



## ANÁLISE DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO (NDVI) E VULNERABILIDADE AMBIENTAL DA PLANÍCIE COSTEIRA DO ESTADO DO PIAUÍ

Analysis of vegetation index (NDVI) and environmental vulnerability of coastal plain Piauí's State

Análisis del índice de vegetación (NDVI) y vulnerabilidad ambiental de la planicie costera del estado de Piauí

Roneide dos Santos Sousa<sup>1</sup>

Gustavo Souza Valladares<sup>2</sup>

Giovana Mira de Espíndola<sup>3</sup>

### RESUMO

O artigo objetivou analisar a variação da cobertura vegetal da planície costeira do Piauí através do índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e análise da vulnerabilidade ambiental, por meio do SIG e de metodologia multicritério aditivo. Como resultados, para a imagem de 1999 os valores do NDVI mínimo, médio e máximo, foram respectivamente, - 0,4 (corpos d'água), 0,12 (solo exposto e dunas) e 0,69 (áreas com maior densidade vegetativa, manguezal). Para a imagem de 2014 os valores mínimo, médio e máximo do NDVI foram de -0,23, 0,19 e 0,60, respectivamente. Foi obtido cinco classes de vulnerabilidade ambiental, assim identificadas, Estável, Moderadamente Estável, Medianamente Estável/Vulnerável, Moderadamente Vulnerável, e Vulnerável. Como resultados, a classe Vulnerável inclui os manguezais, as planícies Flúvio marinhas, as dunas móveis e a linha de costa. Nas classes que apresentam vulnerabilidade ambiental de condição Estável esta incluída a unidade correspondente aos tabuleiros costeiros, do grupo barreiras. Os produtos finais permite a compreensão dos diferentes graus de vulnerabilidade de cada unidade mapeada, permitindo avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições.

**Palavras-chave:** NDVI; Vulnerabilidade Ambiental; Ambiente Costeiro; Sensoriamento Remoto.

### ABSTRACT

The article aims to analyze the variation of vegetation of the coastal plain of Piauí through the vegetation index (NDVI) and analysis of environmental vulnerability through GIS and multicriteria additive methodology. As a result, for the 1999 image the values of the minimum, average and maximum NDVI were respectively - 0.4 (water bodies), 0.12 (exposed dunes and soil) and 0.69 (areas with higher density vegetative, mangrove). For image 2014 the minimum, average and maximum NDVI were -0.23, 0.19 and 0.60, respectively. Was obtained five classes of environmental vulnerability, thus identified, Stable Moderately Stable Moderately Stable / Vulnerable, moderately vulnerable, and vulnerable. As a result, the vulnerable class includes mangroves, marine Fluvio plains, mobile dunes and shoreline. In classes that present environmental condition of vulnerability Stable this included the drive corresponding to the coastal plains, the group barriers. The final product gives an understanding of the different degrees of vulnerability of each mapped drive in order to evaluate the environmental potential in an integrated fashion, aligning its natural characteristics with its restrictions.

**Keywords:** NDVI; Environmental Vulnerability; Coastal Environment; Remote Sensing.

<sup>1</sup> Doutoranda em Geografia pela Universidade Federal do Ceará – UFC. E-mail: roneide\_2@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Agronomia. Docente da Universidade Federal do Piauí - UFPI. E-mail: valladares@ufpi.edu.br

<sup>3</sup> Doutora em Sensoriamento Remoto. Docente da Universidade Federal do Piauí - UFPI E-mail: giovanamira@ufpi.edu.br



## RESUMEN

El artículo tiene como objetivo analizar la variación de la vegetación de la llanura costera de Piauí a través del índice de vegetación (NDVI) y el análisis de la vulnerabilidad ambiental a través de SIG y multicriterio aditiva metodología. Como resultado, la imagen de 1999, los valores del NDVI mínima, media y máxima, respectivamente, fueron - 0,4 (cuerpos de agua), 0,12 (dunas a la vista y suelo) y 0,69 (zonas con mayor densidad vegetativo, mangle). Para 2014, la imagen mínima, media y máxima NDVI fueron -0.23, 0.19 y 0.60, respectivamente. Se obtuvo cinco clases de vulnerabilidad ambiental, así identificada, estable moderadamente estable moderadamente estable / vulnerable, moderadamente vulnerables y vulnerables. Como resultado, la clase vulnerable son los manglares, llanuras fluvio marinos, dunas y de la costa. En las clases que presentan condiciones ambientales de la vulnerabilidad Estable esto incluía la unidad correspondiente a las llanuras costeras, las barreras de grupo. El producto final da una comprensión de los diferentes grados de vulnerabilidad de cada unidad asignada con el fin de evaluar el potencial del medio ambiente de una manera integrada, alineando sus características naturales, con sus restricciones.

**Palabras clave:** NDVI; La vulnerabilidad del medio ambiente; Medio Ambiente costera; Detección remota.

## INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são entendidas a partir da complexidade da interface entre os sistemas atmosféricos, continentais e hidrológicos. Sua análise demanda uma perspectiva sistêmica dos diferentes ecossistemas e feições que a constitui, para isso reconhecer suas partes e integra-las dentro de um sistema maior, possibilita entender os processos responsáveis por sua dinâmica. São consideradas áreas mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas globais (glacioeustasia), sendo regiões diretamente atingidas pela variação nível do mar, pela exposição a eventos extremos, pela elevação de temperatura e acidificação dos oceanos.

Os espaços litorâneos são ambientes de grande interesse ao uso e ocupação, tendo em vista as questões inerentes à paisagem e à produtividade destes ambientes, a ação antrópica diversifica-se desde a ocupação para moradia e veraneio, exploração mineral, pesca, atividades de recreação e turismo, sendo ainda explorada, atualmente com mais intensidade, para fins de geração de energia elétrica. Diante disso, ainda concentra-se na zona costeira ou em sua proximidade cerca de 70% da população mundial, o que gera riscos associados a fatores antrópicos.

