

Capítulo IV

DETERMINAÇÃO DO GRAU DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DOS SUBSISTEMAS COSTEIROS DO CUMBUCO (CAUCAIA-CE, BRASIL)

Antônio Rodrigues dos Santos Neto
Davis Pereira de Paula



DETERMINAÇÃO DO GRAU DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DOS SUBSISTEMAS COSTEIROS DO CUMBUCO (CAUCAIA-CE, BRASIL)

Antônio Rodrigues dos Santos Neto¹ | Davis Pereira de Paula²

¹ Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Av. Dr. Silas Munguba, 1700-Itaperi, Fortaleza-ce, CEP: 60714-903. e-mail: toin.rodrigues@aluno.uece.br

² Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, Av. Dr. Silas Munguba, 1700-Itaperi, Fortaleza-ce, CEP: 60714-903. e-mail: davis.paula@uece.br

RESUMO: O termo vulnerabilidade trata de múltiplos aspectos (e.g., ambiente físico, social, econômico) referem-se à vulnerabilidade ambiental ao grau em que o ambiente físico é incapaz de lidar com as mudanças naturais e antrópicas e ao nível de susceptibilidade dos lugares, infraestruturas ou ecossistemas do ambiente com a presença de fatores naturais como: geologia, geomorfologia, solo, vegetação e clima. Portanto, o estudo objetiva identificar e avaliar a vulnerabilidade ambiental dos subsistemas costeiros do litoral do Cumbuco (Caucaia-Ce, Brasil). Em termos metodológicos os subsistemas ambientais foram categorizados a partir das indicações estabelecidas pelo Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEEC) do Estado do Ceará de 2020. A vulnerabilidade foi determinada a partir da análise integrada dos seguintes atributos: geomorfologia (R); geologia(G); solos (S); vegetação (Vg) e Clima (C). A interação desses atributos gera um cálculo- $V=(G+R+S+Vg+C)/5$, em que a vulnerabilidade é classificada em cinco faixas, variando de um ambiente estável até um ambiente mais vulnerável. Com base nos resultados foram identificados 12 subsistemas costeiros, sejam eles: Faixa Praial, Dunas Fixas, Dunas Móveis, Planície Flúvio Lacustre, Planície de Deflação Ativa, Planície de Deflação Estabilizada, Alagado, Lagoa/Laguna, Rio, Restinga, Tabuleiro Pré-Litorâneo e o meio Urbano. O sistema mais representado é a parte Urbana ocupando uma área de 2,744km², enquanto o menos representativo, é a Restinga com 0,001 km². Dessa forma, 58% da área de estudo se encontram com um ambiente vulnerável, onde estão presentes Dunas Fixas e Móveis, Superfície de Deflação Ativa e Estabilizada e Faixa Praial. Os 21% de seu território possuem um ambiente moderadamente vulnerável, contendo subsistemas como: Tabuleiro Pré-Litorâneo e Ocupação Urbana. Já os 21% restantes correspondem à ambientes vulneráveis estáveis, moderadamente estáveis e moderadamente estáveis, onde pode encontrar subsistemas como: Lagoas, Rios, Planícies Flúvio Lacustre, Alagado, Restinga e Tabuleiro Pré-Litorâneo. Portanto, almeja-se o monitoramento dessas regiões mais frágeis, e o controle do crescimento imobiliário, junto com o Poder Público Municipal da Caucaia e a sociedade civil.

Palavras-Chave: Meio Ambiente, Subsistemas, Corpos Dunares, Lagoas Costeiras

DETERMINATION OF THE DEGREE OF ENVIRONMENTAL VULNERABILITY OF COASTAL SUBSYSTEMS OF CUMBUCO (CAUCAIA-CE, BRAZIL)

ABSTRACT: The term vulnerability deals with multiple aspects (e.g., physical, social, economic environment) referring to environmental vulnerability to the degree to which the physical environment is unable to cope with natural and anthropic changes and to the level of susceptibility of places, infrastructures or ecosystems of the environment with the presence of natural factors such as: geology, geomorphology, soil, vegetation and climate. Therefore, the study aims to identify and assess the environmental vulnerability of coastal subsystems along the coast of Cumbuco, (Caucaia-Ce, Brazil). In methodological terms, the environmental subsystems were categorized based on the indications established by the Ecological-Economic Zoning (ZEEC) of the State of Ceará in 2020. Vulnerability was determined from the integrated analysis of the following attributes: geomorphology (R); geology(G); soils (S); vegetation (Vg) and Climate (C). The interaction of these attributes generates a calculation – $V=(G+R+S+Vg+C)/5$, in which vulnerability is classified into five bands, ranging from a stable environment to a more vulnerable environment. Based on the results, 12 coastal subsystems were identified, namely: Praial Belt, Fixed Dunes, Moving Dunes, Fluvial Lacustrine Plain, Active Deflation Plain, Stabilized Deflation Plain, Flooded, Lagoon/Laguna, River, Restinga, Pre-Coastal Plateau and the urban environment. The most represented system is the Urban part, occupying an area of 2,744 km², while the least representative is the Restinga with 0,001 km². Thus, 58% of the study area has a vulnerable environment, where Fixed and Mobile Dunes, Active and Stabilized Deflation Surface and Praial Belt are present. The 21% of its territory has a moderately vulnerable environment, containing subsystems such as: Pre-Coastal Tableland and Urban Occupation. The remaining 21% correspond to stable, moderately stable and moderately stable vulnerable environments, where you can find subsystems such as: Lagoons, Rivers, Fluvio Lacustrine Plains, Wetlands, Restinga and Pre-Coastal Plateau. Therefore, the aim is to monitor these more fragile regions, and to control real estate growth, together with the Municipal Government of Caucaia and civil society.

Keywords: Environment, Subsystems, Dune Bodies, Coastal Lagoons

INTRODUÇÃO

Os ambientes costeiros são dinâmicos e complexos, sendo afetados por múltiplos processos (continentais e marinhos). Trata-se de uma área de transição entre as bacias hidrográficas e o mar, em que a vulnerabilidade física, social, econômica e patrimonial pode ser afetada por atividades humanas e repercussões globais (e.g. subida do nível do mar). Nas últimas décadas, a análise da vulnerabilidade foi estabelecida em estudos costeiros, tendo em vista, abordagens integradas e sistêmicas (MATTHEW *et al.*, 2020).

A vulnerabilidade costeira pode ser tratada como um conceito ou um modelo ou uma aplicação que visa identificar pessoas, paisagens e lugares que estão em perigo ou risco. Geralmente, esse tipo de identificação está associado com uma gradação obtida a partir de uma pontuação ou categorização (GHOSH & MISTRI, 2021; KOVALEVA *et al.*, 2022).

