



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 9, nº 1 (2023)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2023v9n1ID31523>



Caracterização física e suscetibilidade aos processos erosivos do município de Ilhéus-Bahia

Physical characterization and susceptibility to erosive processes in the municipality of Ilhéus-Bahia

Patrícia Ferreira da Silva¹; Gabriel Martinez Tolentino²; Ednice Fontes Baitz³; Claudio Henrique Reis⁴; Gerson dos Santos Lisboa⁵; Vinícius de Amorim Silva⁶

¹ Universidade Federal Fluminense, Instituto de Ciências da Sociedade e Desenvolvimento Regional/Departamento de Geografia, Campos dos Goytacazes/RJ, Brasil. Email: patriciafs@id.uff.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6495-3642>

² Universidade Federal do Sul da Bahia, Centro de Formação em Tecno-Ciências e Inovação (CFTCI), Ilhéus, Bahia, Brasil. Email: gabriel.tolentino@gfe.ufsb.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2106-95555>

³ Universidade Estadual de Santa Cruz, Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais, Ilhéus, Bahia, Brasil. ednice@uesc.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0142-3331>

⁴ Universidade Federal Fluminense, Instituto de Ciências da Sociedade e Desenvolvimento Regional/Departamento de Geografia, Campos dos Goytacazes/RJ, Brasil. Email: claudioreis@id.uff.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8597-3642>

⁵ Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Aparecida de Goiânia/GO, Brasil. Email: gersonlisboa@ufg.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9834-2441>

⁶ Universidade Federal do Sul da Bahia, Centro de Formação em Tecno-Ciências e Inovação (CFTCI), Ilhéus, Bahia, Brasil. Email: vinicius@ufsb.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5814-9199>

Resumo: Analisar a suscetibilidade fornece base para políticas de prevenção de riscos. O objetivo foi caracterizar os condicionantes ambientais de Ilhéus que contribuem para os processos erosivos. Além de avaliar a suscetibilidade dos fatores declividade, geologia, solos, intensidade pluviométrica, cobertura, uso e ocupação e identificar áreas em risco mediante elaboração de banco de dados contendo classes e valores de estabilidade/vulnerabilidade à erosão. Para desenvolver a pesquisa foi necessário o levantamento de dados bibliográficos; tratamento de imagens digitais para a carta de declividade, geologia, solos, e o uso, ocupação e cobertura da terra com uso de técnicas de geoprocessamento via SIG, além de valores da precipitação média anual (mm) e duração do período chuvoso (meses); envolveu análise baseada na metodologia Crepani (1996; 2001), o grau de estabilidade das condicionantes ambientais, aliado aos pesos dos condicionantes ambientais pela AHP Calculator (SAATY, 1991); elaboração de equação multicritério para gerar o mapa final. Os resultados indicam a caracterização dos condicionantes ambientais e seu grau de estabilidade, além das áreas de vulnerabilidade muito alta, alta, média, baixa e muito baixa aos processos erosivos produzida com a integração dos mapeamentos. Obteve-se 19% da área estudada, vulnerabilidade média a muito alta, e vulnerabilidade muito baixa a baixa soma-se 82%.

Palavras-chave: Análise multicritério; Sensoriamento remoto; Condicionantes ambientais.

Abstract: Analyzing susceptibility provides the basis for risk prevention policies. The objective was to characterize the environmental conditions of Ilhéus that contribute to erosion processes. In addition to assessing the susceptibility of slope, geology, soil, rainfall intensity, coverage, use and occupation factors and identifying areas at risk by creating a database containing classes and values of stability/vulnerability to erosion. To develop the research it was necessary to collect bibliographic data; treatment of digital images for the map of slope, geology, soils, and land use, occupation and cover using geoprocessing techniques via GIS, in addition to average annual precipitation values (mm) and duration of the rainy season (months); it involved analysis based on the Crepani methodology (1996; 2001), the degree of stability of the environmental conditions, combined with the weights of the environmental conditions by the AHP Calculator (SAATY, 1991); creation of a multicriteria equation to generate the final map. The results indicate the characterization of the environmental constraints and their degree of stability, in addition to the areas of very high, high, medium, low and very low vulnerability to erosion processes produced with the integration of the mappings. Medium to very high vulnerability was obtained in 19% of the studied area, and very low to low vulnerability adds up to 82%.

Keywords: Multicriteria analysis; Remote sensing; Environmental constraints.

Recebido: 15/02/2023; Aceito: 24/04/2023; Publicado: 26/06/2023.

1. Introdução

Os processos erosivos consistem na movimentação do solo, rocha ou vegetação devido a ação da gravidade ao longo de uma vertente ou encosta. Este processo ocorre devido a infiltração da água que ao se misturar ao solo, reduz sua resistência, induzindo a sua fragmentação e fluidez. A ação eólica também é uma das causas da erosão.

Segundo MARTINI *et al.* (2006), esse processo é acelerado por atividades antropogênicas, a erosão ocorre pela ação da água e dos ventos e sua magnitude é diretamente influenciada por fatores de solo, relevo e principalmente a cobertura vegetal. As consequências da erosão na superfície do solo são chamadas do tipo laminar, ravinhas ou voçorocas. O arraste de partículas do solo em quantidades variáveis produzem longos efeitos sobre a paisagem, modificando o relevo, áreas agrícolas ou zonas urbanas. De acordo com Tominaga *et al.* (2009), os movimentos de massa relacionados às encostas se fundamentam em critérios como velocidade, geometria da massa deslocada e o tipo do material. O sistema de classificação mais adotado é o que divide os movimentos de massa em rastejo, escorregamentos, quedas e corridas.

Além das implicações às áreas agrícolas, os processos erosivos ocasionam transporte de sedimentos aos corpos hídricos, com consequências na qualidade dos recursos hídricos, assoreamento de rios e reservatórios, por exemplo.

Os movimentos de massa, particularmente os escorregamentos, podem ocasionar risco a áreas povoadas e catástrofes ambientais, portanto “os riscos são existentes quando há um conjunto de variáveis naturais e sociais, que culminam na ocupação irregular, em ambientes cujas condições físico-naturais tendem ao frágil”, (GIRÃO *et al.*, p. 72, 2018). No entanto, para se obter o risco de ocorrência de dado fenômeno é necessário conhecer a probabilidade de incidência temporal para uma área ser afetada por um evento ou processo perigoso em um período ou tempo determinado, (ZÊZERE *et al.*, 2004).

A ocupação nessas áreas exige organização e planejamento em seu processo de uso e ocupação. A elaboração de políticas públicas e de gestão possuem o objetivo de diminuir a degradação e aumentar a conservação.

A região sul da Bahia, onde Ilhéus está localizada, ainda conserva parte de sua vegetação natural, é uma importante região de endemismo que possui fauna e flora heterogêneas e é considerada importante área para o desenvolvimento de ações de conservação. O município de Ilhéus apresenta tendência à ampliação da ocupação de seu território e o perigo de tornar-se um local de recorrentes desastres ambientais e econômicos, caso essas ocupações ocorram de forma indevida e em terrenos não propícios para atividades antropogênicas. A ocupação inadequada de áreas como as encostas que possuem acentuada fragilidade natural, cria situações de risco a processos erosivos e escorregamentos. O processo de urbanização de Ilhéus é característico do período colonial, a principal área de ocupação é em sua faixa litorânea e morros sem que houvesse preocupação com as consequências para o meio ambiente e a população. Esse trabalho permite orientar as atividades a serem desenvolvidas por conhecer as fragilidades e potencialidades ambientais da área de estudo. Lobo de Paiva *et al.* (2022) explica que a potencialidade ambiental envolve recursos ou serviços ambientais, em relação aos componentes do solo, relevo, rochas, minerais, águas, clima, flora e fauna. Já a fragilidade pode ser representada pela suscetibilidade das características intrínsecas do ambiente que ao sofrerem alterações negativas, devem ser avaliadas de forma integrada.