A paisagem costeira piauiense é caracterizada por uma diversidade de ecossistemas dotada de belezas naturais. As feições geomorfológicas, que interagem diretamente com os processos litorâneos, contribuem para a formação da biodiversidade, com a presença de praias arenosas, dunas, falésias e lagoas costeiras, estas unidades paisagísticas são responsáveis pela procura e desenvolvimento do turismo.

Diante das intervenções antrópicas no meio natural torna-se necessário o conhecimento das diversas formas em que o ambiente reage as essas pressões. Dessa forma, trabalhos publicados (CUTTER, 1994; CREPANI, 1996, 2001; TAGLIANI, 2002; LIMA, 2010; MOTA et al, 2013), buscaram demonstrar essas aplicações seguindo um determinado parâmetro, bem como através de mapas de sensibilidade, vulnerabilidade ou ainda de fragilidade, sendo os produtos finais passíveis de serem usados como ferramentas de gestão.



Neste trabalho adotou-se o conceito de Vulnerabilidade Ambiental definido por Tagliani (2002), como sendo a maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer. Dessa forma o termo suscetível refere-se à tendência de um ambiente de adquirir qualidades que não tinha e conseqüentemente contribuir para o desequilíbrio do sistema. Para Dal Cin e Simeoni (1994), o estudo da vulnerabilidade costeira permite obter informações para o planejamento e o gerenciamento adequado do litoral.

De acordo com Beltrame (1994) a cobertura vegetal se apresenta como um fator importante na manutenção dos recursos naturais renováveis, além de exercer papel essencial na manutenção do ciclo da água, protegendo o solo contra o impacto das gotas de chuva, aumentando a porosidade e a permeabilidade através da ação das raízes, reduzindo o escoamento superficial, mantendo a umidade e a fertilidade do solo pela presença de matéria orgânica. A vegetação funciona como um manto protetor dos recursos naturais, e por essa razão, sua distribuição e densidade definem o estado de conservação do ambiente.

Dessa forma, Melo (2008) afirma que analisar a densidade da cobertura vegetal, assim como, sua espacialidade, torna-se um importante mecanismo para estudos voltados para análise da degradação da paisagem, gestão e planejamento dos recursos naturais, compreensão dos processos hidrológicos, diagnóstico do dinamismo no espaço agrário e entre outras finalidades, principalmente quando se utiliza a planície costeira, sendo esta um ambiente dotado de uma fragilidade natural.

O princípio de equilíbrio do litoral é definido pelo sistema continente-atmosfera-oceano e modificações em um desses vetores tornam o ambiente instável em seus padrões morfodinâmicos, principalmente os associados aos processos de sedimentação e de erosão (ROSSETI, 2008, SOUZA, 1988). Para Dias (2004) a complexidade sistêmica das zonas costeiras as torna sistemas altamente sensíveis e vulneráveis à erosão.

Em geral conflitos socioeconômicos e ambientais dos diversos tipos de uso da zona costeira brasileira são inevitáveis, e toda esta região enfrenta uma gama crescente e desordenada de pressões com características naturais ou antrópicas. Tal desequilíbrio resulta em uma série de impactos que afetam todo e qualquer tipo de processo que ocorra na faixa litorânea, sendo que tal impacto proporciona uma interferência do equilíbrio do sistema (SZLAFSZTEIN e STERR, 2007).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é analisar a variação da cobertura vegetal da planície costeira do Piauí através do índice de vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a vulnerabilidade ambiental, por meio do sistema de informações geográficas e de metodologia multicritério aditivo.

## MATERIAL E MÉTODO

### Caracterização da Área de Estudo

A planície costeira do estado do Piauí está localizada na porção norte do litoral piauiense e no nordeste setentrional do Brasil. Apresenta uma linha de costa de 66 km no sentido Leste-Oeste, que vai desde a baía das Canárias (no Delta do Parnaíba), até o limite com Ceará, na baía formada na foz dos rios Ubatuba e Timonha. No sentido sul-norte ela se localiza entre o Grupo Barreiras e o Oceano Atlântico (BAPTISTA, 1975, CEPRO, 1996).

A zona costeira piauiense aparece como uma área de grande potencial turístico no qual vem sendo alvo de ocupação desordenada, especulação imobiliária, agropecuária entre outros. Incluídas nessas áreas encontra-se os municípios litorâneos de Parnaíba, Luís Correia e Cajueiro da Praia e a Ilha Grande.

Na região predominam sedimentos Terciários do Grupo Barreiras e os sedimentos Quaternários representados pelos depósitos de praias, eólicos, marinhos e lagunares e depósitos colúvio-aluvionares.

As unidades geomorfológicas que compõem a área compreendem os relevos de agradação, onde predominam os processos deposicionais, este que por sua vez podem ser do tipo continental (planície fluvial) ou litorâneo (planície costeira, as planície Flúvio-marinha, planícies colúvio-alúvio-marinhas, e as planícies flúvio-lagunares), e em relevos de degradação (Tabuleiro), onde predominam os processos erosivos.

As unidades pedológicas, segundo Jacomine (1987) presentes na área de estudo são as areias quartzosas marinhas (AM), e areias quartzosas (AQ9) os solos indiscriminados de mangues (SM), os Solonchak, (SK), os Solonetz-Solodizado (SSI), os Latossolos Amarelos (LA29), os Podzólicos vermelho-amarelo (PV6) e os Planossolos (PL4).

A vegetação se desenvolve na praia, nas dunas, no manguezal, ao longo dos cursos de água e nos tabuleiros, apresentando diferenciações decorrentes das variações na composição edáfica e profundidade do lençol freático. A citar, algumas espécies pioneiras de estrato herbáceo (gramíneas), vegetação litorânea de porte arbóreo arbustivo e herbáceo arbustivo, vegetação de mangue, altamente especializada, suportando elevado nível de salinidade, vegetação ciliar, principalmente carnaúbas que se encontram fortemente alteradas.

### Procedimentos metodológicos

Para o desenvolvimento do trabalho partiu-se desde o levantamento bibliográfico acerca da área de estudo, a copilação de mapas bases, visitas a campo e de técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto.



