

# Revista Brasileira de Geografia Física



ISSN:1984-2295

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

# Uso de Geoindicadores para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira através de sistemas de informações geográficas

Athos Farias Menezes<sup>1</sup> Pedro de Souza Pereira<sup>2</sup> Rodrigo Mikosz Gonçalves<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Av. da Arquitetura, s/n<sup>0</sup> CEP 50740-550, Recife, Pernambuco. athos.farias1@gmail.com (autor correspondente). <sup>2</sup> Prof. Dr. Adjunto, Federal de Pernambuco, Programa de Pós Graduação em Geociências. Av. da Arquitetura, s/n<sup>0</sup> CEP 50740-550, Recife, psppraias@gmail.com. <sup>3</sup>Prof. Dr. Adjunto, Programa de Pós Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Universidade Federal de Pernambuco, Av. da Arquitetura, s/n<sup>0</sup> CEP 50740-550, Recife, Pernambuco. rodrigo.mikosz@gmail.com

Artigo recebido em 20/02/2017 e aceite em 19/06/2017

### RESUMO

A erosão costeira é um fenômeno natural encontrado em diversos ambientes litorâneos em todo o mundo. No entanto, a ocupação antrópica desordenada pode potencializar o processo erosivo, como é o caso do litoral do Estado de Pernambuco, onde 43,8% da população está localizada no ambiente litorâneo que se estende em 187 km ao longo de 13 municípios. Observando esta problemática, o presente trabalho foi desenvolvido com o intuito de avaliar a vulnerabilidade à erosão costeira através da interpretação de imagens de satélite de alta resolução e sistemas de informações geográficas (SIG), a partir de indicadores ambientais e antrópicos. Foram propostas análises dos geoindicadores em escala regional para todo o litoral pernambucano, destacando cenários de altos valores de vulnerabilidade nas cidades do núcleo metropolitano devido ao processo de urbanização como o caso de Olinda que tem 87,9% de intensa urbanização. Entretanto, em praias de baixa presença antrópica, como no litoral sul, foram evidenciados os menores índices de vulnerabilidade como o exemplo do município de Ipojuca com 14,7% de área de praia e do Cabo de Santo Agostinho, que obteve o resultado de 4 no índice proposto. O setor norte apresentou resultados semelhantes ao setor sul, com o destaque para o município de Igarassu com 88,5% de vegetação arbórea. De forma geral este trabalho destaca importância do presente método na identificação de áreas com potenciais erosivo a partir de dados orbitais, o que pode acarretar a otimização de tempo na tomada de decisões para a gestão costeira. Palavras-chave: Indicadores Ambientais, Geoprocessamento, Cartografia Costeira

# The use of Geoindicators to assess coastal erosion vulnerability through geographic information system

# ABSTRACT

The coastal erosion is a natural phenomenon found in different littoral location all over the world. Disordered anthropic occupation, however, can potentiate the erosion process, as it is the case of Pernambuco's coast, that stands for 187 kilometers and where almost half of the population (43,8%) is located. Focusing on this problem, this paper was developed with the aim of evaluating the vulnerability to coastal erosion through high quality satellites images and Geographic Information System (GIS), by ambiental and anthropic indicators. Analyzes of the geoindicators were proposed on a regional scale for all of Pernambuco's coast, highlighting cases of high vulnerability in the metropolitan core cities due to the urbanization process. One example of this is Olinda, which has a 87,9% urbanization rate. On the other hand, in low human presence beaches, were evidenced the lowest levels of vulnerability, like in Ipojuca and Cabo de Santo Agostinho, which have 14,7% and 4 on index of vulnerability. The North sector subsequently proved similar to the South sector, as the prominence to the Igarassu's munincipality with 88,5% off arboreal vegetation. In short, this paper aim to emphasizing the importance of this method in the indication of potential erosion areas through orbital datas, which can lead to time optimization in decision making for coastal management.

Keywords: Environmental Indicators, Geoprocessing, Coastal Cartography

## Introdução

Os ambientes costeiros exercem uma importante uma função dentro da perspectiva

sócio-ecônomica devido a sua presença como importante fonte de recursos. Estes são caracterizados por seus aspectos de sensibilidade

importante fonte de recursos. Estes são e caracterizados por seus aspectos de sensibilidade ecossistêmica e fisiográfica, estando sobre influência continental e oceânica (Emrich e Cutter, 2011).

Em virtude de sua localização, o ambiente praial torna-se bastante dinâmico, sendo notável as alterações temporais que lá ocorrem impulsionados pelas modelações de forças naturais como: eventos climáticos, marés astronômicas e correntes costeiras (Bosom e Jimenez, 2010).

As alterações nas proximidades das áreas costeiras aceleram a erosão tornando-as vulneráveis, trazendo consigo diversos impactos como alterações no balanço sedimentar e, por consequente, retrogradação da linha de costa. Na tentativa de minimizar estes problemas, são utilizadas estruturas rígidas com o propósito de proteger as infraestruturas urbanas dos danos causados pelos processos erosivos (Klein et al., 2003).

A vulnerabilidade à erosão costeira apresenta-se como um arranjo de variáveis que destacam uma maior susceptibilidade em relação a incidência de um evento, fenômeno, ou de uma ação de potencial destrutivo (Gouldby e Samuels, 2005).

Neste sentido vários são os indicadores que caracterizam a vulnerabilidade à erosão costeira, segundo Bush et al. (1999) os principais são a morfologia de praia, posição da linha de costa, configuração das dunas, exposição à onda, distância da foz de rios, elevação do terreno, estrutura costeiras, percentual de ocupação e permeabilidade do solo.

A avaliação vulnerabilidade é essencial para identificar e reconhecer os fatores que potencializam a erosão ou caracterizam a proteção dos ambientes costeiros. Para isso é preciso uma série de dados que incluam tanto as perspectivas naturais como as antrópicas (Bosom e Jimenez, 2010).

Atualmente, várias são as metodologias que compreendem a avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira, podendo utilizar como referências os trabalhos de Bush (1999), Nicholls e Klein (2005), Birkmann (2007) e Martins (2016) devido a sua aplicabilidade em diversas praias ao redor do mundo.

A utilização de informações geográficas obtidas a partir de técnicas de sensoriamento remoto está em evidência no tocante ao estudo da vulnerabilidade à erosão costeira. Sendo estas utilizadas como fonte de observações temporais, capaz de otimizar tempo e custos, podendo ser aplicada em diversas escalas (Amaro, Santos e Souto, 2012).

Os objetivos deste artigo são: (i) avaliar a vulnerabilidade à erosão costeira atavés da interpretação de imagens de satélite e sistemas de informações geográficas; (ii) avaliar indicadores ambientais e antrópicos no índice de vulnerabilidade proposto; (iii) e verificar a importância de áreas preservadas nas áreas costeiras observando as consequências dos ambientes costeiros urbanizados.

#### Material e métodos

Área de estudo

O litoral do Estado de Pernambuco possui uma extensão de 187 km, estendendo-se desde o município de Goiana (Litoral Norte), no limite do estado da Paraíba, até o município de São José da Coroa Grande (Litoral Sul), limite com o estado de Alagoas. Apresenta 13 municípios em sua totalidade (Goiana, Ilha de Itamaracá, Igarassu, Paulista, Olinda, Recife, Jaboatão dos Guararapes, Cabo de Santo Agostinho, Ipojuca, Sirinhaém, Tamandaré, Barreiros e São José da Coroa Grande) que estão subdivididos em 3 setores, são eles: Litoral Norte, Núcleo Metropolitano e Litoral Sul (Figura 1).

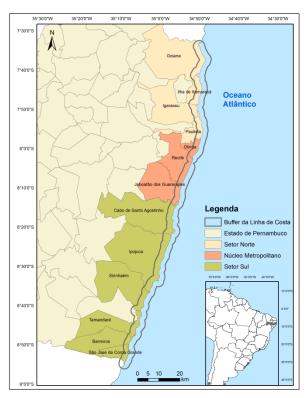


Figura 1. Mapa de Localização do Estado de Pernambuco dividido em 3 setores mais área de abordagem do presente estudo (buffer.) Fonte de dados IBGE: Sistema de Coordenadas Geográficas. Datum SIRGAS 2000.

Segundo Manso et al. (2012) 43,8% da população pernambucana ocupa as áreas costeiras, que representam apenas 4% do território do Estado de Pernambuco, onde concentrando também o perímetro urbano metropolitano.

Para resultados mais padronizados, a área de estudo foi definida a partir de um Buffer da linha de costa do Estado de Pernambuco com 2,5 km de distância em direção ao continente e 2,5 km de distância para o oceano atlântico.