2. Área de estudo

Situada no sul do estado da Bahia, Ilhéus faz parte da microrregião Itabuna-Ilhéus (Figura 1), o município possui território de aproximadamente 1.585 km² e possui a maior extensão costeira do estado com 84 km. Sua costa apresenta trechos em diferentes níveis de ocupação e tipos de uso (trechos urbanizados, em processo de ocupação e não-urbanizados). Na agricultura se destaca a lavoura cacaueteira, e outras pequenas atividades agrícolas. O município é dividido em dez distritos, incluindo sua sede com 27 bairros, além de outros 49 núcleos urbanos como sede de distritos, vilas e povoados.

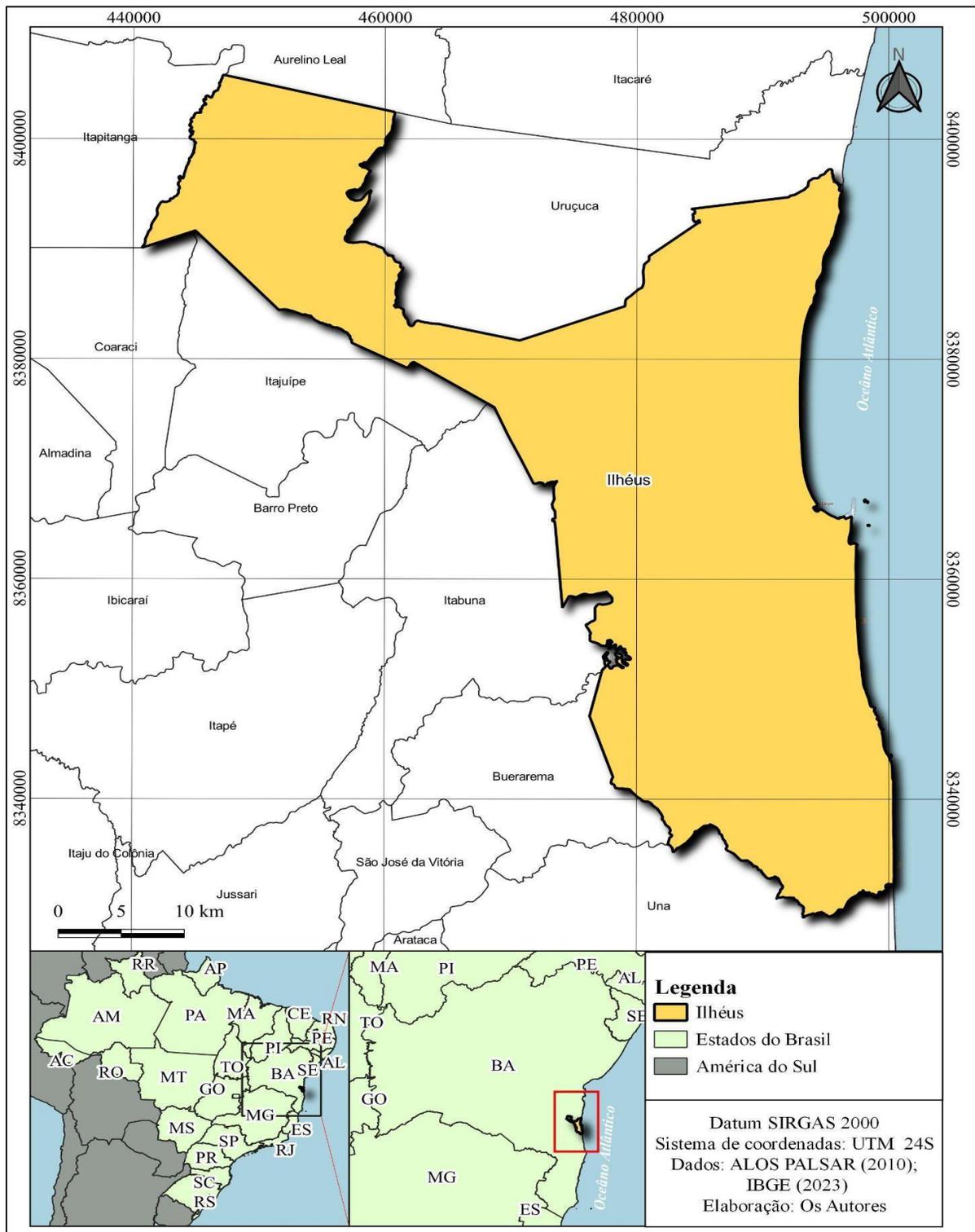


Figura 1 – Localização do município de Ilhéus
 Fonte: IBGE (2023)

3. Meio Físico

3.1 Clima

O tipo climático que atua sobre Ilhéus é classificado como tropical úmido, de temperatura média anual superior a 24°. Os acumulados pluviométricos anuais entre 1.900 a 2400 mm bem distribuídos no ano, sendo que os meses entre dezembro e março são os mais chuvosos, e setembro e outubro os menos chuvosos).

Segundo dados do Climate-Data Org., as informações climáticas do município mostram o valor mais baixo para a umidade relativa no mês de setembro (81,68 %). A umidade relativa do ar é mais alta em junho (86,68 %). Em média, os dias menos chuvosos são medidos em setembro (17,87 dias). O mês com os dias mais chuvosos é março (25,03 dias). Ilhéus apresenta um clima tropical, onde existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano. Mesmo o mês mais seco há ainda muita pluviosidade. O clima é classificado como 23,9 °C de temperatura média. Pluviosidade média anual de 1325 mm. O mês mais seco é setembro e tem 74 mm de precipitação. Com uma média de 139 mm, o mês de abril é o mês de maior precipitação. Ao comparar-se o mês mais seco com o mês mais chuvoso verifica-se uma diferença de precipitação de 65 mm. Durante o ano as temperaturas médias variam 3,9 °C.

3.2 Vegetação

A Mata Atlântica é a vegetação predominante, além dela, destacam-se as restingas e manguezais. Possui estuário onde se encontram o Rio Cachoeira, o Rio Santana e o Rio Itacanoeira (ou Fundão). Além destes rios, faz parte da sua rede hidrográfica a bacia do Rio Almada. O município possui duas unidades de conservação, a Área de Proteção Permanente (APA) da Lagoa Encantada e o Parque Municipal da Boa Esperança.

3.3 Relevô, Geologia e Solos

No que diz respeito à geomorfologia, esta região possui elevação de até 52 m e diversas formas que vão desde os Mares de Morros até a Planície Costeira (AB'SÁBER, 2003) que impõem restrições para expansão urbana. O relevo é caracterizado pelas feições geomorfológicas de colinas ou morros, que são áreas onduladas com topos arredondados, de declividade suave, e tabuleiros que corresponde aos locais mais elevados com topos quase planos e cortados por vales profundos escavados por leitos de antigos rios, que originam um espesso manto argiloso, formado de gnaisses, granulitos e rochas básicas, o que forma solos argilo-arenosos, tais solos são muito suscetíveis a deslizamento e processos erosivos pois se expandem quando saturados causando sua instabilidade e vulnerável ao perigo dos deslizamentos nos morros e aos alagamentos na planície, também como erosão costeira.

Seu centro urbano apresenta relevo movimentado com encostas que frequentemente ocorrem deslizamentos, essa forma do relevo é caracterizada por rochas do embasamento cristalino (FRANCO, 2008). Ao Sul ocorrem fragmentos do Grupo Barreiras que são sedimentos argilo-arenosos do período Terciário. Nas áreas próximas aos rios e sobre influência da maré, predominam os sedimentos fluviolacustres que são sedimentos argilosos associados aos manguezais. Já na porção litorânea se encontram sedimentos de praia da linha de costa atual. Por se caracterizar como uma sub-região tropical e úmida, o clima é fundamental na definição do quadro natural, na medida em que configura os tipos de solo e a forma do relevo, variedade da vegetação e a rede hidrográfica.