Para a geração do índice de vegetação por diferença Normalizada (NDVI), sendo este expresso pela razão entre a diferença da média da reflectância do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (R) e a soma dos mesmos canais, tendo-se assim a expressão:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

Onde:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NIR = banda do infravermelho próximo

R = banda do vermelho

Foram utilizadas as bandas dos sensores Landsat-7 ETM para o ano de 1999 e Landsat-8 OLI, para o ano de 2014, e manipuladas através da calculadora raster através do software ArcGIS 10.1. Dessa forma, o produto do NDVI pode explicar as propriedades espectrais da vegetação, onde o cálculo do índice é feito a partir da diferença entre as refletâncias das bandas 4 (infravermelho próximo) e 3 (visível-vermelho) dividido pela soma das refletâncias dessas duas bandas. O resultado da combinação varia de -1 a 1, de modo que quanto mais próximo do 1, maior indício de presença de vegetação, e quanto mais próximo do -1, maior indício de presença de solo exposto.

Para o estudo da vulnerabilidade natural da planície costeira piauiense foram utilizadas as bases de dados, IBGE e CPRM em formato “shapefile”, imagens de satélite Landsat ETM 7, para o ano de 1999 e Landsat OLI 8 para o ano de 2014. Para elaboração dos mapas temáticos utilizou-se os softwares ArcGIS 10.1. Foram produzidos mapas de geologia, geomorfologia, e uso e cobertura da terra. Os dados de pedologia foram associados às unidades geomorfológicas.

Na interpretação visual das imagens de satélite foram utilizadas diferentes composições de bandas, onde se definiu as áreas homogêneas sob uma visão integrada dos condicionantes físicos e antrópicos. As atividades de campo tiveram a finalidade de reconhecimento da área, verificar os tipos de uso e cobertura da terra, detectar tipos de degradação, os processos de erosão, reconhecimento in loco das unidades de relevo, validar as informações dos mapas temáticos, e dados verificados nas cartas imagens. Para registrar as constatações da área utilizou-se máquina fotográfica e GPS (Sistema de Posicionamento Global).

O método adotado para o desenvolvimento da pesquisa foi adaptado da proposta de Crepani et al. (1996) que visa à elaboração de mapas da vulnerabilidade à erosão fundamentada no conceito de Ecodinâmica de Tricart, (1977). Na metodologia descrita por Crepani et al. (1996), utilizam-se de forma integrada os mapas temáticos dos diversos componentes ambientais, geologia, geomorfologia, pedologia, e uso do solo.

Para Crepani et al. (1996) a análise Morfodinâmica das unidades pode ser feita a partir dos princípios da Ecodinâmica que define uma relação entre os processos de morfogênese e Pedogênese onde ao predominar a morfogênese prevalecem os processos erosivos modificadores das formas de relevo, e ao predominar a Pedogênese prevalecem os processos formadores de solos. Neste método além de estabelecer esta relação, ainda utiliza-se de informações obtidas a partir das imagens de satélites para estudos integrados.

Destá forma, Crepani et al. (1996) para expressar a vulnerabilidade natural à erosão é realizada à atribuição de valores de estabilidade para cada unidade. Seguindo esta metodologia são atribuídos valores de vulnerabilidade (relativos e empíricos) a cada tema analisado. Tais valores consideram os processos que influenciam no desenvolvimento da Pedogênese e/ou morfogênese, convencionados nas seguintes classes: estável, moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável. Esse modelo é aplicado a cada tema individualmente (geologia, pedologia, geomorfologia, e uso e cobertura da terra). As unidades mais estáveis apresentarão valores mais próximos de 1,0 as intermediárias ao redor de 2,0 e as unidades de paisagem mais vulneráveis estarão próximas de 3,0, conforme descrita na Tabela 1.

**Tabela 1.** Vulnerabilidade das unidades de paisagem natural com base em Tricart (1977)

<b>Unidade</b>	<b>Relação Pedogênese/Moforgênese</b>	<b>Valor</b>
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio entre Pedogênese e a Moforgênese	2,0
Instável	Prevalece a Moforgênese	3,0

**Fonte:** Crepani et al. (1996)

Com os valores atribuídos para cada unidade de paisagem de cada tema reinterpretado sobre as imagens de satélite, e a identificação de unidades em que a morfogênese prevalece e que a Pedogênese prevalece ou ainda as intermediárias, é realizada a transformação para o campo numérico onde são feitas as integrações destes mapas através da Álgebra de Mapas.

Para a classificação da vulnerabilidade natural da planície costeira piauiense são utilizadas cinco classes que possuem a representação cartográfica a partir da combinação das três cores aditivas primárias (azul, verde e vermelho). Após analisar os processos que influenciam no desenvolvimento da morfogênese e da Pedogênese, e classificá-los em cinco intervalos de acordo com os índices alcançados, a representação de cada tema foi expressa conforme o quadro 1 a seguir.



**Quadro 1.** Classes temáticas de Vulnerabilidade Natural

<b>Grau de Vulnerabilidade</b>	<b>Intervalo de Classe</b>	<b>Cores das classes</b>
Estável	1,0 -1,3	
Moderadamente Estável	1,4-1,7	
Medianamente Estável Vulnerável	1,8-2,2	
Moderadamente Vulnerável	2,3-2,6	
Vulnerável	2,7-3,0	

**Fonte:** Adaptado de Crepani et al (1996)

Dessa forma, este estudo está fundamentado na interpretação de produtos de sensoriamento remoto, visitas a campo e consulta à bibliografia disponível. Ele pode ser dividido em duas partes: a primeira, que envolve o mapeamento das unidades temáticas e a confecção dos mapas de Vulnerabilidade Natural (mapa de meio físico) e posteriormente cruzado com o mapa de uso e cobertura da terra, obtendo-se então o mapa de Vulnerabilidade Ambiental.

A definição dos pesos da vulnerabilidade para cada tema (Geologia, Pedologia, Geomorfologia e Uso e cobertura da terra), seguiu critérios estabelecidos por Tagliani (2013), Crepani et al. (2001) e Ross (1994), mas adaptados empiricamente a realidade e a escala de análise da área de estudo.