### Materiais

Como materiais foram utilizadas imagens dos satélites *GeoEye*, *Quick Bird e WorldView 2* dos anos 2009, 2012 e 2014. A partir destas foi possível detectar as feições litorâneas e continentais, baseando-se na metodologia de Bush (1999) e aplicações de Sousa et al. (2011), onde, em ambos os casos, o produto final é a elaboração de mapas temáticos dos indicadores ambientais e antrópicos.

As etapas para obtenção dos indicadores costeiros são: (i) importação de cenas de imagens de alta resolução cedidas pela CONDEPE/FIDEM e LACCOSTE/UFPE; (ii) seleção de partes das cenas e dos limites a serem estudados; (iii) vetorização das imagens para análise; (iv) geração das camadas de informações para toda a costa; e (v) avaliação da vulnerabilidade costeira à erosão para os municípios litorâneos de através dos geoindicadores.

# Seleção e importação de cenas utilizadas

Para a caracterização das áreas de estudos, foram elaborados mosaicos para a extração de informações que apresentassem compatibilidade informações paisagísticas, espectrais, geométricas e radiométricas das imagens. Todos os mosaicos foram gerados no software *Quantum GIS* 2.8. Estas cenas foram previamente tratadas e geradas como mostra a tabela 1.

# Revista Brasileira de Geografia Física v.11, n.01 (2018) 276-296.

Tabela 1. Informações gerais dos satélites utilizados no processamento de dados. Fonte: www.digitalglobe.com e www.geoeye.com

www.digitalglobe.com e www.geoeye.com								
Cenas dos Municípios	Resolução					Satélite	e Fonte	
	Geon	nétrica	Radio	métrica	Espect	ral		
	RGB	PAN	RGB	PAN	RGB	PAN		
Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca Jaboatão dos Guararapes e Recife Igarassu e Paulista Olinda	2.44m	0.75m	11 bit	11 bit	450-520 nm 520-600 nm 630-690 nm	450- 900 nm	QuickBird 2	Laccoste/UFPE
Ilha de Itamaracá	1.5m	0.50m	11 bit	11 bit	450-520 nm 520-600 nm 630-690 nm	450- 900 nm	WorldView 2	
Sirinhaém, Barreiros, Tamandaré e São José da Coroa Grande, Goiana	4.5m	1.0m	11 bit	11 bit	450-520 nm 520-600 nm 630-690 nm	450- 900 nm	GeoEye 2	Condepe/Fiden

# Vetorização de imagens

A obtenção sensata de objetos é possível por meio de uma homogeneização prévia dos cenários propostos para análise. Os objetos de imagens iniciais são selecionados para o fornecimento de informações das quais são criadas bordas para uma representatividade

cartográfica correta correspondente com os erros permitidos (Baatz e Mimler, 2002).

Para o presente estudo foram gerados mapaas a partir da criação de bordas vetoriais paralelas ao arquivo raster (figura 2).

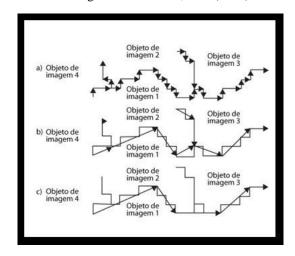


Figura 2. Passos de vetorização: a) vetores paralelos ao raster; b) bordas idealmente retas considerando a estrutura topológica; c) bordas de formas generalizadas sem consideração da estrutura topológica (Baatz e Mimler, 2002).

Além destes arquivos também foi gerado um buffer de 2,5 km a partir da linha de costa em direção ao oceano e em direção ao continente na interface praial, como supracitado na seção da área de estudos.

Para todas as imagens ao longo do litoral do Estado de Pernambuco foram criados arquivos tipo *shapefile* no software *QGIS 2.8 (Open Source)* a partir da identificação e criação da cartografia temática por meio dos geoindicadores descritos na próxima seção.

# Cartografia costeira e geoindicadores

Os bancos de dados espaciais podem ser considerados conjuntos de informações capazes de serem processadas e gerarem documentação cartográfica para avaliação de recursos (Burrough, 1986).

Tendo em vista o auxílio das tecnologias da geoinformação, foi criado um banco de dados capaz de avaliar, em escala regional, a presença de diferentes feições que estão na interface do continente e do oceano para o estado de Pernambuco. Para tanto é necessário a definição de cada geoindicador bem como a sua interferência em relação a potencialização ou redução da vulnerabilidade à erosão costeira, como descrito a seguir:

1. Urbanização: Os cenários de urbanização nos ambientes costeiros estão, geralmente, ligados a alterações na dinâmica natural do processo de transporte e deposição de sedimentos. Altos níveis de urbanização acarretam processos erosivos acentuados e, como consequência, causam desiquilíbrio sedimentar local (Klein et al., 2003). Baixos níveis de urbanização caracterizam residências de pequeno porte. Níveis de

urbanização moderados são descritos neste trabalho como pequenos edifícios. Níveis de urbanização elevados descrevem intensamente ocupadas, com grandes edifícios e adensamento populacional.

- 2. A vegetação nos ambientes costeiros é um indicador de estabilidade em áreas adjacentes a praia, pois funciona como retentora de sedimentos. Além disso, quando arbórea com copas altas e bem desenvolvidas, indica estabilidade de uma área com pedogênese avançada, em quanto que a vegetação com raízes expostas e árvores inclinadas sugerem processo de erosão em curso (Souza e Luna, 2008).
- 3. Um dos processos causadores da erosão costeira por interferência antrópica é a **vegetação agrícola**, pois, a perda de vegetação natural, como manguezais, restinga e Mata Atlântica, causam modificações na retenção dos sedimentos arenosos (Pires, Craveiro e Antunes, 2012).
- **4.Viveiros**: De acordo com Morais et al. (2008) a morfodinâmica costeira nas regiões de desembocaduras dos rios está subordinada aos regimes de vazão fluvial. Mudanças de fluxo relacionadas a atividades consumidoras de água, a exemplo da carcinicultura e piscicultura, além da irrigação, podem alterar o fluxo de sedimentos a ponto de inferir na dinâmica praial.
- **5. Praia**: Este é o indicador mais importante para compreensão dos processos dinâmicos da linha de costa. A morfologia costeira é o fator resultante de processos hidrodinâmicos, geológicos e climatológicos, podendo ocorrer em escalas espaciais e temporais, na ordem de metros a quilômetros e segundos a séculos (Menezes, 2008).
- **6. Recifes (Algálico/Coralíneo/Arenito)** Manso et al. (2012) afirma que uma importante feição

condicionante para o processo de erosão costeira é a presença ou ausência de Recifes, sejam eles Algálicos, Coralíneos ou Arenosos, as quais podem estar associadas na formação de feições geomorfológicas características, como tômbolos ou baías.

9. Bancos de Areia são depósitos sedimentares frequentemente encontrados em mares e lagos. Também são descritos como elevações de fundos submarinos. tipicamente encontrados plataformas continentais ou nas proximidades de uma Ilha (Suguiu, 2003). O acúmulo de sedimentos na foz de esturários e deltas está constantemente sendo retrabalhados na forma de embarcações, trazendo consigo impactos ambientais positivos e negativos, principalmente áreas costeiras próximas tais manguezais e estuários, podendo acarretar um bancos arenosos. No entanto, algumas destas feições aumentam a medida que o trabalho de erosão é contínuo, devido a correntes que impedem a deposição de material sedimentar ao longo da face de praia (Besnard, 1950).

11. Segundo Kobayashi, Meigs e Melby (2011) estruturas rígidas, tais como muros de contenção e enrocamentos, estão associadas a perda de sedimentos na na face de praia, tendo como objetivo amenizar o impacto das ondas de alta energia alterando a dinâmica sedimentar local fixando a linha de costa.

**12.** As construções de **áreas portuárias** alteram a hidrodinâmica local, proporcionando abrigos a acúmulo de sedimentos ou ações erosivas ao longo da costa (Magini et al., 2011).

Todos os pesos e valores atribuídos aos indicadores ambientais e antrópicos serão observados na tabela 2.