4. Aspectos históricos, socioeconômicos e demográficos

Segundo dados do Censo IBGE (2010), Ilhéus possuía 184.236 habitantes, sendo 89.440 homens e 94.796 mulheres. Em 2019 a população estimada caiu para 162.327 pessoas e 159.923 no ano de 2020. Densidade populacional 99,5 hab./km². Em comparação com a Microrregião Ilhéus-Itabuna e o Estado da Bahia, Ilhéus ocupa o 2º e o 7º lugar em relação à população; o percentual da população com rendimento nominal mensal per capita de até 1/2 salário mínimo (abaixo da linha da pobreza) foi de 40,4 % e com salário médio mensal dos trabalhadores formais (2017) de 2,5 salários mínimos e percentual de população ocupada de apenas 19,4 %. A porcentagem de cor/raça declarados da população em 2010 é de: parda 58,6%; branca 19,5%; preta 18,7%; indígena 2,1%; amarelo 0,9%.

Após a década de 1990, a crise ocorrida na produção de cacau, resultante da disseminação do fungo da vassoura de bruxa (*Crinipellis pernicioso*), dizimou a maior parte da lavoura cacauzeira da região sul da Bahia, houve a necessidade de

alternativas de desenvolvimento econômico, dentre as quais destacam-se o turismo e pequena atividade comercial e industrial (polo de Informática).

5. Metodologia

5.1 Avaliação do grau de suscetibilidade a processos erosivos

A avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa está relacionada aos fatores condicionantes desses processos ligados à declividade, geologia, solo, uso e cobertura da terra. No geral, combina-se o grau de estabilidade em relação à morfogênese e pedogênese com outros fatores restritivos como a intensidade pluviométrica e obtêm-se a capacidade ou de aptidão de uso das terras (Quadro 1).

Quadro 1 – Critério de avaliação das condicionantes ambientais

Variáveis	Critérios
Geologia	Tempo geológico e coesão
Solos	Maturidade pedogenética
Declividade	Variação de declividade
Vegetação/uso da terra	Proteção da paisagem
Intensidade pluviométrica	Erosividade

Fonte: Crepani et al. (1996; 2001)

Essa etapa avalia o grau de estabilidade aos processos erosivos, as características são avaliadas individualmente conforme reinterpretação dos dados temáticos preexistentes (declividade, solos, precipitação, cobertura, uso e ocupação da terra, intensidade pluviométrica e geologia), o qual empregará um modelo capaz de avaliar as possíveis perdas de solo. A cada característica será empregado um valor de estabilidade, de forma a produzir uma escala.

Esta metodologia foi desenvolvida a partir da Ecodinâmica de Tricart (1977), aplicada por Crepani et al. (1996; 2001) os estudos integrados o método AHP – Analytic Hierarchy Process, no qual consiste em uma análise integrada do ambiente ao avaliar múltiplas variáveis que se relacionam com outros sistemas, criando uma hierarquia de decisão que permite uma visão mais ampla.

Crepani et al. (1996; 2001) confere as categorias morfodinâmicas desenvolvidas com base nos princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977), em que cada categoria recebe valores de estabilidade variando de 1,0 a 3,0 dada a relação Pedogênese/Morfogênese. À medida que os valores se aproximam de 1,0 é conferido a estabilidade no ambiente, enquanto que à medida em que o valor se aproxima de 3,0 é conferido ao ambiente a instabilidade, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas

Categoria morfodinâmica	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

Fonte: Tricart (1977)

5.2 Estabilidade/vulnerabilidade da intensidade pluviométrica

Nos processos erosivos estão envolvidas algumas características físicas da chuva, como a quantidade ou pluviosidade total, a intensidade pluviométrica e a distribuição sazonal. Dentre estas, faz -se importante conhecer a intensidade

pluviométrica, pois, quando há uma elevada pluviosidade anual, mas com significativa distribuição ao longo período, o poder erosivo se torna menor do que uma precipitação anual mais concentrada em períodos reduzidos, ou seja, a intensidade pluviométrica representa a relação entre a quantidade de chuva (mm) e o período que houve precipitação. Para calcular a intensidade pluviométrica de uma área (Equação 1), basta dividir o valor da precipitação média anual (em mm) pela duração do período chuvoso (em meses).

Equação 1 Índice de pluviosidade

$$PMA/DPC=IP$$

Em que: PMA= precipitação média anual dividido por DPC= duração do período chuvoso, que resulta em valores da intensidade pluviométrica (IP).

As estações escolhidas como base de dados foram a estação Provisão (01439000), responsável e operadora a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), localizada Lat. 14,63° Long. 39,11°, altitude de 30 m e a estação Centro de Pesquisa do Cacau CEPEC (01439058), responsável e operadora vinculado a CEPLAC - Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira, localizada Lat. 14,75° Long. 39,23°, altitude de 50 m, série histórica de 1945 a 1978. Ambas pertencentes à Bacia do Atlântico, trecho leste e as bacias dos Rios Pardo, Cachoeira, Almada e outros.

Na indisponibilidade de informações mais precisas, a regressão linear simples correlaciona os dados de duas estações. Esse método preenche a falha realizando uma estimativa com dados obtida a partir de postos pluviométricos situados na área de estudo, foi possível realizar a reconstrução de séries históricas que são úteis para caracterização da intensidade pluviométrica. A aplicação foi realizada utilizando: os dados disponíveis na plataforma Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA); o Hidro 1.4 e o Excel 2016 para processar os dados de chuva, gerar os gráficos e aplicar o método da regressão linear simples.

A modelagem para o preenchimento de dados foi necessária para se obter a estimativa de chuvas em períodos faltantes, identificado com mais falhas entre os anos de 1945 a 1963 e 1976 a 1978. Os dados de anos mais recentes apresentaram ampla descontinuidade em anos e meses de coleta seguidos. Foram encontrados dados mais concisos e completos entre os anos de 1945 a 1978.

5.3 Avaliação multicritério

Uma vez que diversos elementos intervêm nos processos erosivos, para a identificação de áreas suscetíveis deve-se dispor de alternativas para combiná-los de forma coerente. Sendo assim, a avaliação multicritério é uma opção adequada para apoiar a tomada de decisão.

A Avaliação Multicritério destaca-se como uma técnica de auxílio ao planejamento ambiental e tomada de decisão para estratégias de priorização de áreas, uma vez que permite a análise de diferentes informações geofísicas, sociais, econômicas, etc. O método é baseado na contextualização e estruturação de um problema, seguido de análise em ambiente SIG e formulação da decisão mais adequada à realidade da área em estudo. Alguns estudos têm sido realizados utilizando a avaliação Multicritério como DE ALMEIDA *et al.* (2020); SARTORI (2010); SILVA *et al.* 2014; VALENTE 2017; VETTORAZZI 2006.

Para estabelecer a importância relativa de cada fator da hierarquia, são elaboradas matrizes de comparação para cada fator, onde os resultados das matrizes são ponderados entre si. O modelo hierárquico de Saaty (1991) é um processo de escolha baseada na lógica de comparação par a par (pairwise comparison), onde diferentes fatores que influenciam na tomada de decisão são organizados hierarquicamente, comparados entre si e um valor de importância relativa (peso) que é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida que expressa a intensidade da predominância de um fator sobre o outro, (Quadro 2).