Já para KU *et al.* (2021), a vulnerabilidade é um conceito amplo e aplicado a diversos campos do conhecimento. Dessa forma, para o mesmo autor, a vulnerabilidade pode ser descrita ou aplicada a partir da intensidade dos danos provocados por evento. Nesse caso, deve ser considerado o grau de exposição ao perigo e a capacidade de resiliência ambiental ou de resposta civil da sociedade.

Ao se tratar da vulnerabilidade ambiental, alguns autores (VOGEL & BRIEN, 2004; ADGER, 2006) destacam o grau de impacto que o ambiente físico é capaz de suportar com as mudanças naturais e antrópicas impostas. Nesse caso, é imprescindível considerar a suscetibilidade e a fragilidade ambiental na classificação da vulnerabilidade do ambiente.

Na zona costeira, a vulnerabilidade ambiental, em diversos estudos (ANFUSO *et al.*, 2021) está associada com a suscetibilidade a processos naturais e ações antrópicas. É necessária uma abordagem multiriscos e multicritérios na avaliação da vulnerabilidade das zonas costeiras às mudanças climáticas, por exemplo. Também é preciso considerar as mudanças associadas ao uso da terra, pois podem elevar o risco e a vulnerabilidade costeira à erosão.

Em concordância ao parágrafo anterior, BUI-TRAGO *et al.* (2020) e MAZZER (2004) destacam que as vulnerabilidades ambientais podem ser

definidas por características e circunstâncias de um sistema físico, porém sempre será preciso considerar as dinâmicas físico-naturais e territoriais.

De acordo com COSTA *et al.* (2021), a identificação da vulnerabilidade ambiental vem sendo largamente aplicada em estudos diversos no Brasil. Com isso, alguns métodos qualitativos, quantitativos e quali-quantitativos foram desenvolvidos nos últimos 20 anos (THIRUMMURTHY *et al.*, 2022; KU *et al.*, 2021; DENNER *et al.*, 2015). Nesse cenário de múltiplos estudos, é preciso destacar a proposta de CREPANI *et al.* (2001), em que a análise da vulnerabilidade potencial natural é realizada a partir de uma escala de vulnerabilidade.

THIRUMMURTHY *et al.* (2022) realizaram uma avaliação da vulnerabilidade ambiental costeira a partir de multicritérios integrados em um ambiente do Sistema de Informações Geográficas (SIG). A estratégia metodológica foi a avaliação da vulnerabilidade costeira a partir da integração de sete variáveis, que são elas: aumento do nível do mar, elevação costeira, declividade costeira, dias de chuva, taxa histórica da variação da linha de costa, amplitude da maré e a geomorfologia.

KU *et al.* (2021) desenvolveram um estudo sobre a avaliação da vulnerabilidade costeira ao aumento do nível do mar, associado com ondas geradas por tufões na costa da Coreia do Sul. O método trabalhado foi o cálculo dos indicadores de avaliação de vulnerabilidade, utilizando a equação: Vulnerabilidade Costeira = Exposição + Sensibilidade – Capacidade adaptativa. Cada indicador tem uma unidade ponderada para avaliar a vulnerabilidade costeira. Como resultados, com bases nas previsões baseadas no cenário climático, a vulnerabilidade costeira foi avaliada ao longo do tempo desde 2015 até o ano de 2080. Dessa forma, os ambientes costeiros que estavam menos equipados para prevenção de desastres apresentaram uma vulnerabilidade mais alta.

Neste contexto, a vulnerabilidade ambiental em regiões costeiras pode ser compreendida como uma sensibilidade ou capacidade desse ambiente de se recuperar após sofrer danos resultantes de ações naturais e antrópicas. Embora a vulnerabilidade possa ocorrer de forma natural, existem fatores que aumentam essa vulnerabilidade no ambiente.

Diante dos fatores que intensificam a vulnerabilidade ambiental em regiões costeiras, este

trabalho tem como objetivo identificar e analisar a vulnerabilidade ambiental dos subsistemas costeiros do Cumbuco (Caucaia-Ce, Brasil).

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização da área de estudo

O município de Caucaia situado na Região Metropolitana de Fortaleza, localizado em 3°44'10 latitude sul e 38°39'11 longitude oeste, com uma área de 1.222.90Km² onde se encontra o bairro do Cumbuco com uma área de aproximadamente 11,49 km², que está localizado no Litoral Oeste do estado do Ceará a 30 km de Fortaleza, faz divisa com os bairros da Tabuba e a Oeste com a Barra do Cauipe (Figura.1) (IPECE, 2017).

Unidades da Paisagem

A metodologia da determinação do grau da vulnerabilidade ambiental dos subsistemas costeiros, foi adotada com base no trabalho do CREPANI *et al.* (2001) sobre a Vulnerabilidade Potencial Natural (VPN).

No estudo de CREPANI *et al.* (2001), os autores propuseram uma análise baseada em 21 unidades de paisagem, as mesmas foram divididas a partir de sua caracterização morfodinâmica em 5 graus de vulnerabilidade. Na Figura 2 é possível observar a escala de vulnerabilidade proposta pelos autores.

Para analisar a VPN e a Vulnerabilidade Ambiental (VA) das unidades de paisagem é preciso conhecer a sua gênese, constituição física e estágio de evolução. Dados esses fornecidos pela Geologia, Geomorfologia, Solo, Vegetação e Clima. O Uso e