Tabela 2. Geoindicadores utilizados para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira

Índice	Variáveis	Indicadores	Pesos	V. Baixa	V. Mod. Baixa	V. Moderada	V. Mod. Alta	V. Alta
		Baixa Urbanização	1	Ausência	0,1 2,5%	2,5-20%	20-60%	60-100%
		Urbanização Moderada	2	Ausência	0,1-2,5%	2,5-20%	20-60%	60-100%
	Antrópico	Urbanização Intensa	3	Ausência	0,1-2,5%	2,5-20%	20-60%	60-100%
	•	Vegetação Agrícola	1	Ausência	0,1-2,5%	2,5-20%	20-60%	60-100%
		Viveiros	1	Ausência	0,1-2,5%	2,5-20%	20-60%	60-100%
		Áreas Portuárias	3	Ausência	0,1-2,5%	2,5-20%	20-60%	60-100%
		Vegetação Arbustiva	1	60-100%	20-60%	2,5-20%	1-2,5%	<1%
		Vegetação Arbórea	1	60-100%	20-60%	2,5-20%	1-2,5%	<1%
		Estruturas Rígidas	1	Ausência	0,1-2,5%	2,5-20%	20-60%	60-100%
	Ambiental	Bancos de Areia	1	60-100%	20-60%	2,5-20%	1-2,5%	<1%
		Praia	1	60-100%	20-60%	2,5-20%	1-2,5%	<1%
		Recífes						
		(Algálicos/Coralíneos/Arenito)	1	60-100%	20-60%	2,5-20%	1-2,5%	<1%
Valoraç	ão			0	2,5	5	7,5	10

Segundo Bush et al. (1999) Sousa et al. (2011) os subambientes costeiros são resultantes dos processos físicos e antrópicos integrados, através de agentes patogênicos que estão em constantes alterações.

## Índice de vulnerabilidade

Segundo Bush et al. (1999) e Sousa et al. (2011) os subambientes costeiros são resultantes dos processos físicos e antrópicos integrados, através de agentes patogênicos que estão em constantes alterações. Devido a isso, o índice de vulnerabilidade avaliará cada geoindicador de maneira individual conforme previamente descrito, de acordo com sua presença atuando como agente protetor ou agente erosivo.

O presente índice é um resumo dos indicadores (tabela 2), dada pela avaliação a vulnerabilidade sendo os valores numéricos encontrados entre 0 a 1,9 considerado como muito baixa, de 2 a 3,9 baixa, 4 a 5,9 média, 6 a 7,9 alta e de 8 a 10 muito alta. Sendo assim, a análise proposta foi realizada em três setores (Norte, Núcleo Metropolitano e Sul) pré-determinados através dos indicadores específicos de cada setor.

Considerando os valores em hectare (ha) transformados em valores percentuais de cada geoindicador atribui-se um valor numérico baseado nas amostras para cada variável e no potencial à vulnerabilidade: 0 = muito baixa; 2,5 = baixa; 5 = média; 7,5 = alta; e 10 = muito alta. Os mesmos são organizados em planilhas que

alimentam a base de dados para o modelo numérico observados através da seguinte equação:

$$I = \left(\frac{1}{n_v}\right) \cdot \sum_{i} \cdot \left(\frac{1}{n_i}\right) \cdot \sum_{i} x_i \qquad eq. 1$$

Os resultados obtidos através do banco de dados acerca da vulnerabilidade costeira são aplicados na equação 1 que resulta no índice (*I*),

# Resultados e discussões

Após a vetorização das imagens de satélite de alta resolução foram verificados dados que contribuíram para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira ao longo de toda a costa do Estado de Pernambuco. Para melhores avaliações foram analisados os os municípios de maneira individual nos três setores do litoral pernambucano de acordo com a CPRH (2012).

### Litoral norte

A análise realizada no litoral norte do estado de Pernambuco corresponde aos municípios de Goiana, Ilha de Itamaracá, Igarassu e Paulista. De acordo com os dados avaliados a partir das feições geradas em ambientes de Sistema de Informação Geográfica, foi constatado que 53,7% do município de Goiana, 5,2% do município da Ilha de Itamaracá e 2,1% do

de acordo com os 10 parâmetros de entrada do modelo.

Onde  $n_v$  é o número de variáveis,  $n_i$  o número de indicadores de uma determinada variável e  $x_i$  é a soma dos indicadores. Somando as variáveis e realizando a média aritmética dos indicadores, obtendo-se o valor do índice proposto.

município de Igarassu representam baixa urbanização.

Em relação a urbanização moderada os valores percentuais correspondem a 0,8%, 4,6% e 0,8% dos municípios de Goiana, Ilha de Itamaracá e Igarassu respectivamente. Enquanto o município de Paulista se destacou de urbanização intensa com valores de 63,2%. Esta avaliação considera a interferência antrópica em relação a substituição dos ambientes naturais por áreas de residência, condomínios e grandes prédios.

Um outro destaque em relação a interferência antrópica neste setor é a Ilha de Itamaracá através de sua alta densidade demográfica de 327 hab/km². Este município tem sido alvo de especulações imobiliárias, a respeito ao uso de ocupação do solo para atividades de veraneio.

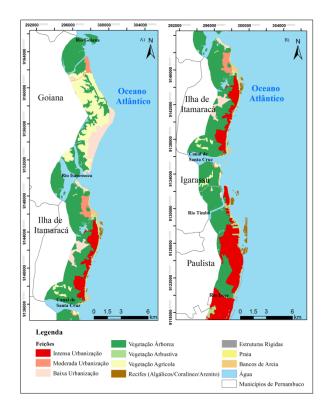


Figura 3. A) Mapa dos municípios de Goiana e Ilha de Itamaracá; B) Mapa dos municípios de Igarassu e Paulista. Datum SIRGAS 2000 Zona 25 S.

Estas áreas, além de comprometer a vegetação local também podem alterar o fluxo hidrodinâmico para áreas adjacentes, bem como a dinâmica sedimentar, comprometendo a formação de bancos de areia e do ambiente praial (Morais et al., 2008).

Um grave problema enfrentado neste setor são as áreas de cultivo de cana de açúcar e outras culturas agrícolas, chegando aos limites da linha de costa. Especificamente no município de Goiana a retirada de vegetação natural, como Manguezais, Restinga e Mata Atlântica do ambiente costeiro são fatores responsáveis pelas mudanças morfológicas como retrações na linha de costa (Figura 3.a) (França e Souza Filho, 2003.) Apesar destes fatores, o litoral Norte conta com algumas unidades de conservação. De acordo com a CPRH (2015), algumas destas unidades são: APA de Santa Cruz, RPPN Fazenda Tabatinga, APA Estuarina do Rio Goiana e Megaó e a APA Estuarina do Rio Itapessoca.

As unidades de conservação, bem como outras áreas vegetadas do litoral norte do estado de Pernambuco são responsáveis por 56,5% de vegetação densa encontrada, com destaque para o município de Igarassu com 88,5% dos valores avaliados neste município. Outras formas de vegetação encontradas na região apresentaram 2,9% de vegetação arbustiva, 24,3% de Vegetação Agrícola sendo estes destacados no município de Goiana por 23,8%.

A retirada de vegetação natural para o manejo de ambientes agrícolas de é algo presente e bastante comum ao longo dos municípios do litoral norte do estado de Pernambuco. Neste setor foram identificadas, a partir do banco de dados geográficos, áreas com viveiros nas porções setentrionais dos municípios de Goiana com 0,9% e da Ilha de Itamaracá com 1,9%.

Em valores reais isso compreende a 1,011 ha. na Ilha de Itamaracá e para o município de Goiana 0,874 ha. como possível observar no quadro a seguir (tabela 3).

Tabela 3. Resultados do uso do solo obtidos através da vetorização no litoral norte do Estado de Pernambuco em ha.

Indicadores/Municípios	Goiana	Itamaracá	Igarassu	Paulista
Praia	0,397	1,1	0,073	0,605
Bancos de Areia	0	0,630	0,022	0
Recifes	0	0,302	0,012	1,04
Estruturas Rígidas	0	0	0	0,731
Vegetação Arbustiva	0	3,899	0,002	1,546
Vegetação Árborea	21,12	26,16	11,60	113,0
Baixa Urbanização	55,88	2,33	0,269	0
Moderada Urbanização	0,845	2,059	0,108	0,012
Intensa Urbanização	0	6,956	0	200
Viveiros	1,011	0,874	0	0
Portos	0	0	0	0
Vegetação Agrícola	24,75	0,879	0,999	0,104

Isso caracteriza um problema em áreas proximais ao ambiente litorâneo como descrito por Morais et al. (2008), provocando mudanças no fluxo sedimentar alterando a deposição de sedimentos e consequentemente influenciando no ambiente praial.