## **Geologia**

O critério utilizado para definição dos graus de vulnerabilidade foi a idade litológica. Quanto mais antiga, menor a vulnerabilidade e quanto mais recente, maior seu grau de vulnerabilidade. Dessa forma toda a área de estudo é composta por sedimentos do Quaternário e Terciário, trazendo uma grande homogeneidade aos valores, sendo caracterizados de vulnerabilidade moderada a muito alta. A tabela 2 descreve a distribuição dos graus de vulnerabilidade para a geologia.

**Tabela 2.** Graus de Vulnerabilidade da classe temática Geologia

<b>MAPA TEMÁTICO/GEOLOGIA</b>	<b>GRAU DE VULNERABILIDADE</b>
<b>Depósitos praias marinhas</b>	3,0
<b>Depósitos praias marinhas e eólicos</b>	2,5
<b>Depósitos eólicos não vegetados</b>	3,0
<b>Depósitos eólicos vegetados</b>	2,5
<b>Depósito Flúvio marinho</b>	3,0

MAPA TEMÁTICO/GEOLOGIA	GRAU DE VULNERABILIDADE
Terraço marinho	2,5
Depósitos aluviais de planície de inundação	2,3
Depósitos Flúvio lacustre	2,3
Grupo Barreiras	2,0

Fonte: organizado pelos autores.

### Pedologia

O estabelecimento deste critério leva em consideração que a maior ou menor suscetibilidade de um solo não sofrer os processos erosivos da morfogênese, depende de diversos fatores e os mais importantes são: estrutura do solo, tipo e teor de argilas, permeabilidade e profundidade do solo e a presença de camadas impermeáveis. De acordo com Crepani et al (2001) a principal característica considerada para se estabelecer classes de vulnerabilidade para os solos é seu grau de desenvolvimento ou maturidade (Tabela 3).

**Tabela 3.** Graus de Vulnerabilidade da classe temática Pedologia.

MAPA TEMÁTICO/PEDOLOGIA	GRAU DE VULNERABILIDADE
Gleissolos	3,0
Neossolo Quartzarêncio	2,7
Neossolo Flúvico + Gleissolos	2,4
Argissolos, Latossolos, Neossolo Quartzarênico	1,3
Neossolo Quartzarênico Hidromórficos	2,8

Fonte: organizado pelos autores

Dessa forma podemos obter a relação dos temas de geologia e pedologia até então apresentados na tabela 4 que segue:

**Tabela 4.** Relação dos Temas Geologia e Pedologia

Grau de Vulnerabilidade	Área (km <sup>2</sup> ) para geologia		Área (km <sup>2</sup> ) para pedologia	
		%		%
<b>Estável</b>	367,83	40,62	367,83	40,62
<b>Alta</b>	258,86	28,58	293,42	32,40
<b>Muito Alta</b>	278,74	30,78	244,18	26,96

Fonte: organizado pelos autores

Na tabela acima observa-se a ausência de classes para os graus de Muito baixa e baixa para os temas. Na figura 1 se pode analisar os perfis de solos representativos para algumas das unidades mapeadas.



**Figura 1.** Perfis representativos dos solos encontrados na área de estudo



Perfis de Solos: A: Neossolo Quartzarênico (solos com presença de lençol freático elevado, imperfeitamente ou mal drenados) B: Gleissolo Sáfico (solos constituídos por material mineral glei iniciando-se dentro dos primeiros 150cm da superfície, imediatamente abaixo do horizonte A ou E); C: Argissolo Amarelo (solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo de A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta conjugada com saturação por bases e/ou carácter alítico); D: Neossolo Flúvico de carácter vértico (solos derivados de sedimentos aluviais e que apresentam carácter flúvico. Horizonte Glei, ou horizonte de coloração pálida, ou variegada ou com mosqueado abundantes ou comuns de redução, se ocorrem abaixo do horizonte A, devem estar a profundidades superiores a 150 cm.

## Geomorfologia

A ponderação dos graus de vulnerabilidade para a geomorfologia também foi estabelecido por Crepani et al. (2001). Apesar da indicação de que se pode inferir os diferentes graus de vulnerabilidade no relevo por índices morfométricos, não foi utilizada essa técnica de trabalho, em função dos objetivos do mapeamento geomorfológico. Assim considerou-se análises empíricas baseadas em interpretações lógicas para a determinação dos graus de vulnerabilidade.

Crepani et al (2001) sugere que para as formas de origem estrutural e denudacional caracterizadas por relevos fortemente ondulados a escarpados, dissecados em cristas, ravinas e pontões, o mais provável é que os valores de vulnerabilidade variem de 2,4 a 3,0. Quanto as formas de acumulação, como as planícies e terraços, áreas de relevo plano e estáveis, usa-se o valor 3,0 por serem muito instáveis. A tabela 5 descreve a distribuição dos pesos de vulnerabilidade para a geomorfologia.

**Tabela 5.** Graus de Vulnerabilidade da classe temática Geomorfologia

MAPA TEMÁTICO/GEOMORFOLOGIA	GRAU DE VULNERABILIDADE
<b>Cordão Arenoso</b>	3,0
<b>Planície Eólica</b>	2,4
<b>Dunas Móveis</b>	3,0
<b>Dunas estabilizadas</b>	2,5
<b>Paleodunas</b>	2,5
<b>Planície Flúvio Marinha</b>	3,0
<b>Terraço Marinho</b>	2,8
<b>Planície e terraço fluvial</b>	2,6
<b>Planície lacustre</b>	2,6
<b>Tabuleiro</b>	1,0

Fonte: organizado pelos autores

### Uso e cobertura da terra

As diversas formas de uso e cobertura da terra e a distribuição vegetal classificam-se como parâmetros fundamentais para a consecução de modelamentos com vistas à identificação de áreas vulneráveis. A ação humana invariavelmente altera as relações de equilíbrio natural de um sistema ambiental, diminuindo ainda mais a resiliência de um ambiente identificado, por exemplo, como de alta vulnerabilidade ambiental.