Quadro 2 – Valores do método AHP para correlação pareada entre as variáveis

Grau de importância	Definição e Explicação
1	Importância Igual - as duas variáveis contribuem igualmente para o fenômeno.
3	Importância moderada - uma variável é ligeiramente mais importante que a outra.
5	Importância essencial - uma variável é claramente mais importante que a outra.
7	Importância demonstrada - um fator é fortemente favorecido e sua relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema - A evidência que diferencia as variáveis é da maior ordem possível.
2,4,6 e 8	Valores intermediários entre julgamentos.

Fonte: Adaptado de Saaty (1991).

5.4 Seleção de critérios

O município de Ilhéus está localizado no litoral do estado da Bahia, sua área urbana destacada em todos os mapas, está inserida entre a Planície Costeira e os Mares de Morros (AB'SÁBER, 2003), devido às suas características ambientais de variação altimétrica e declividade, presença dominante da vegetação de Mata Atlântica, bem como mangue e restinga, tornam o município alvo de estudos ambientais por caracterizar-se como região de contraste entre o desenvolvimento urbano e as áreas de preservação permanente (APP).

Dada a situação de estudo, os critérios descritos no Quadro 3, declividade, solo, o uso e cobertura da terra, e as rochas foram julgadas como de maior importância, respectivamente. Os fatores relativos (tipo de solo, tipos de rochas, cobertura, uso e ocupação e declividade) e do fator restritivo (intensidade da chuva).

Quadro 3 – Critério de avaliação das condicionantes ambientais

Fatores	Critérios
Geologia	Tempo geológico
Solos	Maturidade pedogenética
Declividade	Variação da declividade
Vegetação/uso da terra	Proteção da paisagem
Intensidade pluviométrica	Erosividade

Fonte: Crepani et al. (1996; 2001).

Os critérios, fatores e características estão listados na Tabela 2, a cada fator é possível atribuir uma importância relativa, representada pelos pesos. Pode-se observar que o somatório dos pesos é igual a 1, distribuídos do seguinte modo: 0,29 (29%) para o critério declividade; 0,21 (21%) para solos; 0,13 (13%) para cobertura (usos) do solo; 0,23 (23%) para rochas e 0,14 (14%) para intensidade pluviométrica.

Considerando-se todos os fatores, o de maior peso é a declividade (0,29), seguido das rochas (0,23), solos (0,21), intensidade pluviométrica 0,14 e uso e cobertura vegetal (0,13). Os fatores de cobertura vegetal apresentam pesos relativos mais baixos, pois eles assumem maior importância quando combinados principalmente com os fatores declividade e solo.

Tabela 2

Tabela 2 – Critérios, fatores e características indicadoras adotadas na classificação quanto à suscetibilidade a processos erosivos no município de Ilhéus-BA

Fatores	Características indicadoras	Escala	Peso
Declividade	Plano (0-5%)	1,0	0,29
	Suave ondulado (5-15%)	2,0	
	Ondulado (15-30%)	3,0	
	Muito ondulado (>30%)	3,0	
Solos	Latossolo	1,0	0,21
	Argissolo	2,0	
	Espodossolo	2,0	
	Luvissolo	2,0	
	Gleissolo	3,0	
	Neossolo	3,0	
Cobertura e uso	Formação vegetal	1,0	0,13
	Formação Savânica	1,0	
	Mangue	1,0	
	Campo alagado e área pantanosa	1,0	
	Praia, duna e areal	1,0	
	Restinga	1,0	
	Outras formações não florestais	2,0	
	Área urbana	2,0	
	Agricultura	2,0	
	Pastagem	3,0	
	Mosaico de agricultura e pastagem	3,0	
Outras áreas não vegetadas	3,0		
Geologia	Arqueano Mesoarqueana.	1,0	0,23
	Proterozoico Paleoproterozoica Riáciano.	1,3	
	Proterozoico Neoproterozoica Criogeniano.	1,5	
	Proterozoico Paleoproterozoica Sideriano.	1,5	
	Fanerozoico Cenozoica Neógeno M. L.	2,7	
	Fanerozoico Mesozoica Cretáceo Superior.	2,8	
	Fanerozoico Mesozoica Cretáceo Inferior B.	2,9	
	Fanerozoico Mesozoica Jurásico Superior.	2,9	
	Fanerozóico Cenozóico Quaternário P.	3,0	
Fanerozoico Cenozoica Quaternário H.	3,0		
Intensidade pluviométrica	0,0-3,0	1,0	0,14
	4,0-0,7	2,0	
	7,0- >	3,0	

Fonte: Autores (2022)

De acordo com Silva et al. (2009) a técnica AHP baseia-se numa matriz quadrada de $n \times n$, de comparação entre os n critérios, onde as linhas e as colunas correspondem aos critérios, sendo o resultado igual à importância relativa do critério da linha face ao critério da coluna.

Neste contexto, os valores de entrada nas matrizes foram obtidos com base na comparação dois-a-dois (para a par) dos fatores que influenciam na fragilidade ambiental. A partir da comparação pareada foi definido o critério de importância relativa entre os fatores, conforme uma escala pré-definida de 1 a 9, onde o valor 1 equivale ao mínimo, e 9 o máximo de importância de um fator sobre o outro.

De cada matriz de comparação pareada foram extraídos seus autovetores, que correspondem ao peso de importância relativa para cada fator considerado. Os autovetores resultantes da matriz de comparação dos atributos são denominados pesos. Esta técnica para obtenção de pesos está descrita em detalhes em Saaty, 1991, Eastman et al. (1995) e também em Ferraz e Vettorazzi (2003).

5.5 Elaboração da carta de vulnerabilidade natural à erosão

A combinação Linear Ponderada (CLP) é um dos métodos mais utilizados na análise multicritério. A partir da CLP, os fatores são combinados pela atribuição, a cada um deles, de um peso de importância relativa calculado previamente no AHP.

A partir da determinação dos valores individuais de vulnerabilidade à processos erosivos de cada condicionante ambiental com relação à Declividade, Pedologia, Cobertura, uso e ocupação da Terra, Geologia e Intensidade pluviométrica, pode ser definida, empírica e relativamente, através da Equação 2.

Utilizou-se a calculadora raster no QGIS 3.10, foi elaborada a equação de álgebra de mapas para a geração do mapa. A combinação Linear Ponderada (CLP) é o método de integração dos fatores. Consiste na multiplicação de cada mapa pela soma de seu respectivo peso e média da vulnerabilidade adquirida em Crepani (2001) pelo produto de todos esses fatores ponderados. Desta forma, a equação que descreve o potencial de erosão será:

Equação 2 Potencialidade aos processos erosivos

$$"Va = (\text{Declividade} * P1) + (\text{Pedologia} * P2) + (\text{Cobertura, uso e ocupação} * P3) + (\text{Geologia} * P4) + (\text{Intensidade pluviométrica} * P5)"$$

Em que: Va = Vulnerabilidade ambiental e P1, P2, P3, P4, P5 = Pesos da Análise Hierárquica Ponderada.

Para o cruzamento dos mapas optou-se por dados matriciais, isso porque neste formato cada pixel do mapa resultante é fruto do cruzamento dos pixels dos outros mapeamentos existentes na mesma coordenada x, y. Para tanto foi necessário transformar os mapas do formato vetorial para o formato matricial. O resultado deste cruzamento é a Carta de vulnerabilidade a processos erosivos, produto de análise que busca integrar o ambiente, ao abordar a região como um sistema composto por múltiplas variáveis que se inter-relacionam.

6. Resultados e discussão

6.1 Declividade

O relevo do município de Ilhéus apresenta-se majoritariamente dentro de baixas amplitudes hipsométricas de até 250 m (Figura 2), porém com médias a altas amplitudes de declividade, entre 15 a 30%, com predominância de declividade acima de 30%, o que corresponde a baixa estabilidade.