Um outro fator a ser destacado em relação perda de faixa de praia é a necessidade de fontes alternativas de proteção costeira, como a utilização de estruturas rígidas como no município de Paulista, que neste caso representou 0,2% dos valores analisados. A utilização destas estruturas, surge com o objetivo de fixar a linha de costa afim de reduzir danos nas áreas urbanizadas *Menezes. A. F.; Pereira, P. S.; Gonçalves. R. M.*.

próximas. As estruturas rígidas também são utilizadas na tentativa de minimização de impactos de ondas de alta energia (Kobayashi et al., 2007).

A orla do município de Paulista é alvo problemas devido a ocupação desordenada na região de pós-praia. Oliveira et al. (2012) destacaram que após as obras de aterro hidráulico para a recuperação da faixa de praia, foram iniciados projetos para a urbanização da orla, onde ocasionalmente ocorreram pontos de colapso em estruturas. Nas intervenções realizadas destaca-se uma ausência de harmonia entre as condições de dinâmica sedimentar local e

as áreas destinadas para infraestruturas urbanas. No município de Paulista as estruturas rígidas contam com mais de 3 km de extensão. Estas obras foram realizadas na tentativa de trazer melhorias aos usuários da praia do Janga. Entretanto os resultados não foram condizentes com as expectativas (Oliveira et al., 2012).

Alguns ambientes do litoral norte do estado de Pernambuco também se destacam pela presença de recifes, totalizando 0,9% do município da Ilha de Itamaracá, 0,1% de Igarassu e 0,3% do município de Paulista (Tabela 4). Segundo Dominguez et al. (1990), estes são classificados como Recifes de Corais e Algas Coralíneas.

Tabela 4. Valores percentuais dos resultados obtidos para o litoral norte do Estado de Pernambuco.

Indicadores/Municípios	Goiana	Itamaracá	Igarassu	Paulista
Praia	0,4%	2,4%	0,7%	0,2%
Bancos de Areia	-	1,3%	0,2%	-
Recifes	-	0,9%	0,1%	0,3%
Estruturas Rígidas	-	-	-	0,2%
Vegetação Arbustiva	-	8,5%	-	0,5%
Vegetação Árborea	20,4%	57,9%	88,5%	35,6%
Baixa Urbanização	53,7%	5,2%	2,1%	-
Moderada Urbanização	0,8%	4,6%	0,8%	-
Intensa Urbanização	-	15,4%	-	63,2%
Viveiros	0,9%	1,9%	-	-
Portos	-	-	-	-
Vegetação Agrícola	23,8%	1,9%	7,6%	-

Os recifes observados na porção norte do município de Paulista estão associados diretamente a com a proteção de sedimentos arenosos nas praias de Nossa Senhora do Ó e Maria Farinha, onde a orla demonstra claro acumulo ao longo da linha de costa (Manso et al, 2012, Martins et al., 2016).

Como observado no mapa do litoral de Itamaracá (figura 3.a) são evidenciados bancos de areia, tanto próximos a desembocaruda dos rios como na plataforma interna. Na porção Nordeste da Ilha de Itamaracá também são vistos bancos de areia nas proximidades da faixa de praia, correspondendo a 1,3% do valor total para o município.

As praias ocupam uma estreita faixa em alguns pontos dos municípios de Goiana (0,4%), Igarassu (0,7%) e Paulista (0,2%), sendo verificados ambientes com baixos percentuais de sedimentos praiais, em alguns momentos a visibilidade destas áreas nas escalas projetadas fica imperceptível. Os maiores valores foram encontrados no município da Ilha de Itamaracá, com 2,4% de área de praia.

O município de Goiana apresentou o índice de vulnerabilidade à erosão costeira classificado em 5,2; Ilha de Itamaracá com 4,7; Igarassu 4,4, apresentando média vulnerabilidade enquanto o município de Paulista obteve valor de 6,4 entendido com vulnerabilidade alta (Tabela 5).

Tabela 5. Resultados obtidos através do índice de vulnerabilidade à erosão costeira para o litoral norte do Estado de Pernambuco.

Indicadores/Municípios	Goiana	Itamaracá	Igarassu	Paulista
Praia	10	7,5	10	10
Bancos de Areia	10	7,5	10	10
Recifes	10	10	10	10
Estruturas Rígidas	0	0	0	2,5
Vegetação Arbustiva	10	5	10	10
Vegetação Árborea	2,5	2,5	0	2,5
Baixa Urbanização	7,5	2,5	2,5	0
Moderada Urbanização	2,5	5	2,5	0
Intensa Urbanização	0	5	0	10
Viveiros	0	2,5	0	0
Portos	0	0	0	0
Vegetação Agrícola	7,5	2,5	2,5	0
Total	5,2	4,7	4,4	6,4

Tais índices refletiram bem a presença antrópica local, e sua influência nos elevados índices de vulnerabilidade à erosão costeira, tendo

# Núcleo metropolitano

O núcleo Metropolitano do litoral pernambucano é constituído por três municípios costeiros (Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes). Esta região apresenta o maior contingente populacional, que de acordo com o IBGE (2010) totalizam 2.560.103 de habitantes em uma área de 518 km².

Ao longo deste setor são observados ambientes de intensa urbanização com valores percentuais elevados, sendo 87,9% de intensa urbanização para o município de Olinda, 67,0% para Recife e 68,3% para Jaboatão dos Guararapes. Este aspecto se relaciona com a instabilidade urbana nestas regiões e consequentemente os constantes problemas de decorrentes da urbanização desordenada sobre o

como destaque o município de Paulista, que já não possui pós-praia, cedendo lugar a estruturas rígidas.

pós-praia, onde passaram a impedir a troca de sedimentos com os depósitos costeiros ali situados como destacado por Araújo et al. (2007); Costa et al. (2008); Mallmann e Araújo, 2010; e Mallmann et al. (2014).

Um dos fatores que potencializa a erosão nesta região, além da intensa urbanização é a pouca contribuição dos rios no aporte sedimentar. Consequentemente, houveram reduções das áreas praiais para os municípios avaliados que corresponderam a 0,9%, 1,8% e 2,7% para Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes respectivamente, observados nos mapas a seguir (figuras 4.a e 4.b), onde nem todas as áreas das cidades de Recife e Olinda apresentam áreas de praia.

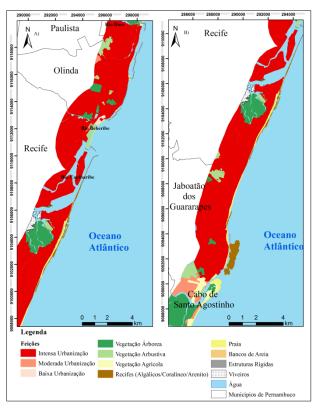


Figura 4. a) Mapa dos Municípios de Olinda e Recife; b) Mapa do Município de Jaboatão dos Guararapes. Datum SIRGAS 2000. Sistema de Coordenadas UTM Zona 25 S.

O histórico de erosões no núcleo metropolitano, promoveram a necessidade de ações dos governos locais para fins de proteção costeira. Um exemplo deste caso é o município de Jaboatão dos Guararapes que atualmente apresenta uma faixa de areia consideravelmente robusta, isto se deve a interferência da prefeitura local, que resultou no engordamento ocorrido no ano de 2013 para as praias de Piedade, Candeias e

Barra de Jangada, que antes eram caracterizadas por forte erosão costeira e ausência de faixa de praia.

Atualmente a zona de praia do município de Recife compreende a 1,343 ha, enquanto Jaboatão dos Guararapes conta 1,397 ha, e Olinda com 0,241 ha, todos os dados observados na tabela 6.

Tabela 6. Resultados do uso de solo obtido através da vetorização no núcleo metropolitano do Estado de Pernambuco em ha.

Indicadores/Municípios	Olinda	Recife	Jaboatão dos Guararapes
Praia	0,241	1,343	1,397
Bancos de Areia	0,006	0	0
Recifes	0	0,435	1,483
Estruturas Rígidas	0,190	0,065	0.010
Vegetação Arbustiva	12,17	37,93	18,94
Vegetação Árborea	0,966	21,71	0,459
Baixa Urbanização	0,210	0,002	0
Moderada Urbanização	0,237	0	9,876
Intensa Urbanização	22,71	49,92	35,03
Viveiros	0	0,540	0
Portos	0	0,098	0
Vegetação Agrícola	0,0331	0	1,07

O município de Recife também passou por uma engorda de Praia que resultou a recuperação do ambiente na área do Pina e Brasília Teimosa.