A ação antrópica na natureza é um fator de destaque na definição dos graus de vulnerabilidade de uma determinada área, pois pode ser um agente que favorece a morfogênese, indicando dessa forma uma maior instabilidade de uma área e, por conseguinte, uma maior vulnerabilidade ambiental. Dessa forma, o homem como agente dinâmico e indutor da condição ambiental de um sistema, tem grande relevância nos modelamentos com vistas à identificação de áreas vulneráveis, sensíveis ou de riscos.

A identificação e mapeamento das diversas classes de uso e cobertura da terra, considerando os pesos aos graus de estabilidade descritos na tabela 6 a seguir.

**Tabela 6.** Graus de Vulnerabilidade da classe temática Uso e cobertura da terra

MAPA TEMÁTICO/USO E COBERTURA DA TERRA	GRAU DE VULNERABILIDADE
Cordão Arenoso	3,0
Dunas Móveis	3,0
Corpo d'água	3,0
Pasto Limpo	2,0
Pasto Sujo	2,0
Mangue	3,0
Vegetação Aninga	2,5
Vegetação Densa	1,0
Vegetação Rasteira	1,8
Solo exposto	3,0
Área inundável	3,0
Área Urbana	3,0

Fonte: organizado pelos autores

## RESULTADO E DISCUSSÃO

### Análise da cobertura vegetal através do NDVI

A análise da cobertura vegetal foi realizada através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um índice que permite identificar a presença de vegetação verde na superfície e caracterizar sua distribuição espacial, como também identificar sua evolução no decorrer do tempo.

Os dados obtidos para a análise estão dispostos na tabela 7. Foram utilizados dados de sensores remotos da série Landsat- 8 OLI e Landsat- 7 ETM, nos meses de outubro de 2015 e agosto de 1999 respectivamente.

**Tabela 7.** Produtos de sensores remotos utilizados com os respectivos intervalos em anos

Plataforma orbital /sensor	LANDSAT 7 / ETM	LANDSAT 8 / OLI
Data de aquisição	02/08/1999	09/10/2015

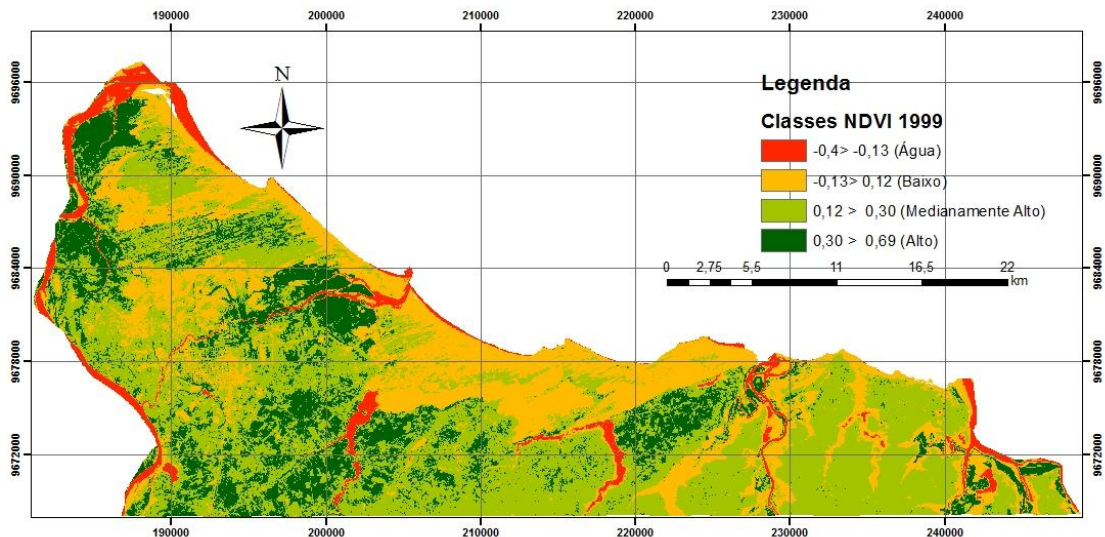
Referências espaciais: Coordenadas UTM / Zona 24S - Datum WGS 84.  
Órbita/ponto da imagem: 219/62

Nos mapas que seguem observa-se que a refletância na área em estudo para o ano de 1999, variou entre os valores de -0,4 a 0,69, onde os corpos d'água estão sendo representados pela cor vermelha no mapa, os intervalos de -0,13 a 0,12, foi classificada como uma área de baixa cobertura vegetal, que na



imagem, corresponde à planície litorânea, as áreas de dunas, solo exposto e as áreas urbanizadas. Já os índices de intervalo entre 0,12 a 0,30 representado pela coloração verde claro, correspondem à cobertura medianamente alta, representada pela caatinga arbustiva e as áreas com índices altos correspondem às áreas de manguezais e vegetação mais densa (Figura 2).

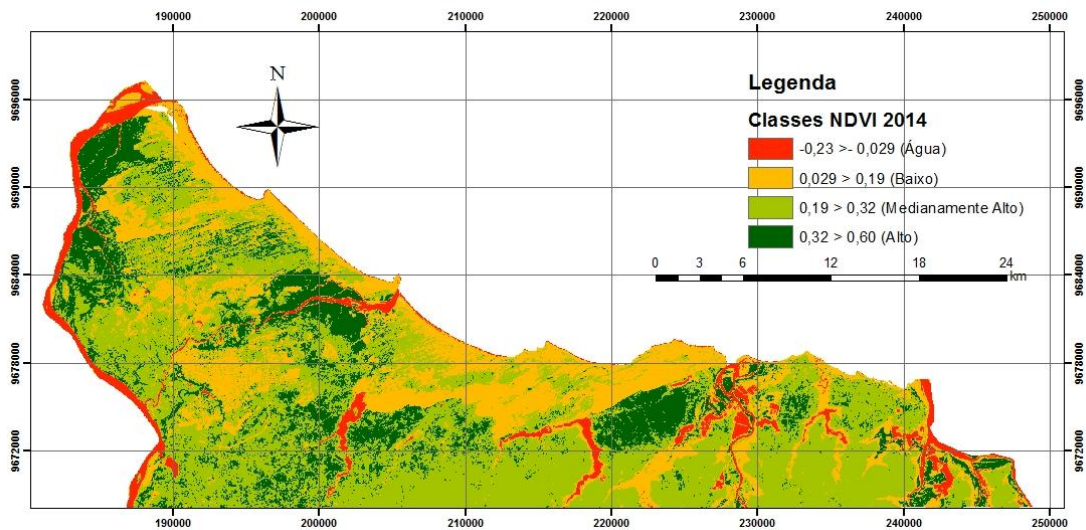
**Figura 2.** Classes de NVDI para o ano de 1999



