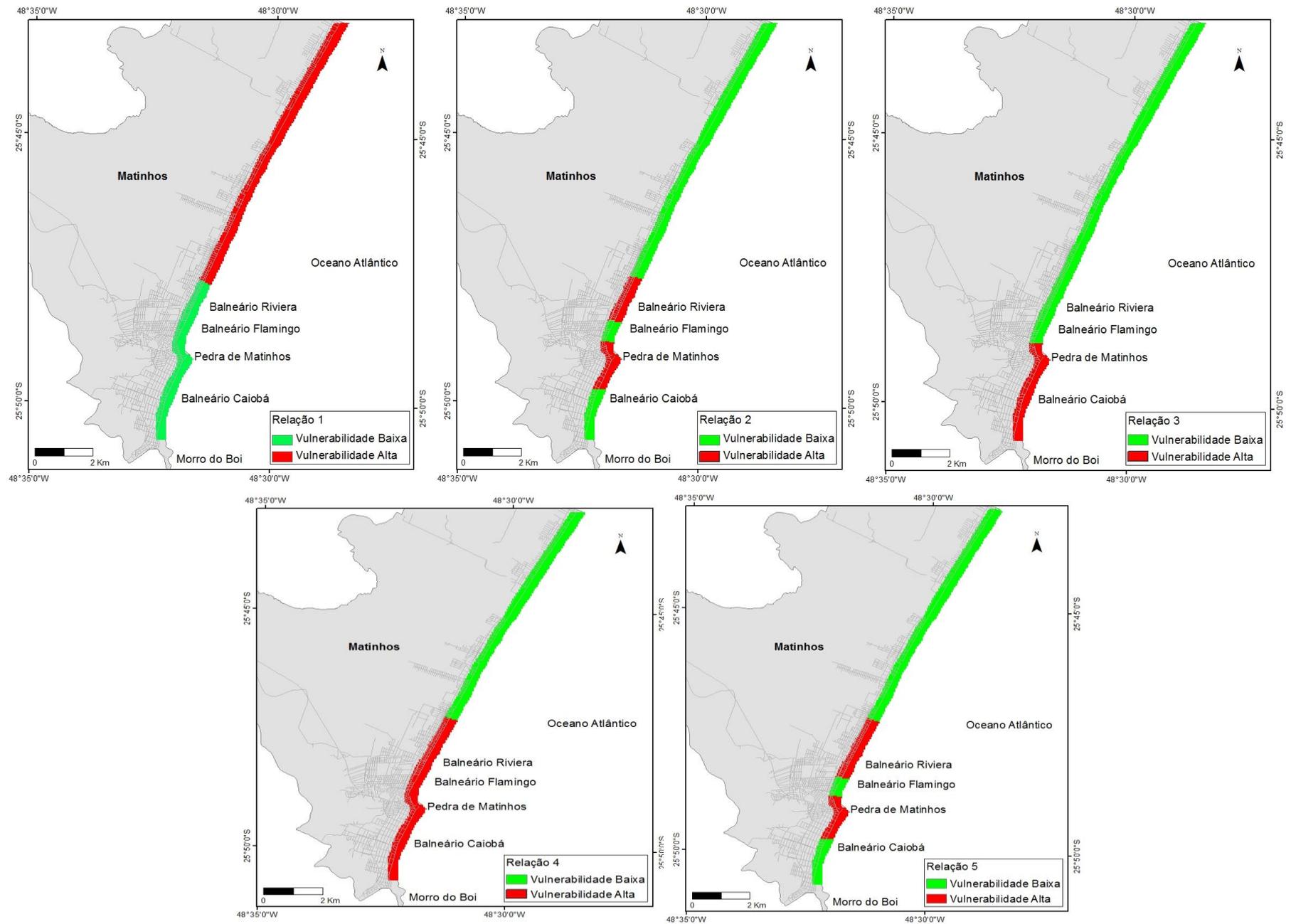


Figura 7: Mapas de vulnerabilidade à erosão costeira.