De acordo com o mapeamento, aproximadamente 40,36% do município apresenta vulnerabilidade alta e muito alta, com declividade acima de 30%, predominantemente presente na área urbana em destaque no mapa (Figura 3), percentual limite para o parcelamento do solo segundo a Lei nº 6.766 de 1979 (BRASIL, 1979) que dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano.

Além desses valores, o município possui 28,91% de declividade entre 0 – 5%; 30,73% de declividade entre 5-15%; 27,86% de declividade entre 15-30%; e 12,50% de declividade acima de 30% (Tabela 3). À medida que a declividade aumenta, a vulnerabilidade também, em razão do maior potencial de geração de escoamento superficial e, conseqüentemente, maior suscetibilidade à erosão e risco de movimentos de massa.

Tabela 3 – Área do município em relação às classes de Declividade

Classe de Relevo	Declividade %	Classe Hierárquica	Área em km ²	Área em %
Plano	0-5%	Muito baixa/Baixa	467,51	28,91%
Suave ondulado	5-15%	Média	496,92	30,73%
Ondulado	15-30%	Alta	450,39	27,86%
Muito ondulado	>30%	Muito alta	202,08	12,50%

Fonte: IBGE (2001)

O mapeamento da declividade demonstra a dissecação do relevo desta região. Vale destacar que essa classificação considera a vulnerabilidade ambiental/natural da declividade, sendo esta influenciada diretamente pela forma de uso e ocupação dada a sua superfície, de modo que, quanto mais desprovido de vegetação, o solo fica mais vulnerável aos efeitos erosivos.

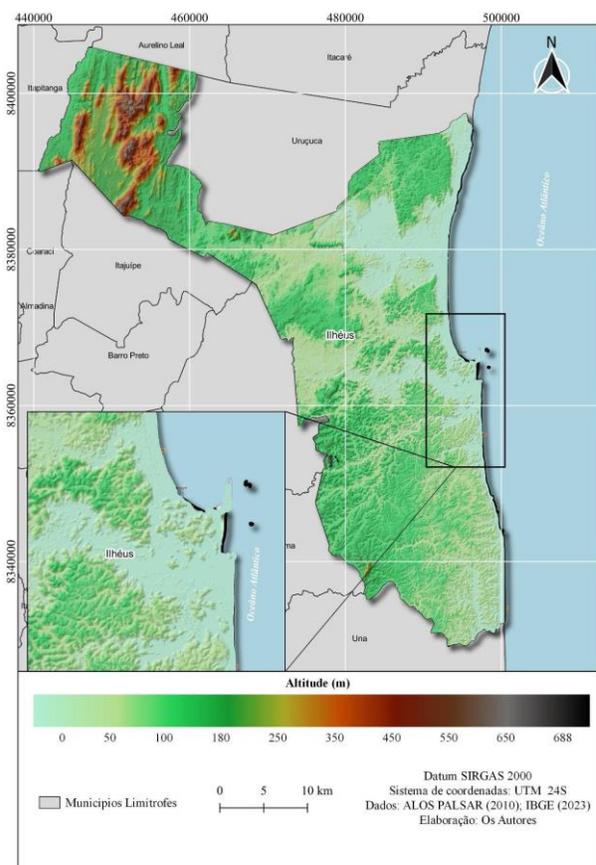


Figura 2 – Carta de Hipsometria do município de Ilhéus
Fonte: Alos Palsar (2010); IBGE (2023).

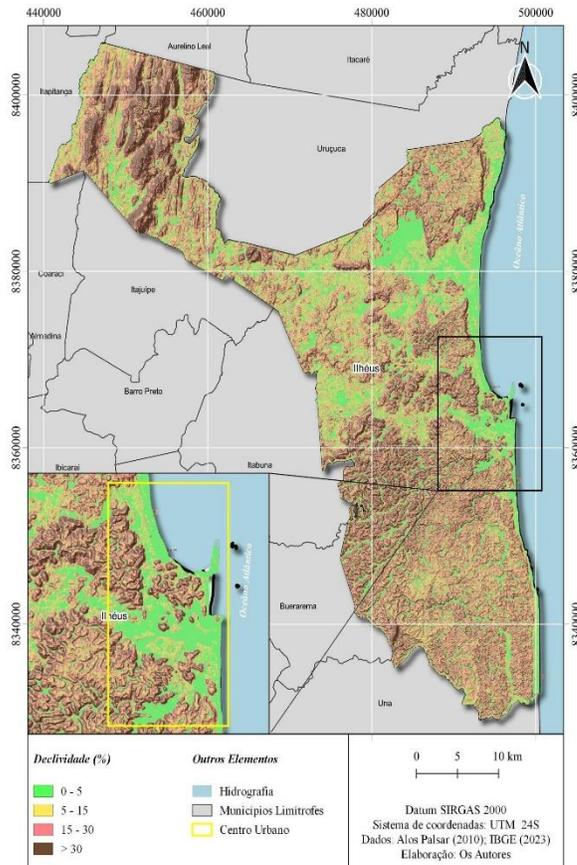


Figura 3 – Carta de Declividade do município de Ilhéus
Fonte: Alos Palsar (2010); IBGE (2023).

6.2 Pedologia

Na área urbana em destaque no mapa predominam os latossolos (Figura 4), classificados com valor de estabilidade 1,0 e 52% da área do município, solos profundos, mas que associados a declividade, chuva e desmatamento, tornam-se mais suscetíveis a erosão.

Os latossolos tendem a ser encontrados em áreas de relevo mais estáveis e desenvolvidos (plano a suave ondulados), usualmente distróficos, ou seja, o fluxo vertical de água prevalece, intensificando o intemperismo, formação e homogeneização do material pedológico, estes aspectos favorecem a pedogênese. Os segmentos em questão correspondem ao interflúvio (divisor de água) e a vertentes convexas, ou seja, no topo dos morros.

Em contraste, nos segmentos mais instáveis e portanto mais jovens, usualmente eutróficos, possuem predominância de processos erosivos: encostas com declives retilíneos e convexos, característica que é presente no relevo da área urbana além de densamente ocupada; ou relevos deposicionais: segmentos côncavos e taludes colúvies/aluviais, estes aspectos favorecem a morfogênese, onde os solos tendem a ser mais jovens e diversificados, como os Argissolos e Gleissolos, correspondentes a 9% e 2% da área do município e valor de estabilidade 2,0 e 3,0 respectivamente.