Fonte: organizado pelos autores

Para o ano de 2014, os índices variaram de -0,23 e 0,60 observa-se um aumento da área indicada pelo índice baixo, correspondente ao solo exposto, representado principalmente pelo aumento da macha urbana no município de Parnaíba, bem como algumas áreas de dunas e áreas de coberturas vegetais substituídas para cultivo. Houve redução do índice para as áreas de vegetação densa e manguezal. Observa-se ainda o aumento das áreas de carcinicultura, na porção leste da imagem (Figura 3).

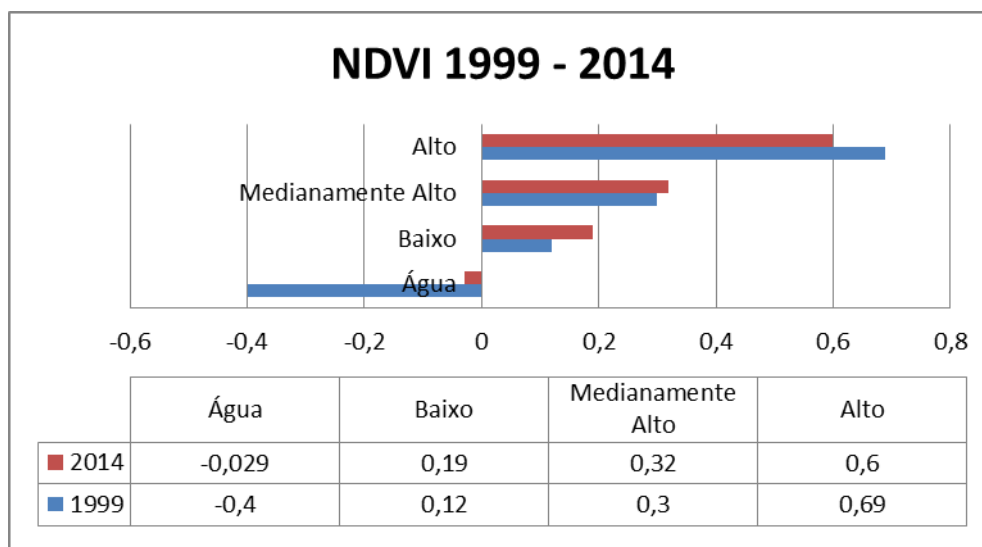
**Figura 3.** Classes de NDVI para o ano de 2014



Fonte: organizado pelos autores

Na figura 4 que segue é possível analisar a relação entre os dois índices mapeados para a área de estudo. Houve uma diminuição em comparação com todos os índices, onde as a cobertura vegetal original, foi e continua sendo suprimida pelas atividades antrópicas, através da ocupação desordenada do espaço litorâneo, com desmonte de dunas e aterramento de lagoas para ocupação. Cabe ressaltar que a diferenciação dos resultados para os corpos d'água no ano de 1999 e 2015, é resultado de boa parte da faixa de praia do município de Ilha Grande, ter tido resultado como água e consequentemente ausência de vegetação, o que pode ser explicado devido as oscilações do nível de maré para o período.

**Figura 4.** Variação da cobertura vegetal





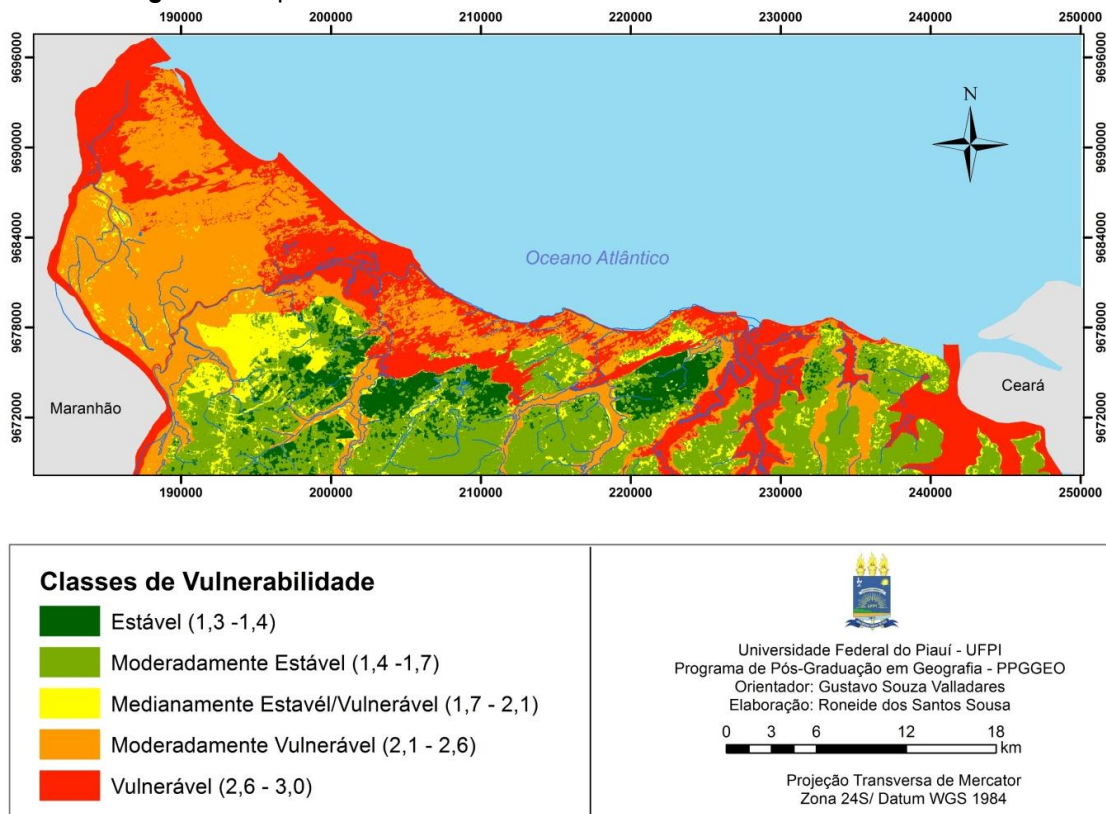
## Análise da Vulnerabilidade Ambiental da Planície Costeira do Piauí