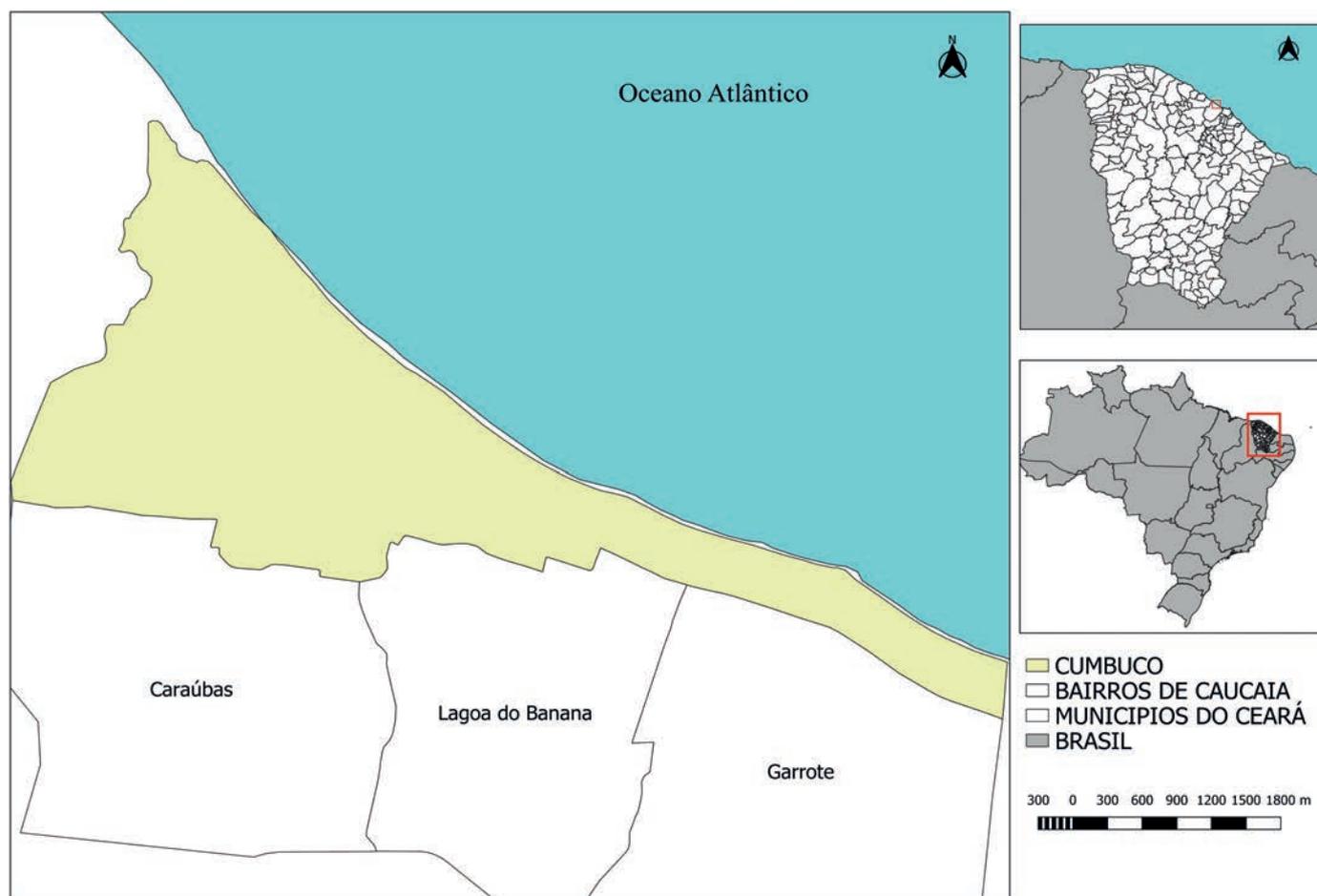


Figura 1 – Mapa de localização do Bairro do Cumbuco-ce.

Fonte: Elaborado pelo autor.

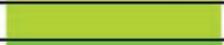
UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
					VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	↑	3,0		VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9			255	51	0	
U3		2,8			255	102	0	
U4	V	2,7		MODERADAM. VULNERÁVEL	255	153	0	
U5	U	2,6			255	204	0	
U6	L	2,5	E		255	255	0	
U7	N	2,4	S	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	204	255	0	
U8	E	2,3	T		153	255	0	
U9	R	2,2	A		102	255	0	
U10	A	2,1	B	MODERADAM. ESTÁVEL	51	255	0	
U11	B	2,0	I		0	255	0	
U12	I	1,9	L		0	255	51	
U13	L	1,8	I	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	I	1,7	D		0	255	153	
U15	D	1,6	A		0	255	204	
U16	A	1,5	D	ESTÁVEL	0	255	255	
U17	D	1,4	E		0	204	255	
U18	E	1,3			0	153	255	
U19		1,2		ESTÁVEL	0	102	255	
U20		1,1			0	51	255	
U21		1,0			0	0	255	

Figura 2 – Escala de Vulnerabilidade das Unidades de Paisagem.

Fonte: Crepani et al. (2001).

Ocupação foi incluído neste trabalho para ressaltar as ações antrópicas sobre as unidades da paisagem. É necessário ser incluídas para que se tenha um retrato fiel do comportamento de cada unidade frente à sua ocupação (CREPANI *et al.*, 1996).

Geologia

Para o tema geologia foi classificado os tipos de rochas presentes na área de estudo, através da malha vetorial obtida no Banco de Dados Ambientais BDIA (2021). As informações foram espacializadas com auxílio do *software* Qgis, em que foi possível organizar os valores da vulnerabilidade para cada classe de rochas presentes na tabela de atributos do vetor, seguindo a proposta do CREPANI *et al.* (2001) representada no Quadro I. Após a organização dos valores, foi utilizada a ferramenta *rasterizar* para converter vetor para *raster* com base nos valores de vulnerabilidade organizados no vetor Geologia.

Geomorfologia

Já na geomorfologia algumas informações foram necessárias – grau de dissecação, amplitude interflúvio e declividade. Na determinação do grau de dissecação do relevo foi utilizado o modelo digital de elevação (MDE) recortado para área de interesse. Nesse caso, foi utilizada a ferramenta *r.fill* para correção da depressão no QGIS. O próximo passo foi usar a calculadora de campo para inverter a topografia da área do *raster* multiplicando por (-1). Posteriormente, aplicou-se a ferramenta *r.fill* novamente sobre o *raster* investido para o cálculo de fluxo, e aplicou-se a ferramenta *r.waltershed* para delimitar as sub-bacias (LIMA, 2018).

Por último, foi convertido para o formato vetorial, já que, a malha vetorial foi utilizada para os processos estatísticos com a ferramenta *estatística zonais* sobre o MDE corrigido sem depressão, criando assim os dados de amplitude altimétrica do relevo, seguindo a metodologia de LIMA (2018). Para

Quadro I – Classes Geológicas e sua Vulnerabilidade.

Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns					
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfibolito Kimberlito, Dunito	1,8	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Filito, Metassiltito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármore	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

determinar o grau de vulnerabilidade foi utilizado os valores presentes no (Quadro II).

Enquanto amplitude interflúvial, foi utilizada a malha vetorial para calcular através da calculadora de campo a área e o perímetro das sub-bacias. Logo após, foi calculado o comprimento médio das

sub-bacias, usando a equação: $(PERIMETRO/2)$. Da mesma forma, foram calculadas as larguras médias das sub-bacias, usando a equação: $(ÁREA/COMPRI-MENTO)$. Por fim, a classificação dos valores de vulnerabilidade foi seguindo o método de CREPANI *et al.* (2001), representados aos valores do (Quadro III).