A engorda de praia é uma opção de recuperação nas orlas litorâneas, para isso, é necessário que os sedimentos transpostos apresentem características semelhantes aos sedimentos nativos, como aponta Medeiros et al. (2014). Dean (2002) afirma que o material a ser utilizado também deve ser livre de contaminantes e o mínimo de material na fração granulométrica correspondente a argila e silte, evitando assim perdas posteriores de sedimentos.

O município com cenário de erosão costeira mais crítico é Olinda, que possui 10,5 km de extensão, constituídos pelas praias de Del Chifre, Milagres, Carmo, São Francisco, Farol, Bairro Novo, Casa Caiada e Rio Doce (Costa, Pontes e Araújo, 2008). Boa parte da orla deste município apresenta estruturas rígidas que foram implementadas na tentativa de minimizar os impactos costeiros. Estas estruturas contabilizam 0,8% da área estudada, onde ao longo da costa é possível encontrar muros de contenção, molhes e espigões.

Conforme a descrição realizada por Martins et al. (2016) praticamente toda a orla de Olinda não possui pós-praia mesmo na maré baixa além da fixação de estruturas rígidas de engenharia costeira, contabilizando um total de 38 espigões curtos.

Os primeiros registros de erosão costeira no Estado de Pernambuco foram evidenciados por Ferraz (1914), interligados a construção e ampliação do Porto do Recife, modificando as correntes litorâneas que atingem o município de Olinda, provocando alterações na dinâmica do transporte de sedimentos na região.

Além deste fator, o aterro de manguezais no Rio Beberibe, para a construção de edificações ao longo da década de 1960, também foi um fator inerente no aporte sedimentar da região (Manso, 2012).

Outro aspecto próximo as de manguezais são áreas de viveiros que ocupam 0,8% dos valores analisados na cidade do Recife. Estes ambientes são encontrados nas proximidades do estuário do Rio Capibaribe, área vizinha ao parque dos manguezais, uma unidade de conservação que destaca-se pela vegetação a arbórea de 29,2% como possível observar na tabela 7.

Tabela 7. Valores percentuais dos resultados obtidos para o litoral norte do Estado de Pernambuco.

			Jaboatão
Indicadores/Municípios	Olinda	Recife	dos
			Guararapes
Praia	0,9%	1,8%	2,7%
Bancos de Areia	-	-	-
Recifes	-	0,6%	2,9%
Estruturas Rígidas	0,8%	0,1%	0,1%
Vegetação Arbustiva	4,8%	0,4%	3,7%
Vegetação Árborea	3,7%	29,2%	1,0%
Baixa Urbanização	0,8%	-	-
Moderada Urbanização	0,9%	-	19,3%
Intensa Urbanização	87,9%	67,0%	68,3%
Viveiros	-	0,9%	-
Portos	-	0,1%	-
Vegetação Agrícola	0,2%	-	2,0%

Um fator preponderante no sentido de proteção costeira natural são os recifes de arenito e algas coralinas. De acordo com Souza (2004) e Araújo (2007), os recifes ao longo das praias do Pina, Boa Viagem e Piedade ficam expostos durante a maré baixa resultando um conjunto de paisagens naturais, servindo como forte atrativo

turístico, além de serem importantes agentes de proteção das praias locais em relação as ondas de alta energia.

Segundo os dados observados 2,9% do município de Jaboatão dos Guararapes é quantificado como recifes de corais e algas coralinas, sobretudo na região de Candeias e nas praias de Piedade. Na cidade do Recife estas feições são descritas na praia de Boa Viagem apresentando valores percentuais de 0,6%.

Outro destaque em relação ao aspecto de proteção é a presença de vegetação arbustiva que no município de Jaboatão dos Guararapes corresponde a 3,7% de área analisada, enquanto na cidade do Recife e Olinda são descritos por 0,4% e 4,8% de maneira respectiva, com pequenas propensões nas proximidades da orla. Este tipo de vegetação é encontrada nas praias do Pina, Boa Viagem (Recife) e Del Chifre (Olinda). Pires, Craveiro e Antunes (2012) afirmam que esta vegetação é responsável pela fixação de sedimentos nas áreas próximas a praia.

Um exemplo da referência supracitada é praia de Del Chifre. Como afirma Martins (2015) em Olinda esta é a única praia preservada na

região, sendo uma estreita barreira entre o mar e o Rio Beberibe, entretanto, nesta área são encontradas algumas comunidades que caracterizam uma baixa ocupação no uso solo, além de uma faixa de vegetação rasteira.

Diferente deste cenário as raízes expostas dos coqueiros evidenciam a presença de intensas atividades erosivas locais, no entanto vegetação de agrícola foi observada com valores de 0,2% para Olinda e 2,0% para o município de Jaboatão dos Guararapes.

Para o núcleo metropolitano cidades de Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes apresentaram respectivamente 6,6, 6,9 e 6,9 (alta vulnerabilidade) , necessitando atividades de gestão que objetivem a redução de interferência antrópica nestes ambientes.

Tabela 8. Resultados obtidos através do índice de vulnerabilidade à erosão costeira para o núcleo metropolitano do Estado de Pernambuco.

Indicadores/Municípios	Olinda	Recife	Jaboatão dos Guararapes
Praia	10	7.5	7.5
Bancos de Areia	10	10	10
Recifes	10	10	10
Estruturas Rígidas	2.5	2.5	2.5
Vegetação Arbustiva	5	10	5
Vegetação Árborea	5	2.5	7.5
Baixa Urbanização	0	0	0
Moderada Urbanização	2.5	0	5
Intensa Urbanização	10	10	10
Viveiros	0	0	0
Portos	0	2.5	0
Vegetação Agrícola	2.5	0	2.5
Total	6.6	6.9	6.9

A vulnerabilidade para este setor foi classificada como alta, verificando a forte presença da

intervenção atrnópica através dos níveis elevados de urbanização.

## Litoral sul

O litoral sul do Estado de Pernambuco é onde mais se caracteriza a presença de praias preservadas e menores ambientes de feições erosiva. Dentro do estudo proposto, o destaque para esta avaliação é a ausência de ambiente grandes ambientes urbanos nos municípios avaliados. Entretanto, os valores de moderada urbanização estão em 19,9% para o litoral do

Cabo de Santo Agostinho, 10,1% para São José da Coroa Grande e 8,7% para Tamandaré.

Em virtude da baixa urbanização o município de Barreiros se destaca pelos baixos percentuais urbanos com 2,1% de baixa urbanização e 0,1% de moderada urbanização (figura 5.a e 5.b).

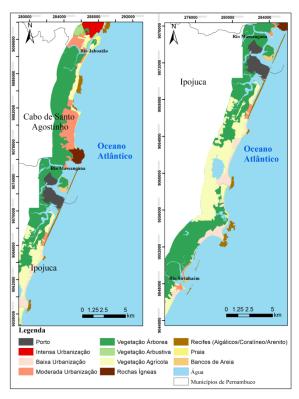


Figura 5. a) Mapa do Município do Cabo de Santo Agostinho; b) Mapa do Município de Ipojuca. Sistema de Coordenadas UTM. Datum SIRGAS 2000 zona 25 S.

Diferentemente de outros municípios do litoral sul do estado de Pernambuco, o município de Barreiros ainda não conta com edificações nas áreas próximas ao ambiente costeiro, como prédios, grandes residências e rede de serviços.

Entretanto os municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca já se caracterizam pelo uso e ocupação do solo ao longo do litoral. A presença de hotéis luxuosos, pousadas e residências já é um fator em destaque devido a especulação imobiliária local, o que já caracteriza cenários erosivos nas áreas de ambos os municípios, como aponta Manso et al (2012).

Segundo a descrição de Martins et al. (2016), o turismo nas áreas litorâneas do estado de grande Pernambuco apresenta potencial econômico, e a falta de gestão adequada destas áreas pode representar uma ameaça significativa para o ambiente praial, bem como para o próprio financeiro. sendo aspecto necessário implementação de programas de planejamento afim de obter um controle do uso dos recursos costeiros.

De acordo com o IBGE (2010), os municípios do litoral sul do Estado de Pernambuco demonstram baixas densidades demográficas ao longo dos territórios municipais, a exceção está para o município do Cabo de Santo Agostinho que possui 412,33 hab/km² destacado por ter a maior densidade demográfica fora do núcleo metropolitano, outra cidade que se destaca

é o município de São José da Coroa Grande, pois sua densidade demográfica é de 262,19 hab/km².

Outras áreas de influência antrópica, mas de baixa e média vulnerabilidade são visualizadas nos municípios de Sirinhaém, Tamandaré, onde as feições urbanas ocorrem de maneira dispersas ao longo dos limites municipais e do ambiente costeiro, diferente do caso supracitado do município de São José da Coroa Grande que existe uma concentração populacional nas proximidades das áreas costeiras.