Para a obtenção do mapa de vulnerabilidade ambiental foram realizados cruzamentos, dos mapas do meio físico (geologia, pedologia e geomorfologia) e Uso e cobertura da terra, este último fazendo referência às pressões antrópicas presentes na planície costeira piauiense. Os valores encontrados no mapa de Vulnerabilidade Natural refletem a susceptibilidade do ambiente visto a condições de estabilidade morfopedogênicas da área. Dessa forma os valores permitiram indicar a importância de qualquer fator/classe em relação aos demais.

As análises das unidades geológicas, geomorfológicas e pedológicas mapeadas permitem concluir que a região é fortemente influenciada pela ocupação desordenada das planícies de maré e flúvio marinha e áreas de mangue por parte das salinas e tanques de carcinicultura.

A integração das informações temáticas feitas a partir de cálculos algébricos entre diversos mapas temáticos possibilitou estabelecer os parâmetros para a criação do mapa final de Vulnerabilidade Ambiental da área de estudo, avaliando a ponderação dos valores que tentassem indicar de forma mais fiel possível, os graus de fragilidade dos ambientes analisados, considerando suas influências antrópicas, que podem distinguir ou influenciar a maior ou menor vulnerabilidade da área. Dessa forma, o mapa de vulnerabilidade ambiental é apresentado na Figura 5.

**Figura 5.** Mapa de Vulnerabilidade Ambiental da Planície Costeira do Piauí





A área de vulnerabilidade natural muito alta corresponde a Planície Flúvio-marinha, manguezal, campos de dunas e zona de praia. Porém, em termos de vulnerabilidade ambiental a Planície Flúvio-marinha apresenta grau muito alto nas áreas ocupadas por salinas e tanques de carcinicultura e médio nas demais porções. A área de Tabuleiros Costeiros tem vulnerabilidade ambiental baixa, com exceção das áreas ocupadas pela agricultura. Isso demonstra a grande fragilidade natural da área, corroborada pela intensa ação dos processos costeiros na região. No quadro 2 é feita uma síntese dos graus de vulnerabilidade para a planície.

**Quadro 2:** Síntese da vulnerabilidade e condicionantes físicos

Vulnerabilidade Ambiental	Geologia/ Geomorfologia	Solos	Cobertura Vegetal	Ecodinâmica
<b>Estável</b>			Mata de Tabuleiros e vegetação antropizada densa	Áreas naturalmente estáveis, onde predominam os processos pedogenéticos. Não há risco de inundações.
<b>Moderadamente Estável</b>	Tabuleiros litorâneos do Grupo Barreiras	Areias quartzosas marinhas (AM), Latossolos Amarelos (LA29), Podzólicos vermelho-amarelo (PV6).	Mata de Tabuleiros e vegetação antropizada densa	Áreas naturalmente estáveis, mas que já apresentam morfodinâmica mais acentuada. Não há risco de inundações
<b>Medianamente Estável/Vulnerável</b>				Morfodinâmica mediana, mas com tendência a vulnerabilidade alta. Risco de inundação excepcional
<b>Moderadamente Vulnerável</b>	Dunas Fixas, Planície fluvial e planície lacustre.	Solonetz-Solodizado (SSI)	Vegetação Subpene-nifolia de Dunas e Vegetação Pioneira Psamófila e Mata Ciliar	Morfodinâmica alta. Predomínio dos processos erosivos. Risco de erosão marinha, soterramentos, deslizamentos e inundações sazonais.
<b>Vulnerável</b>	Dunas Móveis, Planície fluvio marinho, Terraços Marinhos e Faixa	Solos indiscriminados de mangues (SM) Areias	Vegetação de Mangue	

de Praia, Delta e vcansi fluviais (de- pósitos Eólicos Litorâneos)	quartzosas marinhas (AM), Solonchak, (SK),
---	--

Grau Vulnerável é a classe de maior vulnerabilidade ambiental, e possui uma representação significativa dentro da área de estudo. Ficam localizadas na faixa costeira, concentrando-se nas áreas de contato entre a planície de maré, as dunas móveis, delta, canais fluviais e os manguezais. As dunas móveis e frontais, com solo desnudo ou de neossolos quartzarênicos parcialmente recobertas por vegetação de restinga herbácea rala, enquadraram-se nessa categoria. A vulnerabilidade alta das praias se concentrou em todas as áreas da área de estudo.

Grau Moderadamente Vulnerável corresponde as dunas fixas, compostas de neossolos quartzarênicos e vegetação de restinga arbustiva mais densa, estão nessa categoria, bem como as áreas dos entornos relativas às principais lagoas da planície costeira piauiense (Portinho e Sobradinho), as áreas correspondentes a planície fluvial do rio Parnaíba, também enquadra nesta classe.

Grau Medianamente Estável/Vulnerável, esta classe corresponde às áreas de tabuleiros, bem como pode ser observado no mapa fazem parte a área que corresponde à zona urbana de Parnaíba, por sofrer mais impacto do que as terras rurais da região.

Grau Moderadamente Estável, esta classe também possui expressiva representação na área. É composta por solos concrecionários e também por Latossolos, formados pelos sedimentos mais antigos e mais estáveis na área de estudo (Grupo Barreira) com coberturas vegetais de carrasco e capoeiras com alguma alteração por serem utilizadas com pastagem extensiva.