Quadro II – Grau de Dissecção do Relevo e sua Vulnerabilidade.

Amplitude Altimétrica (m)	Vulner./ Estabilidade	Amplitude Altimétrica (m)	Vulner./ Estabilidade	Amplitude Altimétrica (m)	Vulner./ Estabilidade
<20	1,0	77 - 84,5	1,7	141,5 - 151	2,4
20 - 29,5	1,1	84,5 - 94	1,8	151 - 160,5	2,5
29,5 - 39	1,2	94 - 103,5	1,9	160,5 - 170	2,6
39 - 48,5	1,3	103,5 - 113	2,0	170 - 179,5	2,7
48,5 - 58	1,4	113 - 122,5	2,1	179,5 - 189	2,8
58 - 67,5	1,5	122,5 - 132	2,2	189 - 200	2,9

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

Quadro III – Amplitude Interflúvial e sua Vulnerabilidade.

Amplitude do Interflúvio (m)	Vulner./ Estabilidade	Amplitude do Interflúvio (m)	Vulner./ Estabilidade	Amplitude do Interflúvio (m)	Vulner./ Estabilidade
>5000	1,0	3250 - 3500	1,7	1500 - 1750	2,4
4750 - 5000	1,1	3000 - 3250	1,8	1250 - 1500	2,5
4500 - 4750	1,2	2750 - 3000	1,9	1000 - 1250	2,6
4250 - 4500	1,3	2500 - 2750	2,0	750 - 1000	2,7
4000 - 4250	1,4	2250 - 2500	2,1	500 - 750	2,8
3750 - 4000	1,5	2000 - 2250	2,2	250 - 500	2,9
3500 - 3750	1,6	1750 - 2000	2,3	<250	3,0

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

Tabela I – Amplitude do Relevo e sua Vulnerabilidade.

Declividade Porcentagem	Vulnerabilidade	Declividade Porcentagem	Vulnerabilidade	Declividade Porcentagem	Vulnerabilidade
< 3,5	1.0	17,4-19,8	1.7	34,6-37,2	2.4
3,5- 5,8	1.1	19,8-22,2	1.8	37,2-39,3	2.5
5,8-8,2	1.2	22,2-24,5	1.9	39,8-42,4	2.6
8,2-10,3	1.3	24,5-27,2	2.0	42,4-45,3	2.7
10,3-12,9	1.4	27,2-29,6	2.1	45,3-48,1	2.8
12,9-15,1	1.5	29,6-32,1	2.2	48,1-50	2.9
15,1-17,4	1.6	32,1-34,6	2.3	>50	3.0

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

Tabela II – Formas de origem estrutural e denudacional caracterizadas por relevos.

Relevos	Vulnerabilidade
Relevos Planos Suavemente Ondulados	1.0 a 1.6
Relevos Ondulados Dissecados em Colinas	1.7 a 2.3
Relevos Fortemente Ondulados e Escarpados	2.4 a 3.0

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

Para representar a declividade, utilizou-se o (MDE) delimitado para área de estudo. Para determinar a declividade em porcentagem no *raster*, foi acessada a ferramenta análise e em seguida utilizou a função “Declividade em Porcentagem”, pois, o presente trabalho utilizou os valores em porcentagem para sua classificação. O próximo passo foi a sua reclassificação, para isso foi aplicada a ferramenta *r.reclass*, sobre o raster para empregar a regra de reclassificação de CREPANI *et al.* (2001) (Tabela I).

Portanto, para estabelecer os valores do grau de vulnerabilidade para as unidades de paisagem natural com relação á geomorfologia, foi calculada a média a partir da soma do grau de dissecção, amplitude do interflúvio e da declividade, de acordo com cada grau de vulnerabilidade estabelecida nos seguintes índices mostrados na (Figura 3).

Após o desenvolvimento do fator geomorfologia, foi aplicada a classificação da vulnerabilidade

$$R = \frac{G + A + D}{3}$$

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia.
 G = Vulnerabilidade atribuída ao Grau de Dissecção.
 A = Vulnerabilidade atribuída à Amplitude Altimétrica.
 D = Vulnerabilidade atribuída à Declividade.

Figura 3 – Equação para a Vulnerabilidade do tema Geomorfologia.

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

a partir das características dos relevos citados na (Tabela II).

Quadro IV – Classes do Solo e sua Vulnerabilidade.

Classe de Solo	Legenda	Vuln./Estab.
Latossolos:amarelo Latossolo vermelho-amarelo Latossolo vermelho-escuro Latossolo roxo Latossolo Bruno Latossolo Húmico Latossolo Bruno-Húmico	LA LV LE LR LB LH LBH	1,0
Podzólico amarelo Podzólico vermelho-amarelo Podzólico vermelho-escuro Terra roxa estruturada Bruno não cálcico Brunizém Brunizém avermelhado Planossolo	PA PV PE TR NC B BA PL	2,0
Cambissolos	C	2,5
Solos litólicos Solos aluviais Regossolo Areia quartzosa Vertissolo Solos orgânicos Solos hidromórficos Glei húmico Glei pouco húmico Plintossolo Laterita hidromórfica Solos concrecionários lateríticos Rendzinas Afloramento rochoso	R A RE A V HO HI HGH HGP PT LH CL RZ AR	3,0

Fonte: Crepani *et al.*(2001).

Solo

Para a variável solo, também foi seguido o roteiro metodológico da variável geologia, em que as informações são provenientes do banco de dados BDIA (2021). Foram inseridos os valores de vulnerabilidade a partir de cada classe de solo na sua tabela de atributos, conforme o (Quadro IV). Por último, foi usada a ferramenta rasterizar, convertendo vetor para raster a partir dos dados de vulnerabilidade. Todo o processo foi utilizado com o software Qgis.

Vegetação

A cobertura vegetal e suas subclasses foram obtidas no banco de dados BDIA (2021). Em seguida, os valores de vulnerabilidade foram adicionados na sua tabela de atributo, onde cada classe vegetativa tem um valor que varia de 1 a 3, seguindo a proposta do CREPANI et al. (2001) (Tabela III). Utilizou-se a ferramenta rastelizar, mudando o vetor para raster com base nos valores de vulnerabilidade.

Clima

Os dados climatológicos são importantes para a descrição morfodinâmica das unidades de paisagem, devido ao seu papel no processo de intemperismo, em

que o escoamento superficial provoca o deslocamento de material superficial por meio das enxurradas, ou seja, um processo de erosão pluvial da superfície do solo (CREPANI et al., 2001).