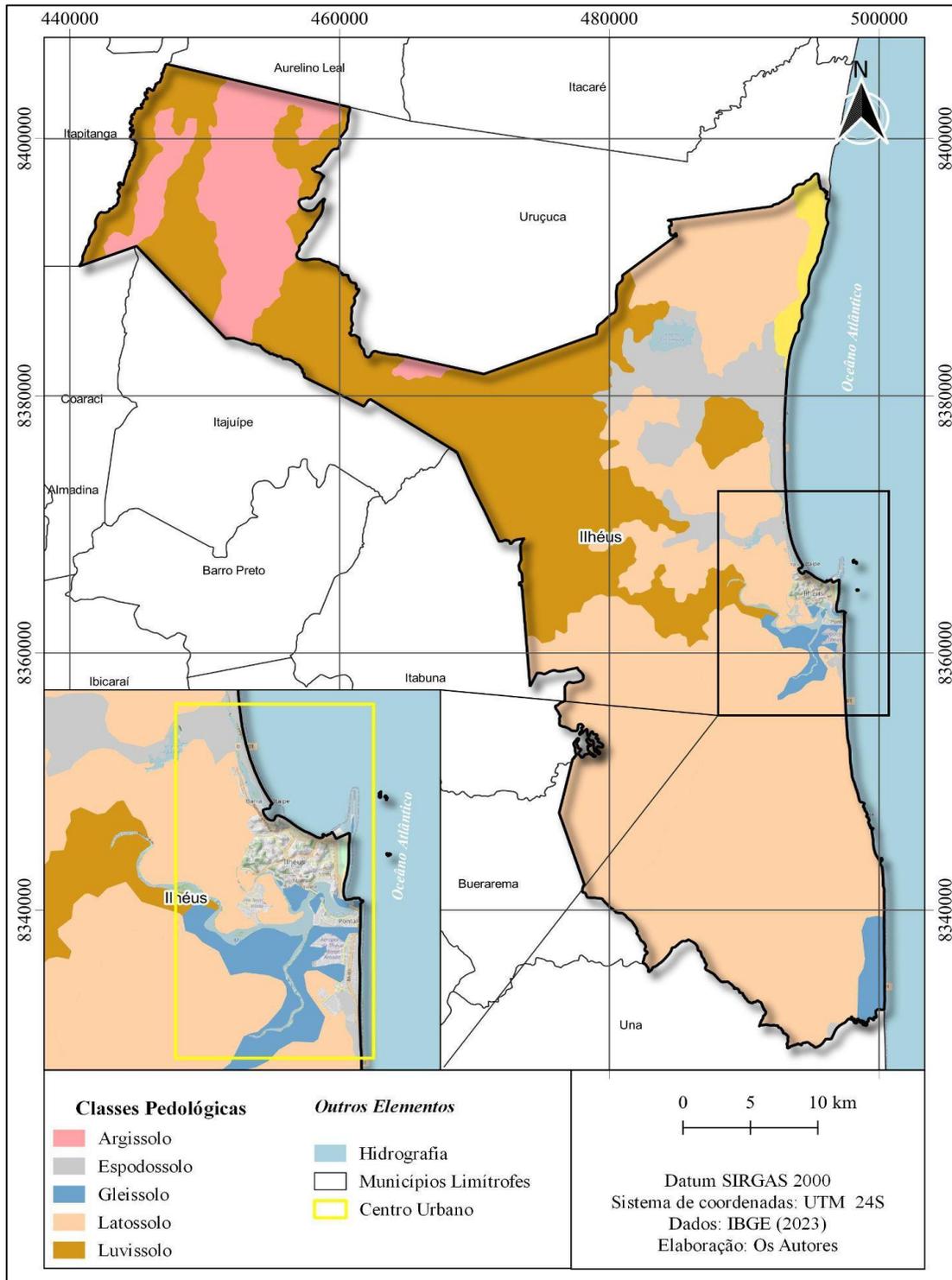


Figura 4 – Carta de Pedologia do município de Ilhéus
 Fonte: IBGE (2023).

Os Argissolos quando situados em áreas declivosas apresentam maior suscetibilidade a processos erosivos, pela alta concentração de argila que dificulta processos de infiltração e a saturação do horizonte superior favorecem o desenvolvimento de enxurradas (deslizamento do tipo laminar), e quando estas áreas apresentam ocupações urbanas sem planejamento, associado à: realização de intervenções inadequadas são fatores que potencializam a ocorrência de processos erosivos e deslizamentos, como já identificado por Franco (2008).

Predominam também os Luvisolos com valor de estabilidade 2,0 ocupando 30% da área do município. O Luvisolo é uma ordem de solo constituída por argilas de atividade alta e eutrófico, ou seja, ambientes que possuem predominância de processos erosivos.

Esse tipo de solo ocorre principalmente em superfícies jovens. Nesse ambiente, tais solos ocorrem comumente associados com Planossolos (não identificado no mapeamento) e Neossolos, que abrange 1% da área do município, obtém o valor 3,0 de estabilidade e classe Alta/Muito alta. Foram consideradas apenas as classes de solo predominantes para reclassificação no formato matricial segundo os valores mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Área atribuída às classes de solos

Classe de Solo	Relevo associado (IBGE)	Classe Hierárquica	Área em km ²	Área em %
Latossolo	Ondulado/forte ondulado	Alta/Muito alta	809,44	52%
Argissolo	Ondulado/montanhoso	Média	140,94	9%
Espodossolo	Plano	Muito baixa/baixa	94,95	6%
Luvisolo	Suave ondulado e ondulado	Média	468,56	30%
Gleissolo	Plano	Muito baixa/baixa	26,27	2%
Neossolo	Plano/ondulado	Muito baixa/baixa	18,87	1%

Fonte: Crepani *et al.* (1996; 2001). Dados: IBGE (2001).

6.3 Cobertura, uso e ocupação

Com base na Carta de Cobertura, uso e ocupação foi possível observar que essa região vem sofrendo um processo de desequilíbrio de suas funções ambientais causado pelo desmatamento para construção civil, observa-se a quase completa ocupação urbana na área costeira do município. De acordo com este mapeamento, a principal classe de uso ocupação e cobertura da terra (Tabela 5) é a de Formação Florestal (71,59% da área total), seguida de Mosaico de agricultura e pastagem (13,22%) e pastagem (11,15%), e somente 0,70% da vegetação de Mangue, 0,55% de restinga arborizada se comparado com a extensão do litoral (Figura 5).

Tabela 5 – Área do município em relação a Cobertura, uso e ocupação

Cobertura, uso e ocupação	Classe Hierárquica	Área em km ²	Área em %
Formação Savânica	Baixa	0,39244	0,00%
Praia, Duna, Areal	Baixa	0,92425	0,00%
Outras formações não florestais	Média	104,147	0,07%
Campo alagado e área pantanosa	Baixa	142,254	0,09%
Outras áreas não vegetadas	Alta	156,801	0,10%
Restinga	Baixa	872,246	0,55%
Mangue	Baixa	1.115,041	0,70%
Rio, Lago, Oceano	-	1.584,221	1,00%
Área urbana	Média	2.458,555	1,55%
Pastagem	Alta	17.725,592	11,15%
Mosaico de agricultura e pastagem	Alta	21.016,407	13,22%
Formação florestal	Baixa	113.820,473	71,59%
TOTAL		158.995,737	100%

Fonte: MapBiomias, 2020.