Grau Estável, esta classe possui grande representatividade na área. A região é composta por Latossolos, sendo estes, segundo Crepani et al. (2001), unidades de paisagens naturais estáveis, tendo como principal limitação o uso agrícola devido à baixa fertilidade natural. Possui cobertura vegetal menos alterada.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia empregada foi adequada e classificou as terras quanto a sua vulnerabilidade, indicando espacialmente os pontos mais frágeis e que necessitam de preservação. O mapeamento da Vulnerabilidade Ambiental permitiu constatar as modificações impostas pelo homem sobre os ecossistemas, bem como através da análise da variabilidade da cobertura vegetal para os anos de 1999 e 2014, onde foi possível perceber em grande parte da área a supressão da vegetal, principalmente para a urbanização. No recorte espacial proposto por este trabalho, a influência antrópica é ressaltada, principalmente, nos pontos em

que há aglomerações humanas ou atividades antrópicas. A metodologia empregada é representativa e permite uma análise espacial e ambiental, possibilitando a indicações de áreas mais apropriadas para certas atividades, de modo que recaiam sobre a natureza os menores impactos possíveis.

Os procedimentos metodológicos adotados permitiram a elaboração do mapa de vulnerabilidade para a planície costeira do Piauí. Através do mapeamento podemos concluir que uma parte significativa da planície costeira piauiense, concentra-se vulnerável, correspondendo as áreas próximas as praias, os canais fluviais, as áreas de manguezais. Vale lembrar que as atividades de criação de camarão, carcinicultura, encontra-se dentro dessas áreas, o que merece atenção especial, visto o crescimento dessa atividade em 10 anos. Torna-se importante entender quais impactos essas atividades podem causar aos ecossistemas próximos.

A maior porção que correspondem aos tabuleiros costeiros versa sobre grau estável e moderadamente estável, visto que nesse momento a cobertura vegetal irá influenciar nessa diferenciação, há momentos em que a vegetação permanece rala e em outras áreas apresenta-se bem mais densa, o que minimiza os impactos de erosão.

## REFERÊNCIAS

- ACSELRAD, H. **Vulnerabilidade Ambiental, Processos e Relações**. II Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais, FIBGE, Rio de Janeiro, 2006.
- ALMEIDA JUNIOR, M. V. C. ARAÚJO DOS ANJOS, J. A. S, SAMPAIO, F. J. Mapeamento geológico da zona costeira limitada pela foz do rio Pojuca e a praia de Imbassaí, Mata de São João – **Revista do Instituto de Geociências - USP**, Sér. cient., São Paulo, v. 13, n. 3, p. 4-50, Setembro 2013
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M.V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/livros.html>. Acesso em: março de 2005.
- CAVALCANTI, A, P. B. **Impactos e condições ambientais da zona costeira do Estado do Piauí**. Rio Claro: UNESP, 2000,356. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista – UNESP, Rio Claro, 2000.
- CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CREPANI, E; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. **Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico Econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.
- CUTTER, S.L. **Environmental risks and hazards**. London: Prentice-Hall, 1994
- Dal Cin R. & Simeoni U. 1994. A model for determining the classification, vulnerability and risk in the Southern Coastal Zone of the Marche (Italy). **Journal of Coastal Research**, 10:18-29.
- DIAS, J. M. A. **Evolução da Zona Costeira Portuguesa: Forçamentos antrópicos e naturais**. Encontros Científicos. Portugal, 2004.
- FUNDAÇÃO CEPRO. **Macrozoneamento Costeiro do Estado do Piauí: Relatório Geoambiental e Socioeconômico**. Teresina: s.e, 1996. 221p. ilustr.1984.



Volume Especial da Revista da Casa da Geografia de Sobral, Sobral/CE, em parceria com o V Congresso Brasileiro de Educação Ambiental Aplicada à Gestão Territorial, v. 18, n. 2, p. 82-99, Set. 2016, <http://uvanet.br/rcgs>. ISSN 2316-8056 © 1999. Universidade Estadual Vale do Acaraú. Todos os direitos reservados.

- LIMA, E. Q. de. AMARAL, R. F. do. Vulnerabilidade da Zona Costeira de Pititinga/RN, Brasil. **MERCATOR**, Fortaleza, v. 12, n. 28, p. 141-153, mai./ago. 2013.
- MELO, E. T. **Diagnóstico Físico Conservacionista da Microbacia Hidrográfica do Riacho dos Cavalos – Crateús/CE**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências. Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Fortaleza, 2008.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Programa Zoneamento Ecológico-Econômico: Diretrizes Metodológicas para Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil**, Ministério do Meio Ambiente – Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável, Brasília – DF, 2001
- MOTA, L. H. da S. de O. VALLADARES, G. S. COELHO, R. M. CRISCUOLO, C. Vulnerabilidade à degradação dos solos do município de Campinas, SP. **Geografia** (Londrina) v. 22, n. 3. p. 65-79, set./dez. 2013
- RADAMBRASIL. 1973. SA.23 São Luís e parte da folha SA 24 Fortaleza: **Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Ministério das Minas e Energia. Levantamento de Recursos Naturais v. 25. Rio de Janeiro. 639 p.
- RIVAS, Margareth P. (coord). **Macrozoneamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba**. Rio de Janeiro: IBGE, 1996.
- ROSSETTI, D. de F. **Ambientes Costeiros**, Capítulo de livro, cap. 9. In: FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. Oficina de Textos, São Paulo/SP, 2008.
- ROSSETTI, D. F. **Ambientes Costeiros**. In: Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais, FLORENZANO, T. G (Org). São Paulo, Oficina de Textos, 2008, p. 247 – 283.
- SOUZA, M. J. N. Contribuição ao Estudo das Unidades Morfo-Estruturais do Ceará. **Revista de Geologia** (Fortaleza), Fortaleza, v. 1, 1988
- SPÖRL, C; ROSS, J. L. S. **Análise Comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicação de três modelos**. GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, Nº 15, pp.39-49, 2004.
- TAGLIANI C.R.A. 2002. **Técnica para avaliação da vulnerabilidade de ambientes costeiros utilizando um Sistema Geográfico de Informações**. Porto Alegre, UFRGS. Disponível em: <<http://www.fatorgis.com.br>>. Acesso em: 10 nov. 2014
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977. 91 p.