Os dados do fator clima foram coletados para o ano de 2021 em cinco estações pluviométricas da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2021). A Intensidade Pluviométrica (IP) foi obtida dividindo-se o valor da pluviosidade média anual (mm) pela duração do período de chuva (meses). O número de dias de chuva foi transformado em meses dividindo seu total por 30, conforme a equação de Intensidade Pluviométrica abordado em CREPANI et al. (1996) (Figura 4).

Para gerar a variável clima, usou-se a ferramenta *interpolação IDW*, atribuindo os dados de

$$IP = \frac{P - M - A - M}{N.D.C} \times 30$$

Onde:

P_M_A_M = Média das Precipitações Médias Anuais.

N.D.C = Número de Dias com Chuva.

Figura 4 – Equação do Índice Pluviométrico.

Fonte: Crepani et al. (1996).

Tabela III – Classes de Vegetação e sua Vulnerabilidade.

Vegetação	Vulnerabilidade	Vegetação	Vulnerabilidade
Floresta Ombrófila Densa	1.0	Campinara Arbórea Aberta Relevo Ondulado	2.0
Floresta Ombrófila Densa Alto- Montada	1.1	Savana Arbórea aberta	2.1
Floresta Ombrófila Aberta	1.2	Floresta Estacional Decidual	2.2
Floresta Ombrófila Mista	1.3	Campinara	2.3
Formação Arborea	1.4	Savana Aborea aberta	2.5
Formação Pioneira Influência Flúvial Marinha (restinga)	1.5	Savana Parque com Floresta de Galeria	2.6
Floresta Estacional Semidecidual	1.6	Gramineo Lenhosa	2.7
Caatinga Arbórea	1.7	Pastagem	2.8
Formação Pioneira Influência Flúvial	1.8	Cultura Perene	2.9
Arborizada	1.9	Cultura Anual	3.0

Fonte: Crepani et al.(2001) Modificado pelo Autor.

Quadro V – Intensidade Pluviométrica e Escala de Vulnerabilidade.

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade
<50	1,0	200 - 225	1,7	375 - 400	2,4
50 - 75	1,1	225 - 250	1,8	400 - 425	2,5
75 - 100	1,2	250 - 275	1,9	425 - 450	2,6
100 - 125	1,3	275 - 300	2,0	450 - 475	2,7
125 - 150	1,4	300 - 325	2,1	475 - 500	2,8
150 - 175	1,5	325 - 350	2,2	500 - 525	2,9
175 - 200	1,6	350 - 375	2,3	>525	3,0

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

(IP), criando um raster de IP. Logo depois, com o uso da ferramenta *r.reclass* o raster foi reclassificado a partir dos valores de vulnerabilidade da Quadro V, referente a cada valor de IP.

Uso e ocupação

O fator de uso e ocupação foi baseado em dados disponíveis no MAPBIOMAS (2021). Nesse caso, foi utilizada a ferramenta poligonizar para mudar de raster para vetor, assim, na tabela de atributos foram reclassificados os valores de vulnerabilidade a partir de pesquisas bibliográficas dos respectivos temas do uso e ocupação da área de estudo. Logo após esse processo, foi utilizada a ferramenta rastelizar, mudando o vetor para raster com base nos valores de vulnerabilidade da (Tabela IV).

Tabela IV – Uso e Ocupação. Fonte: Autor.

Uso e ocupação	Vulnerabilidade
Formação Florestal	1.4
Mangue	1.4
Água	1.5
Formação Savana	1.7
Formação Campestre	2.0
Pastagem	2.0
Infraestrutura Urbana	2.0
Mosaica de Agricultura	3.0
Praia Duna	3.0

CRITÉRIOS ADOTADOS PARA A VULNERABILIDADE AMBIENTAL

O método envolve o desenvolvimento de critérios para avaliar, de forma relativa e empírica, cada unidade da paisagem atribuindo valores ao seu grau de vulnerabilidade. A partir da utilização da calculadora de campo foi possível somar os valores agregados a cada unidade, dividindo-os por cinco, resultando em uma média, conforme a equação na (Figura 5).

$$V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5}$$

V = Vulnerabilidade
G = vulnerabilidade para o tema Geologia
R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia
S = vulnerabilidade para o tema Solos
Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação
C = vulnerabilidade para o tema Clima

Figura 5 – Equação de Vulnerabilidade Potencial Natural.

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

Por fim, os componentes estruturadores da paisagem que foram mencionados na Figura 5, tiveram a classificação da sua VPN. Já para o tema vulnerabilidade ambiental, foi utilizada a calculadora de campo para estabelecer a média, de acordo com a equação: (USO e OCUPAÇÃO + VPN / 2). A partir dessa média foi possível determinar a vulnerabilidade ambiental da área de estudo.

Subsistema Costeiro

O Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEEC) do Estado do Ceará de 2020 estabeleceu quatro domínios paisagísticos, sendo eles: (I) Ambientes Praias e Setores Adjacentes; (II) Ambientes Dunares; (III) Ambientes Estuarinos; (IV) Baixadas. A partir desses domínios definiu-se o mapeamento dos subsistemas, utilizando a base de dados vetoriais disponível no site da (SEMA, 2022).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 6 mostra o mapeamento dos 12 subsistemas costeiros presentes na área de estudo, que são eles: Faixa Praial, Dunas Fixas, Dunas Móveis, Planície Flúvio Lacustre, Planície de Deflação Ativa, Planície de Deflação Estabilizada, Alagado, Lagoa/Laguna, Rio, Restinga, Tabuleiro Pré-Litorâneo e o meio Urbano. Conforme foi estabelecido pelo ZEEC (2020) na determinação dos quatros domínio paisagísticos.

Entre todos os subsistemas identificados, o sistema urbano é o mais representativo espacialmente, ocupando uma área de 2,744km². Enquanto,

o ambiente de restinga, responde pelo subsistema menos representativo na área de estudo, ocupando uma área de 0,001 km². Dessa forma, percebe-se que a área urbana ocupa 23,88% do território da área de estudo, estando disperso por ambientes de dunas, superfície de deflação e tabuleiro (Tabela V).

Tabela V – Área dos Subsistemas Costeiros em Km².

Subsistemas	Área em Km ²
Alagado	0.04
Lagoa/Laguna	2.374
Rio	0.05
Faixa Praial	0.46
Dunas Fixas	2.772
Dunas Móveis	1.217
Planícies Flúvio Lacustre	0.84
Restinga	0.001
Superfície de Deflação Ativa	0.19
Superfície de Deflação Estabilizada	1.63
Tabuleiros	0.32
Urbanos	2.744

Fonte: Sema (2021) Modificado pelo Autor.