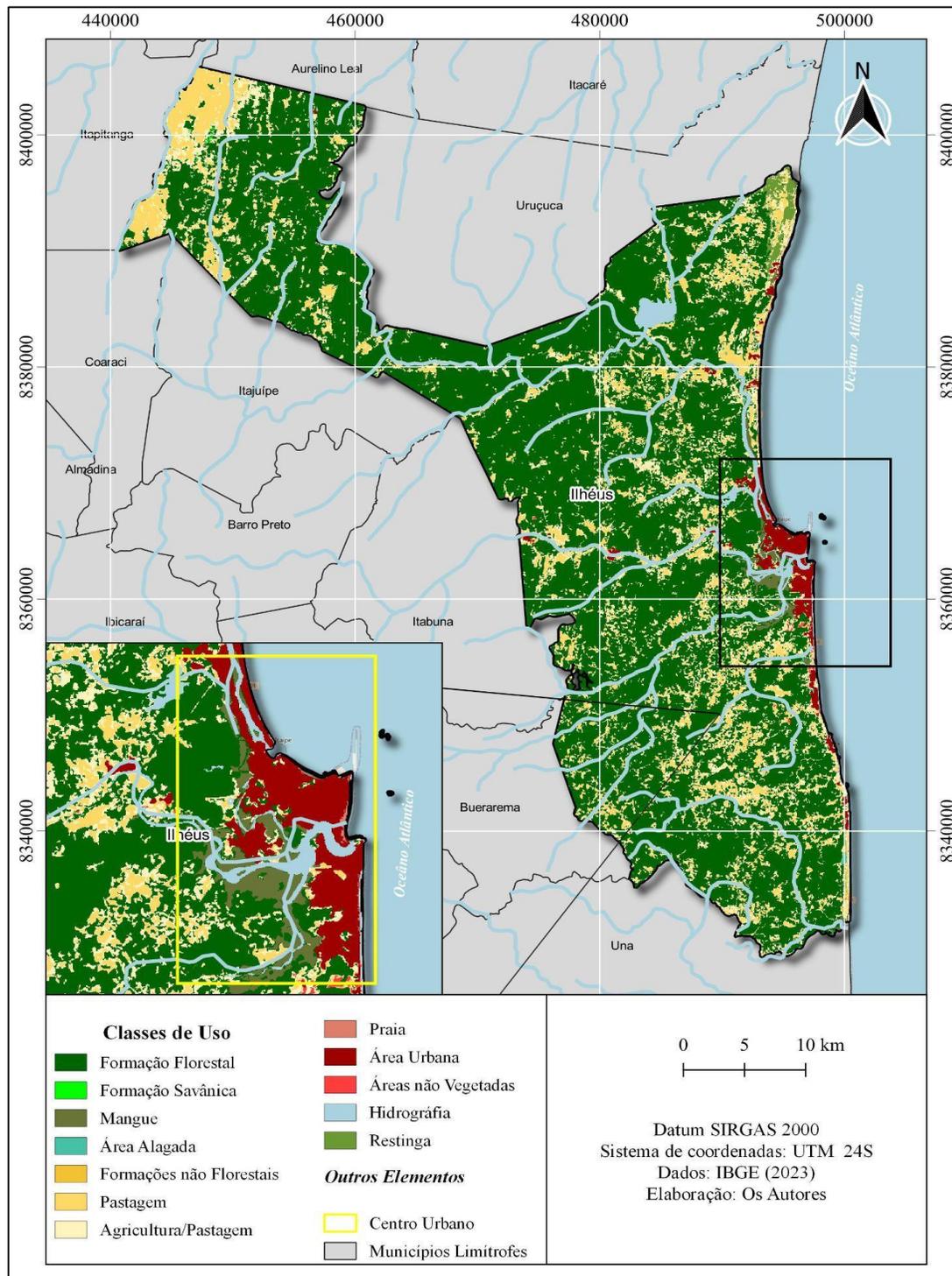


Figura 5 – Carta de Uso e cobertura do município de Ilhéus
 Fonte: IBGE, 2023.

Nas altas densidades de cobertura vegetal os valores atribuídos na escala de estabilidade se aproximam de 1,0, para as densidades intermediárias atribuem-se valores intermediários por volta de 2,0, e para baixas densidades de cobertura vegetal valores próximos 3,0 de estabilidade.

6.4 Geologia

Na área urbana predominam as formações Proterozóico Paleoproterozóica Riaciono, rochas do tipo Gnaiss granulítico, metagabrorito, Enderbitó, Metabasalto, Metadiorito, Metanorito e Metagabro (Figura 6), classificadas como rochas Ígneas e metamórficas.

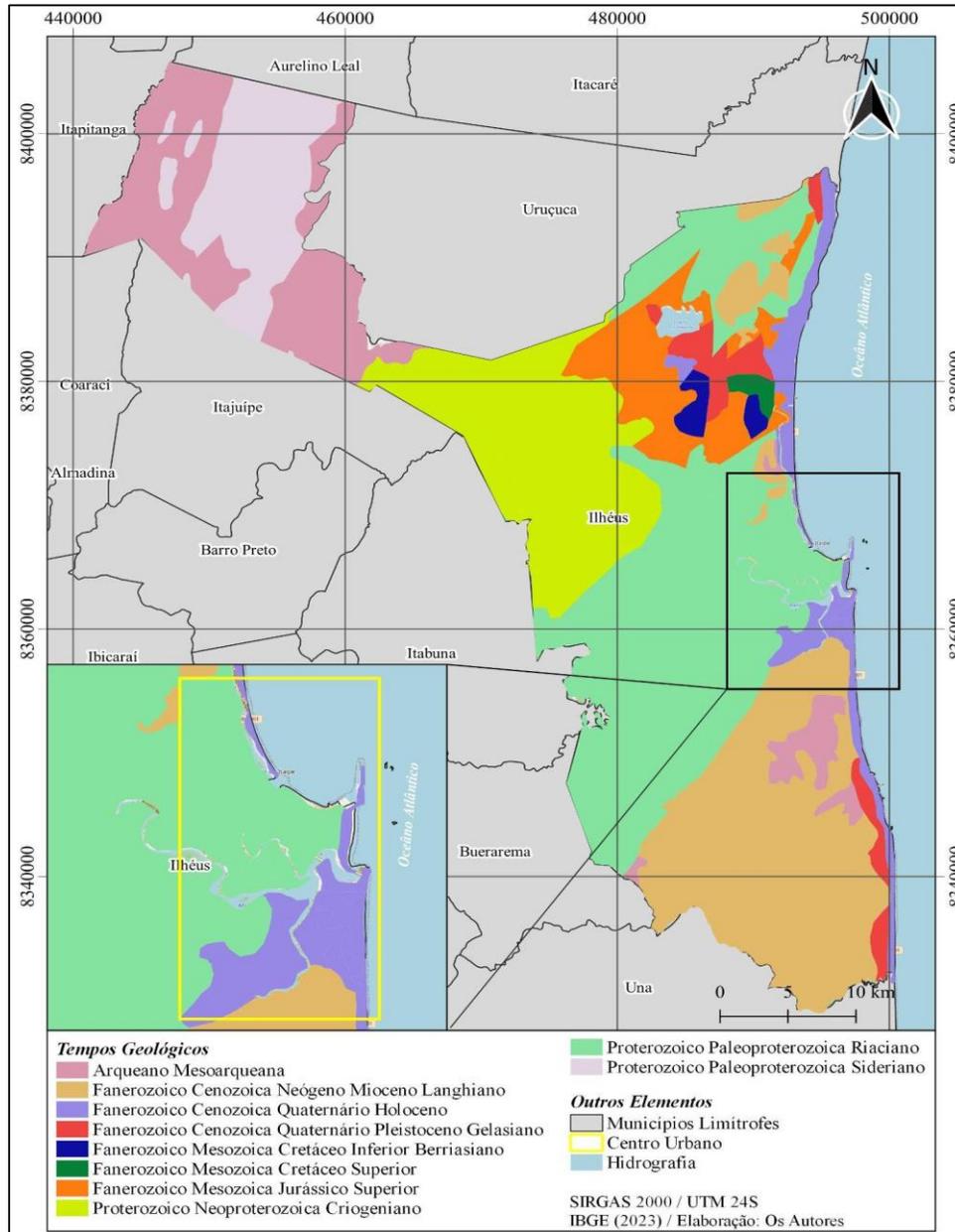


Figura 6 – Carta de Geologia do município de Ilhéus
 Fonte: IBGE (2023)

Estas rochas possuem baixa vulnerabilidade, no valor de 1,3 e área 457,13 km², apesar do baixo valor de vulnerabilidade, ou seja, alta estabilidade, essa formação deu origem aos morros de média a alta declividade, predominância de processos morfogenéticos, como maior fluxo de escoamento superficial e, ou seja, mais suscetível a erosão. Predominam também as formações Fanerozóico Cenozóico Quaternário Holoceno, rochas formadas por depósitos de argila, areia e silte, classificadas por rocha sedimentar, possui baixa estabilidade, no valor de 4,6 e área 60,94 km², em compensação possui relevo plano, característica que predomina a pedogênese em relação a morfogênese.