Além da urbanização, um outro aspecto de interferência antrópica supracitado como geoindicador e mapeado através das imagens de satélite de alta resolução, foi a presença do Porto de Suape, entre os municípios do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, ocupando 4,2% da área total estudada.

O Porto do Suape foi construído em um complexo estuarino na desembocadura do Rio Ipojuca e atualmente possui uma área de 13.500 hactares. A partir de 2000 o Porto de Suape entrou em uma nova fase de desenvolvimento econômico local, trazendo consigo uma série de investimentos, ocasionando uma mudança local de áreas de características rurais para um ambiente industrial (Rabelo, 2015).

A ampliação do Complexo Industrial Portuário de Suape consolidou esta área como um dos principais pólos de desenvolvimento do Estado de Pernambuco e do Brasil, sendo ponto atrativo na atração e fixação de capital, provocando alterações nas relações ecossistêmicas e geográficas locais como a perda da vegetação nativa (Barros e Silveira 2010).

O fator da vegetação na análise da vulnerabilidade à erosão costeira para o Litoral

Sul pernambucano é identificado com áreas de vegetação agrícola com valores entre 2,886 ha (Cabo de Santo Agostinho) e 4,322 (Tamandaré), como observados na tabela 9. Estes valores correspondem a 7,9% a 86,2% para os municípios supracitados.

Tabela 9. Resultados do uso de solo obtido através da vetorização no Litoral Sul do Estado de Pernambuco em ha.

	Cabo de					
Indicadores/Municípios	Santo	Ipojuca	Sirinhaém	Tamandaré	Barreiros	São José da
	Agostinho					Coroa Grande
Praia	14,08	18,34	0,414	0,511	0,645	0,28
Bancos de Areia	0	0,516	0	0	0,442	0
Recifes	0,936	21,773	1,195	0,198	0,697	1,957
Estruturas Rígidas	0	0,088	0	0	0	0
Vegetação Arbustiva	0	0,080	0,089	0,088	0,064	0
Vegetação Árborea	24,887	4,226	1,060	1,714	3,716	6,078
Baixa Urbanização	0	4,947	1,208	0,067	0	0,429
Moderada Urbanização	7,506	0,752	1,044	4,343	0,245	2,975
Intensa Urbanização	0	0	0	0	0	0
Viveiros	0	0	0,278	0	0	1963.6
Portos	0	5,226	0	0	0	0
Vegetação Agrícola	2,886	5,076	2,6	4,322	1,576	1,740

Boa parte das áreas preservadas do Litoral Sul estão em áreas de Unidades de Conservação estaduais, como a APA de Guadalupe, APA Estuarina dos Rios Sirinhaém e Maracaípe, APA estuarina do Rio Formoso, APA Estuarina do Rio Carro Quebrado e APA Estuarina do Rio UNA, sendo responsáveis pela proteção dos ecossistemas de Mangue, Mata Atlântica e Restinga (CPRH, 2012).

Os valores percentuais de vegetação arbórea estão entre 16,1% e 64,4% para os municípios de Barreiros e Cabo de Santo Agostinho, enquanto Sirinhaém e Tamandaré 3,4%.

Em diversos pontos do litoral do Estado de Pernambuco são encontrados manguezais que atuam com regimes de maré. Os depósitos destes ambientes compreendem a materiais argilosiltosos com muita matéria orgânica, com restos de madeira e conchas (Dominguez et al., 1990).

Os cenários de ocupação agrícola para o litoral sul representa um fator histórico local, pois boa parte desta vegetação é caracterizada pela vegetação da Cana de Açúcar como consequência da retirada de vegetação de mata atlântica e de manguezais, evidenciados no mapa gerado (figura 5a. 5.b).

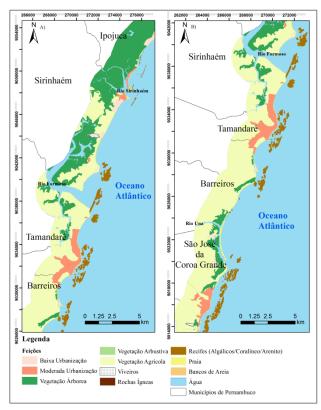


Figura 6. a) Mapa de Sirinhaém e Tamandaré; b) Mpa de Barreiros e São José da Coroa Grande. Datum SIRGAS 2000. Zona 25 S

Um fator em evidência a se destacar no litoral pernambucano é a proximidade de ambientes preservados aos de característica agrícola, não apenas no cultivo de vegetais, mas

também com a presença de viveiros que contabilizam 0,9% para o município de Sirinhaém e 0,7% para o município de São José da Coroa Grande (tabela 10).

Tabela 10. Valores percentuais dos resultados obtidos para o litoral sul do Estado de Pernambuco.

						São José da
Indicadores/Municípios	Cabo de Santo	Ipojuca	Sirinhaém	Tamandaré	Barreiros	Coroa
	Agostinho					Grande
Praia	5,5%	14,7%	1,3%	1,0%	3,0%	1,5%
Bancos de Areia	-	0,41%	-	-	73,0%	-
Recifes	2,3%	1,7%	3,8%	0,4%	3,3%	6,9%
Estruturas Rígidas	-	0,1%	-	-	-	-
Vegetação Arbustiva	-	0,1%	0,2%	0,2%	0,3%	-
Vegetação Árborea	64,4%	33,7%	3,4%	3,4%	16,1%	20,7%
Baixa Urbanização	-	3,9%	3,9%	0,1%	2,1%	1,5%
Moderada Urbanização	19,9%	0,6%	3,4%	8,7%	0,1%	10,1%
Intensa Urbanização	-	-	-	-	-	-
Viveiros	-	-	0,9%	-	-	0,7%
Portos	-	4,2%	-	-	-	-
Vegetação Agrícola	7,9%	40,6%	83,1%	86,2%	73,0%	59,1%

As áreas de viveiros áreas são resultados de processos de alterações dos ambientes locais e estão muito próximas a orla marítima nos municípios de Sirinhaém e São José da Coroa Grande.

Os principais problemas causados pelos viveiros estão relacionados com a remoção de manguezais e o lançamento de efluentes nos estuários. Estudos anteriores na área estuarina, descrevem mudanças significativas, através de elevadas cargas de sedimentos finos avançando cerca de 5 km na plataforma (Morais et al., 2005). Fato somado ao desenvolvimento local agrícola e implementação de atividades turísticas nas regiões.

Alterações na da dinâmica sedimentar local podem interferir diretamente no aspecto da morfodinâmica costeira, devido a diferenciação característica dos sedimentos depositados nas praias que sofrem a influência dos viveiros nestes municípios, causando no ambiente costeiro (Morais et al., 2008).

Entretanto, a área de praia foi calculada no sistema de informações geográficas com os valores de 5,5% para o Cabo de Santo Agostinho, 14,7%, para o município de Ipojuca, 1,3%, 1,0% 3,0% e 1,5 para os municípios de Sirinhaém,

Tamandaré, Barreiros e São José da Coroa Grande respectivamente.

Neste setor também foram observados a presença de bancos de areia com os valores de 0,4% para o município de Ipojuca e 2,1% para o município de Barreiros. Outras áreas são descritas por Araújo et al. (2007) que verificam a presença de áreas com potencial sedimentação, como o Pontal do Paiva, no Cabo de Santo Agostinho e a praia de Várzea do Una em São José da Coroa Grande.

Com exceção do município de Ipojuca, os valores percentuais para o litoral sul foram igual ou superior a 1,0% com destaque para o município do Cabo de Santo Agostinho que apresentou o maior valor percentual de área de praia para todo o litoral do Estado de Pernambuco.

Os resultados do índice de vulnerabilidade à erosão costeira para o litoral sul representam a situação de preservação para os municípios deste setor, tendo o município do Cabo de Santo Agostinho com o menor valor e o de Tamandaré com o maior resultado numérico (Tabela 11). A vulnerabilidade para este setor foi considerada média.

Tabela 11. Resultados obtidos através do índice de vulnerabilidade à erosão costeira para o núcleo metropolitano do Estado de Pernambuco.