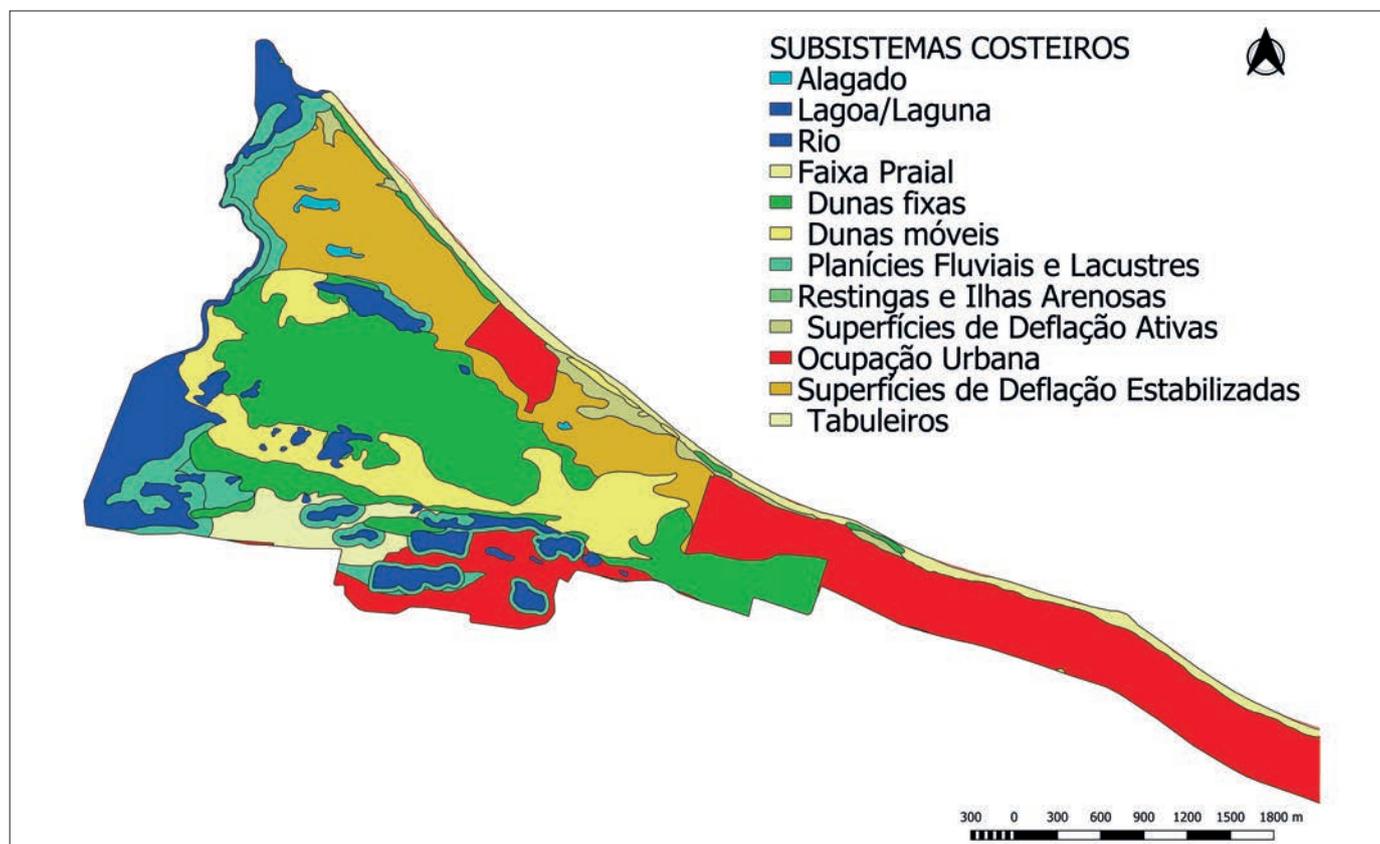


Figura 6 – Mapa de Subsistemas Costeiros do Bairro do Cumbuco-Ce.

Fonte: ZEEC (2020). Modificado pelo Autor.

Na tabela VI é possível observar os atributos físicos, a maior parte da região é coberta por areias quartzosas, a mesma como moderadamente vulnerável, assim como o neossolo-quartzarênico com o alto grau de vulnerabilidade, ambos ocupam uma área de 9 km².

Geomorfologicamente, são terrenos planos suavemente ondulados ou relevos ondulados

dissecados e fortemente ondulados. Cada relevo vai variar de moderadamente estável a moderadamente vulnerável. Já em termos climáticos, a região varia a sua intensidade pluviométrica de 20 a 61 mm/ano, se classificando assim como uma unidade estável. Vale ressaltar também o uso e ocupação, onde suas classes variam do estável ao vulnerável.

Tabela VI – Atributos Ambientais.

Atributos Ambientais	Km ²	Vulnerabilidade
GEOLOGIA		
Arenitos Quartzosos	9 km ²	2.4
Argilitos	2 km ²	2.7
SOLO		
Neossolo- Quartzarênico	9 km ²	3.0
Argissolo	2 km ²	2.0
VEGETAÇÃO		
Vegetação de Restinga	5 km ²	1.5
Pastagem	2 km ²	2.7
Geomorfologia	Relevos	
	Planos Suavemente Ondulados	1.6
	Ondulados Dissecados	2.0
	Fortemente Ondulados	2.4
Clima	IP (mm/ano)	
	60,82	1.1
	39,06	1.0
	61,42	1.1
	59,68	1.1
	20,44	1.0
Uso e ocupação	Classes de Uso e Ocupação	
	Água	1.0
	Formação Florestal	1.4
	Mangue	1.4
	Formação Savana	1.7
	Formação Campestre	2.0
	Pastagem	2.0
	Infraestrutura Urbana	2.0
	Mosaica de Agricultura	3.0
Praia Duna	3.0	

Fonte: Autor.

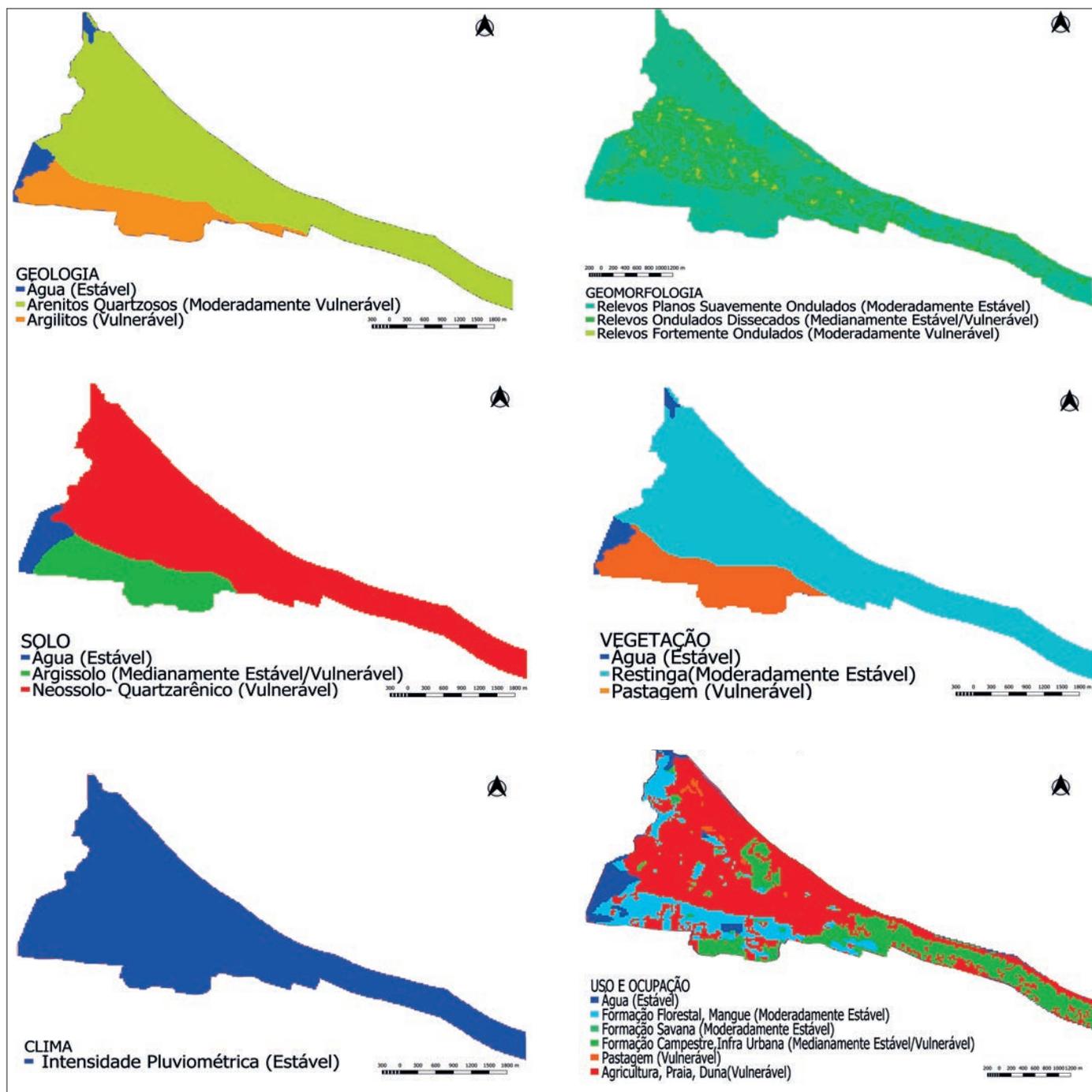


Figura 7 – Mapa de Vulnerabilidade Natural e de Ação Antrópica por temas (Geologia, Geomorfologia, Solo, Vegetação, Clima e o Uso e Ocupação da Terra).

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O mapeamento dos componentes estruturadores da paisagem e da ação antrópica resultou em seis mapas temáticos da vulnerabilidade natural, representados na (Figura 7).

A partir do mapeamento da vulnerabilidade ambiental no Cumbuco-CE, foi possível determinar o grau de vulnerabilidade dos seus subsistemas, variando entre estável e vulnerável. As classes de estável e

modernamente estáveis são mais representativas em áreas lagunas, rios, planícies flúvio-lacustre, alagado e restingas, com cerca de 2,3 km². As classes medianamente estáveis e moderadamente vulneráveis estão presentes, por exemplo nos Tabuleiros Pré-Litorâneos. Por fim, a classe vulnerável que se encontra com maior predominância é identificada a partir dos subsistemas de dunas fixas e móveis, superfície de

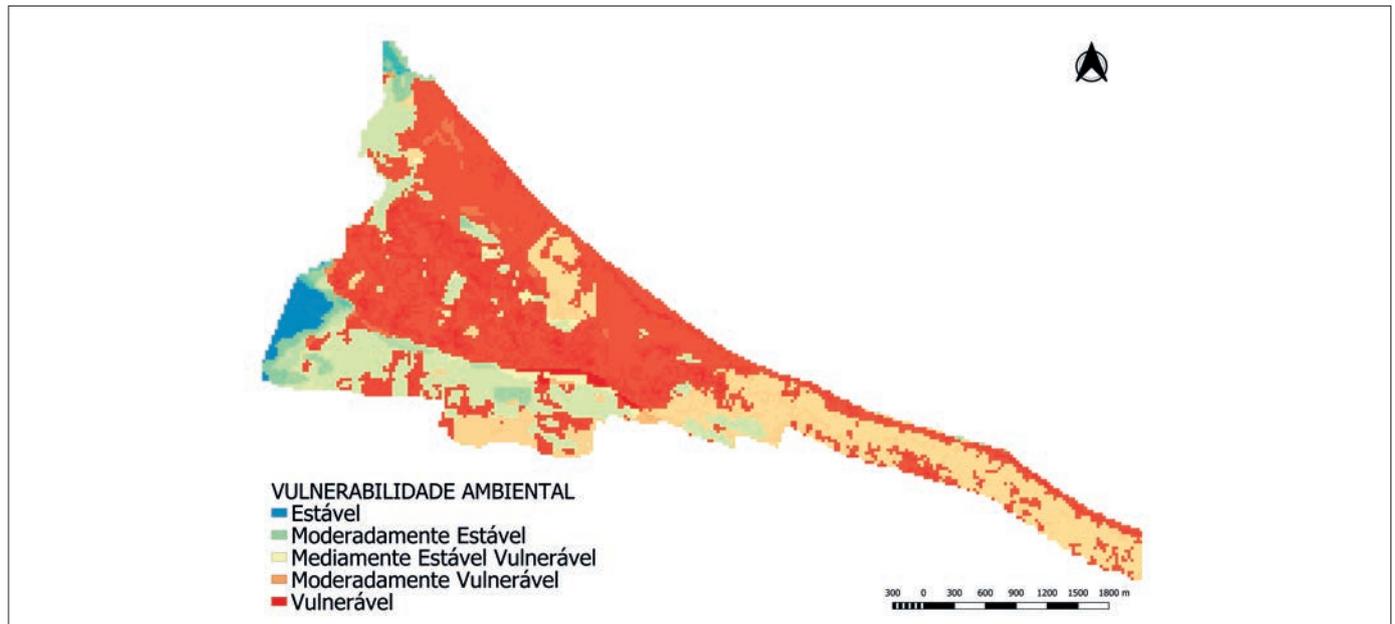


Figura 8 – Mapa de Vulnerabilidade Ambiental do Bairro Cumbuco-Ce.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela VII – Área e Porcentagem das classes de Vulnerabilidades Ambiental. *Fonte:* Elaborado pelo Autor.