	Cabo de					
Indicadores/Municípios	Santo	Ipojuca	Sirinhaém	Tamandaré	Barreiros	São José da
	Agostinho					Coroa Grande
Praia	7,5	5	7,5	7,5	7,5	7,5
Bancos de Areia	10	10	10	10	7,5	10
Recifes	10	10	10	10	7,5	10
Estruturas Rígidas	0	2,5	0	0	0	0
Vegetação Arbustiva	5	10	10	10	5	5
Vegetação Árborea	0	2,5	7,5	7,5	5	2,5
Baixa Urbanização	0	5	7,5	7,5	7,5	7,5
Moderada Urbanização	5	2,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Intensa Urbanização	0	0	0	0	0	0
Viveiros	0	0	0	0	0	2,5
Portos	0	5	0	0	0	0
Vegetação Agrícola	2,5	7,5	10	10	10	10
Total	4	5,4	5,4	5,6	4,7	4,6

Os principais problemas causados pelos viveiros estão relacionados com a remoção de manguezais e o lançamento de efluentes nos estuários. Estudos anteriores na área estuarina, descrevem mudanças significativas, através de *Menezes. A. F.; Pereira, P. S.; Gonçalves. R. M.*.

elevadas cargas de sedimentos finos avançando cerca de 5 km na plataforma (Morais et al., 2005). Fato somado ao desenvolvimento local agrícola e implementação de atividades turísticas nas regiões.

Alterações na da dinâmica sedimentar local podem interferir diretamente no aspecto da morfodinâmica costeira, devido a diferenciação característica dos sedimentos depositados nas praias que sofrem a influência dos viveiros nestes municípios, causando no ambiente costeiro (Morais et al., 2008).

Entretanto, a área de praia foi calculada no sistema de informações geográficas com os valores de 5,5% para o Cabo de Santo Agostinho, 14,7%, para o município de Ipojuca, 1,3%, 1,0% 3,0% e 1,5 para os municípios de Sirinhaém, Tamandaré, Barreiros e São José da Coroa Grande respectivamente.

Neste setor também foram observados a presença de bancos de areia com os valores de 0,4% para o município de Ipojuca e 2,1% para o município de Barreiros. Outras áreas são descritas por Araújo et al. (2007) que verificam a presença de áreas com potencial sedimentação, como o Pontal do Paiva, no Cabo de Santo Agostinho e a praia de Várzea do Una em São José da Coroa Grande.

Com exceção do município de Ipojuca, os valores percentuais para o litoral sul foram igual ou superior a 1,0% com destaque para o município do Cabo de Santo Agostinho que apresentou o maior valor percentual de área de praia para todo o litoral do Estado de Pernambuco.

Os resultados do índice de vulnerabilidade à erosão costeira para o litoral sul representam a situação de preservação para os municípios deste setor, tendo o município do Cabo de Santo Agostinho com o menor valor e o de Tamandaré com o maior resultado numérico (Tabela 11). A vulnerabilidade para este setor foi considerada média.

Áreas de acúmulo sedimentar apresentam um forte potencial de preservação natural, tendo sua dinâmica ajustada as condições de uso e ocupação de solo, que são favoráveis a preservação dos ambientes praiais (Malmman et al. 2010 e Malman et al. 2014), protegidos em algumas áreas pela presença dos recifes que contabilizam entre 0,4% e 6,9% dos cenários realizados nos ambientes de SIG.

Dominguez et al. (2010) classifica os recifes do litoral sul do Estado de Pernambuco como, recifes de corais e algas coralíneas, recifes

Em relação aos setores norte e sul foram verificados substituições da vegetação nativa (Manguezais, Mata Atlântica e Restinga) por vegetação agrícola e coqueiros. Este fato ocorre pelo histórico de uso e ocupação do solo nestas regiões. Atualmente o uso de solo para fins

de corais e algas coralíneas submersas e recifes praias com destaque para a presença de extensas faixas de praia, como é o caso do município de Ipojuca nas proximidades da desembocadura do Rio Ipojuca.

Martins (2015) e Araújo et al. (2007) descrevem de maneira semelhante a vulnerabilidade à erosão costeira para este setor, caracterizando os aspectos de maior evidência aos pontos de erosão e vulnerabilidade através presença antrópica como fator potencial, igualmente descrito ao longo do trabalho.

#### Conclusões

O presente estudo foi desenvolvido através de dados orbitais e técnicas de geoprocessamento e estatística, o que possibilitou a caracterização geral da vulnerabilidade à erosão costeira no estado de Pernambuco, analisando a influência dos geoindicadores nos litorais norte, núcleo metropolitano e sul.

Os principais resultados mostraram que a influência antrópica foi o principal fator condicionante na identificação e quantificação dos índices nos diferentes cenários. O núcleo metropolitano, apresenta elevada taxa de urbanização e adensamento populacional nas áreas costeiras, tendo sua maior intensidade no município de Olinda, onde verifica-se ausência de praia ao longo da orla, sendo estas áreas substituídas por estruturas de engenharia rígida.

Um grave problema histórico é a ocupação desordenada, isso é bastante evidenciado no núcleo metropolitano e litoral norte. Nove cidades da Região Metropolitana do Recife são municípios costeiros, que ao longo do tempo vem aumentando sua população através da fixação de residências de pequeno porte, mas sobretudo em edifícios de grande porte.

Os resultados descritos neste trabalho destacam elevados índices vulnerabilidade à erosão costeira em regiões de ocupação desordenada nas áreas do pós-praia como as áreas das praias de Paulista, Olinda, Recife e Jaboatão dos Guararapes, onde a este ambiente foi intensamente urbanizado e atualmente sofre devido aos efetivos processos erosivos, não apresentando áreas preservadas ou protegidas sendo ambientes de preocupação para a população local e os órgãos públicos.

agrícolas é o maior problema do litoral sul do estado de Pernambuco.

Municípios como Sirinhaém, Tamndaré, Barreiros e São José da Coroa Grande não apresentam influência urbana, mas grandes áreas agrícolas que caracterizam a substituição da vegetação local, como supracitado.

Já no litoral norte o município da Ilha de Itamaracá se destaca por apresentar o menor valor no índice proposto neste setor, o que se deve pela presença da diversidade paisagística local, aumentando a quantidade de variáveis para a análise proposta.

Um aspecto de suma importância observada neste estudo, baseado em outros autores, é a correspondência da proteção de sedimentos costeiros através da presença de recifes algálicos, coralíneos e de arenito, sendo entendido como uma barreira natural, protegendo a costa das ondas de alta energia.

A metodologia utilizada neste trabalho se mostrou satisfatória de acordo com a escala utilizada para avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira ao longo dos 187 km de praias. Os resultados de extração de objetos a partir da vetorização mostram-se promissores, no entanto este não é o único método proeminente capaz de avaliar a vulnerabilidade à erosão costeira podendo-se aumentar a eficiência.

Este método pode ser uma eficiente ferramenta no auxílio a gestão costeira em escala regional, tendo em vista a otimização do tempo em relação a aquisição de dados que possam auxiliar a tomada de decisões na avaliação da vulnerabilidade à erosão costeira, bem como a materiais criação de que possam disponibilizados a sociedade com o intuito de desenvolver a educação ambiental para as áreas utilização costeiras. Α dos Sistemas Informação Geográficas mostra-se útil e ágil na integração de informações espaciais para medidas operacionais e emergenciais.

A análise da vulnerabilidade à erosão costeira no estado de Pernambuco carece de mais avaliações, sobretudo em diferentes escalas temporais, na tentativa de tomada de melhores decisões e de conhecimento dos cenários que acarretam a potencialização da perda de áreas de praia sob diversos fatores.

Uma sugestão para trabalhos futuros é a classificação automática dos geoindicadores através do uso de imagens de alta resolução, analisando escalas locais, proporcionando maiores precisões nos dados analisados em setores.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco, a Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado de Pernambuco e ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco.