Vulnerável	Área	Porcentagem
Estável (1.0)	0,2 km ²	1,8
Mediamente Estável (1.4)	2,1 km ²	20
Moderadamente Estável Vulnerável (1.8)	0,01 km ²	0,08
Moderadamente Vulnerável (2.2)	2,4 km ²	21
Vulnerável (2.6)	6,7 km ²	58
Total	11,4 km ²	100

deflação ativa e estabilizada e faixa de praia, com 6,7 km² (Figura 8).

Portanto, 79% da área de estudo está classificada como ambiente variando de vulnerável a moderadamente vulnerável. Apenas 21% da região do Cumbuco apresenta uma classificação variando de moderadamente estável a estável (Tabela VII).

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados, a maior parte do bairro do Cumbuco está alicerçado sobre subsistemas costeiros classificados como vulneráveis à ocupação humana. A malha urbana está centrada entre a linha máxima da água do mar e as dunas costeiras, afetando os fluxos de matéria e energia que são responsáveis pelo equilíbrio ambiental local. Além disso, é possível observar que alguns trechos de dunas costeiras

foram paulatinamente incorporadas à malha urbana, diminuindo sua resiliência ambiental e provocando danos a qualidade do ambiente e seus serviços ecossistêmicos.

Por fim, a metodologia aplicada foi adequada para identificar e mapear os níveis de vulnerabilidade a partir da escala desenvolvida por Crepani e colaboradores. Os resultados podem e devem ser utilizados para auxiliar o planejamento local da zona costeira, permitindo desenvolver de forma menos agressiva e mais sustentável a economia local.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo Resmar e todos os integrantes do Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica- LGCO e a minha família que me ajudou nessa caminhada acadêmica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADGER, W. Neil. 2006. Vulnerabilidades. *Mudança Ambiental Global* v.16,p. 268–281, Fevereiro .2006. (<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>)
- ANFUSO, G *et al.* 2021. Caracterização de Sensibilidade/ Vulnerabilidade Costeira e Estratégias de Adaptação: *Uma Revisão. J. Mar. Sci. Eng.* 2021, 9, 72. (<https://doi.org/10.3390/jmse9010072>).
- Banco de dados Ambientais (2021) – Instituto brasileiro de geografia e estatística, Brasil. In: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home> (acesso: Junho 2022).
- BUITRAGO, Nelson Rangel *et al.* 2020. Avaliações de vulnerabilidade como ferramenta para a gestão de riscos costeiros e marinhos: uma visão gera. *Gestão Oceânica e Costeira* v.189, Fevereiro. 2020. (<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105134>).
- COSTA, F.R *et al.* 2021. Análise das vulnerabilidades natural e ambiental da bacia hidrográfica do rio doce (RN). São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 40, n. 2, p. 459 – 475, 2021. (ISSN: 1980-900X).
- CREPANI, E *et al.* 1996. *Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico econômico.* (<http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/05.13.15.34/doc/publicacao.pdf>)
- CREPANI, E *et al.* 2001. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.* (https://books.google.com.br/books/about/Sensoriamento_remoto_e_geoprocessamento.html?id=-Y35ZwEACAA-J&redir_esc=y)
- DENNER, K *et al.* 2015. Uma vulnerabilidade costeira e avaliação de risco ambiental de Loughor Estuário, Gales do Sul. *Gestão Oceânica e Costeira* v.116 ,Setembro.2015. (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.09.002>)
- Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos 2022.. *Índice Pluviométrico.* In: <http://www.funceme.br/>. Acesso em: 28 jun. (acesso: Junho 2022)
- GHOSH, S & MISTRI, B. 2021. Avaliando a vulnerabilidade costeira aos riscos ambientais do delta indiano de Sundarban usando abordagens de tomada de decisão multicritério. *Gestão Oceânica e Costeira*, V.209, n.1º, agosto, 2021. (<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105641>)
- Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (2017) – Perfil Municipal, Brasil. (https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Caucaia_2017.pdf) (acesso: Junho 2022).
- KOVALEVA, O *et al.* 2022. Índice de vulnerabilidade costeira como ferramenta para avaliação do estado atual e planejamento de atividades antropogênicas para a zona costeira oriental do Golfo da Finlândia mar Báltico. *Geografia Aplicada*, v.143, setembro, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102710>.
- KU, H *et al.* 2021. Avaliação da vulnerabilidade costeira do aumento do nível do mar associado a ondas induzidas por tufões na Coreia do Sul. *Gestão Oceânica e Costeira.* v.213, março ,2021. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105884>.
- LIMA, J.S. 2018. *Estudo integrado da paisagem, geomorfologia e geotecnologias: proposta de automatização dos índices de dissecação do relevo.* Monografia (Graduação) – Universidade Federal da Bahia. 46 p..
- MAPBIOMAS, 2022. *Mapas das Coleções* In: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR (acesso: Junho 2022).
- MATHEW, M.J *et al.* 2020. *Vulnerabilidade total da zona litorânea aos perigos naturais causados pelas mudanças climáticas no norte da Bretanha, França.* Ciência do Ambiente Total <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135963>.
- MAZZER, A.M. 2004. *Análise de vulnerabilidade costeira com uso de sistemas de informação geográfica: uma aplicação ao trecho litorâneo sul da ilha de santa catarina-SC.* <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/5/3/Alexandre%20Maimoni%20Mazzer.pdf>
- SEMA, 2022, *Secretaria do Meio Ambiente.* In: <https://www.sema.ce.gov.br/>(acesso: Junho 2022).
- THIRUMURTHY, S. 2022. Avaliação de vulnerabilidade ambiental costeira multicritério usando análise de incerteza baseada em processo de hierarquia analítica integrada ao GIS. *Jornal de Gestão Ambiental.* v. 313,Setembro .2022.
- VOGEL, C. & O'BRIEN, K. (2004) Vulnerabilidade e Mudança Ambiental Global: Retórica e Realidade. *Boletim Informativo sobre Mudanças Ambientais Globais e Segurança Humana*, Edição No. 13. Projeto de Mudanças Ambientais e Segurança e Centro Internacional de Pesquisa de Desenvolvimento, Ottawa. (<https://scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=1423818>).