#### Referências

- Araújo. M. C. B., Souza, S. T., Chagas., Barbosa., S. C. T., Costa, Monica F. Costa., 2007 Análise da Ocupação Urbana das Praias de Pernambuco, Brasil. Revista da Gestão Costeira Integrada [online] 7. Disponível: http://dx.doi.org/10.5894/rgci304. Acesso: 15 set. 2015.
- Baatz, M., Mimler, M., 2002. Objetos de Imagem Iniciais como suporte para Extração de Objetos de interesse. In: Blaschke, T. e Kux, H. (Org..), Sensoriamento Remoto e SIG Avançados. Oficina de Textos, São Paulo, pp.179-188.
- Barros. A. P. e Silveira, K. A., 2010. A Produção Do Espaço Rural-Urbano E Seus Rebatimentos Nos Conflitos Socioambientais Na Área De Suape,\* Pernambuco Brasil. Cadernos Ceru, 21, 163-169.
- Besnad, W. 1950. Considerações gerais em tôrno da região lagunar de Cananéia-Iguape: I. Boletim do Instituto Inst. Paulista Oceanográfico. , 1. Disponível: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-42391950000200001. Acesso 15 set. 2015.
- Birkmann, J., 2007. Risk and vulnerability indicators at different scales: applicability, usefulness and policy implications. Environ. Hazards [online] 7. Disponível: https://dx.doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.04.00 2. Acesso: 19 set. 2015.
- Bosom E., Jimenez J.A., 2010. Storm-induced coastal hazard assessment at regional scale: application to Catalonia (NW Mediterranean). Advances in Geosciences [online] 26. Disponível: http://dx.doi:10.5194/adgeo-26-83-2010. Acesso: 15 set. 2015.
- Bush, D.M.; Neal, J.W.; Young, R.S.; Pilkey, O.H., 1999. Utilization of Geoindicators for Rapid Assessment of Coastal Hazard Risk and Mitigation. Ocean & Coastal Management [online] 42. http://dx.doi.org/10.1016/S0964-5691(99)00027-7. Acesso: 12 set. 2015.
- Burrough, P.A., 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessement, Oxford, Clarendon.
- Câmara, I. G., 1991. Plano de Ação para a Mata Atlântica. Fundação SOS Mata Atlântica. São Paulo.
- Carvalho, R.F. e Coutinho, P.N., 1979. Evolução da área da Lagoa Olhos-d'agua (Recife, PE). In: SIMP. REG. GEOL., 9, Natal. *Atas...* Natal, SBG. p.180-201.
- Costa, M.B.S.F., Pontes, P. M. & Araujo, T. C. M., 2008. Monitoramento da Linha de Preamar das Praias de Olinda PE (Brasil) como Ferramenta à Gestão Costeira. Revista da Gestão Costeira Integrada [online] 8.

- http://dx.doi.org/10.5894/rgci14. Acesso: 14 set. 2015.
- CPRH. Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Pernambuco, 2015. Unidades de Conservação. Disponível: http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS\_ANE XO/Unidades%20de%20Conserva%C3%A7%C3%A30%20Estaduais.pdf. Acesso em: 20 de setembro de 2015.
- Dean, R.G., 2002. Beach Nourishment: theory and practice., World Scientific Publishing, Singapura.
- Dominguez, J.M.L.; Bittencourt, A. C. S. P.;
  Leão, Z. M. A.N.; Azevedo, A. E. G. 1990.
  Geologia do quaternário costeiro do Estado de Pernambuco. Revista Brasileira de Geociências 20, 208-215.
- Emrich C.T, Cutter S.L., 2011. Social vulnerability to climate-sensitive hazards in the southern United States. Weather and Climate Society [online] 3. http://dx.doi.org/10.1175/2011WCAS1092.1 Acesso: 20 set. 2015
- França, C., F., Souza Filho., P. W. M., 2006.
  Compartimentação Morfológica Da Margem
  Leste Da Ilha De Marajó: Zona Costeira Dos
  Municípios De Soure E Salvaterra Estado Do
  Pará. Revista Brasileira de Geomorfologia
  [online] 7. Disponível:
  http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v7il.58. Acesso:
- Ferraz, D. S., 1914. O Molhe de Olinda. . Imprensa Industrial, Recife.
- Gouldby, B., Samuels, P., 2005. Language of risk. Project definitions. Floodsite project, Wallingford UK.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Censo Demográfico. Disponível em: http://censo2010.ibge.gov.br/. Acesso em: 20 de setembro de 2015.
- Klein, R.J.T., Nicholls, R.J., Thomalla, F., 2003. Resilience to natural hazards: how useful is this concept? Environmental Hazards [online] 5. Disponível: https://dx.doi.org/10.1016/j.hazards.2004.02.0 01. Acesso: 20 set. 2015
- Kobayashi, N., Meigs, L. E., Ota T., Melby. J. A., 2007. Irregular breaking wave transmission over submerged porous breakwater. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering v. [online] 5. Disponível: http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X. Acesso: 30 set. 2015.
- Magini, C.; Gomes, P. F.; Veríssimo, C. U. V.; Aguiar Neto, A. B., 2007. Avaliação Ambiental da Praia do Futuro, município de Fortaleza, Ceará. Revista de Geologia 20, 91-88.

- Mallmann, D.L.B.; Araújo,T.C.M., 2010, Vulnerabilidade do Litoral Sul de Pernambuco à erosão. Tropical Oceanography 38, 129-151.
- Malmann, D.L.B.; Pereira, P.S.; Nogueira, P.F.R.S.M. Santos, F.M.M., 2014., Classificação morfodinâmica das praias arenosas de Ipojuca (Pernambuco, Brasil) através da análise semântica de imagens de pancromáticas. satélite **Pesquisas** em Geociências 41, 169-189.
- Manso, V.A.V.; Macedo, R.J.A.; Silva, E.R.M.E.; Pereira, N.S.; Soares Junior, C.F.A.; Arraes, M.; Alves, F.P., 2012. Subsídios ao Gerenciamento Costeiro: Definição sa Zona Não Edificante da Praia do Porto (PE) para uso e Ocupação da Orla. Estudos Geológicos 22, 21-36.
- Martins, K. A.; Pereira P. S.; Lino, A. P.; Gonçalves, R. M., 2016 Determinação da Erosão Costeira no Estado de Pernambuco Através de Geoindicadores. Revista Brasileira de Geomorfologia [online] 17. Disponível: http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i3.854. Acesso 17 jun. 2016.
- Medeiros, E. C. S., Pantalena, A. F., Miola, B. Lima, R., S., Soares, M, O., 2014. Percepção ambiental da erosão costeira em uma praia no litoral do Nordeste do Brasil (Praia da Taíba, CE). Revista de Gestão Costeira Integrada [online] 14. Disponível: http://doi.org/10.5894/rgci488. Acesso: 21 set. 2015.
- Menezes, J.T., 2008. Balanço de Sedimento Arenosos da Enseada do Balneário Camburiú – SC. 2008. Tese (Doutorado). Porto Alegre, UFRS.
- Moraes, L.J., 1928. Estudos geológicos do Estado de Pernambuco., Serv. Geol. Min. Brasil, Rio de Janeiro.
- Morais, J. O., Pinheiro, L. S., Cavalcante, A. A., Paula, D. P., Silva, R. L., 2008. Erosão Costeira em Praias Adjacentes às Desembocaduras Fluviais: O Caso de Pontal de Maceió, Ceará, Brasil Revista da Gestão Costeira Integrada 8, 61-76.
- Nicholls, R.J., Klein, R.J.T., 2005. Climate change and coastal management on Europe's coast in Vermaat, J.E. et al. (editores.). Managing European Coasts: Past, Present and future. Berlin. http://dx.doi.org/10.1007/3-540-27150-3 11.
- Oliveira, P. F. P.; Silva, H. A.; Santana, N. M. G.; Manso, V. A. V., 2012. Avaliação do Comportamento do Aterro Hidráulico da Praia do Janga Paulista/PE, decorrente da Dinâmica Praial e da Urbanização. Revista Brasileira de Geografia Física 2, 374-385.

- Pires, Iva., Craveiro J., Antunes. O., 2012. Artificialização do solo e Vulnerabilidade Humana em duas zonas sujeitas a processos de erosão costeira: casos de estudo da Costa da Caparica e Espinho (Portugal). Revista de Gestão Costeira Integrada, 12, 277-290.
- Ranta, P.; Blon, T.; Niemelã, J.; Joensuu, E., Siitonen, M., 1998. The fragmented Atlantic rain Forest of Brazil: size, shape and distribution of Forest fragments. Biodiversity and Conservation [online] 7. Disponível: http://doi.org/10.1023/A:1008885813543. Acesso 10 out, 2015.
- Sousa, P.H.G.O.; Siegle, E.; Tessler, M.G. 2011. Environmental and Anthropogenic Indicators

- for Coastal Risk Assessment at Massaguaçú Beach (SP) Brazil. Journal of Coastal Research 64, 319-323.
- Souza, S. T de., 2004., A saúde das praias da Boa Viagem e do Pina, Recife (PE), Brasil , Brasil., Dissertação (Mestrado). Recife, CTG-UFPE.
- Souza, C.R. de G., ; Luna, G. da C., 2008. Unidades quaternárias e vegetação nativa de planície costeira e baixa encosta da Serra do mar no litoral norte de São Paulo Revista do Instituto Geológico 29, p. 1-18.
- Sugiu, K., 2003, Geologia Sedimentar. Edgar Blucher, São Paulo. 400p.