Formações mais antigas, dos tipos graníticos e gnáissicos com rochas ígneas e metamórficas recebem valores de vulnerabilidade mais baixos, por possuírem maior resistência aos processos erosivos e movimentos de massa. Com o propósito de atribuir um valor dentro de uma escala de vulnerabilidade, as litologias mais comumente encontradas foram reunidas na Tabela 6, considera os aspectos com relação ao grau de coesão das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares.

Tabela 6 – Área atribuída às rochas

Tempo Geológico	Classe Rochosa	Classe Hierárquica	Área em km²	Área em %
Arqueano Mesoarqueana.	Ígnea, metamórfica	Muito Baixa	204,19	12,99
Proterozoico Paleoproterozoica R.	Ígnea, metamórfica	Muito Baixa	457,13	29,09
Proterozoico Neoproterozoica C.	Ígnea	Baixa	232,54	14,80
Proterozoico Paleoproterozoica S.	Metamórfica	Baixa	134,13	8,54
Fanerozoico Cenozoica N. M. L.	Rocha sedimentar ou sedimentos	Média	324,59	20,66
Fanerozoico Mesozoica Cretáceo S.	Sedimentar (ou Sedimentos)	Média	6,81	0,43
Fanerozoico Mesozoica Cretáceo Inferior Berriasiano.	Sedimentar (ou Sedimentos)	Média	13,21	0,84
Fanerozoico Mesozoica Jurássico Superior.	Sedimentar (ou Sedimentos)	Média	95,77	6,09
Fanerozoico Cenozoica Q. Pleistoceno.	Rocha sedimentar ou sedimentos	Muito alta	42,07	2,68
Fanerozoico Cenozoica Q. Holoceno.	Rocha sedimentar ou sedimentos	Muito alta	60,94	3,88

Fonte: Crepani et al. (1996; 2001). Dados: CPRM (2003).

6.5 Estabilidade/vulnerabilidade da intensidade pluviométrica

Os valores de intensidade pluviométrica exibidos na Figura 7 representam os valores de energia potencial disponível para transformar-se em energia cinética responsável pela Erosividade, logo, quanto maiores os valores, maior é a Erosividade, sendo possível criar uma escala de Erosividade que representa a influência da precipitação nos processos erosivos e de escorregamento de massa.

De acordo com Crepani et. al. (1996;2001) sobre a escala de Erosividade: pode ser construída de maneira a comportar 21 classes de Erosividade e associar valores, relativos e empíricos, de vulnerabilidade natural à perda de solo, uma vez que quanto maior a Erosividade maior é a perda de solo das unidades de paisagem natural.

Dessa forma, regiões que apresentem menores índices pluviométricos anuais e maior duração para o período chuvoso receberão valores próximos à estabilidade 1,0, aos valores intermediários associam-se os valores de vulnerabilidade/estabilidade ao redor de 2,0, e regiões de maiores índices de pluviosidade anual e menor duração do período chuvoso atribuem-se valores próximos da vulnerabilidade 3,0.

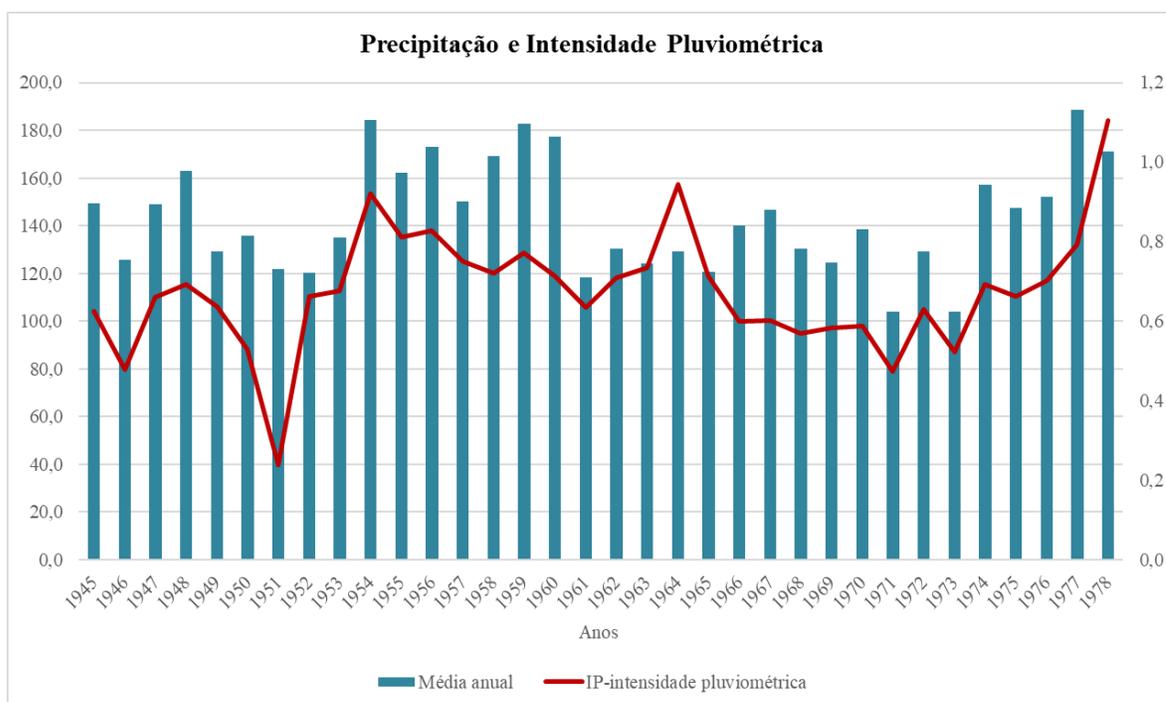


Figura 7 – Precipitação e Intensidade pluviométrica
 Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)

Os valores de intensidade pluviométrica calculados dessa maneira estão na Tabela 7 abaixo, que apresenta o resultado da razão entre precipitação média anual (PMA) e duração do período chuvoso (DPC), que resulta em valores de intensidade pluviométrica (IP) e seus respectivos valores de estabilidade/vulnerabilidade para o município de Ilhéus.

Tabela 7 – Valores de estabilidade/vulnerabilidade atribuídos à intensidade pluviométrica

Ano	PMA	DPC	IP	E/V	Classe Hierárquica
1945	149,3	239	0,6	2,0	Médio
1946	125,6	263	0,5	2,0	Médio
1947	149,0	226	0,7	2,0	Médio
1948	162,9	235	0,7	2,0	Médio
1949	129,2	203	0,6	2,0	Médio
1950	135,6	256	0,5	2,0	Médio
1951	121,8	512	0,2	1,0	Baixo
1952	120,4	182	0,7	2,0	Médio
1953	135,2	200	0,7	2,0	Médio
1954	184,1	200	0,9	3,0	Alto
1955	162,2	200	0,8	3,0	Alto
1956	173,2	209	0,8	3,0	Alto
1957	150,3	200	0,8	3,0	Alto
1958	169,2	235	0,7	2,0	Médio
1959	182,6	237	0,8	3,0	Alto
1960	177,3	249	0,7	2,0	Médio
1961	118,5	187	0,6	2,0	Médio
1962	130,4	184	0,7	2,0	Médio
1963	124,0	169	0,7	2,0	Médio

1964	129,3	137	0,9	3,0	Alto
1965	120,7	169	0,7	2,0	Médio
1966	140,1	234	0,6	2,0	Médio
1967	146,8	244	0,6	2,0	Médio
1968	130,2	229	0,6	2,0	Médio
1969	124,7	214	0,6	2,0	Médio
1970	138,6	236	0,6	2,0	Médio
1971	104,1	220	0,5	2,0	Médio
1972	129,1	205	0,6	2,0	Médio
1973	103,9	199	0,5	2,0	Médio
1974	157,1	227	0,7	2,0	Médio
1975	147,6	223	0,7	2,0	Médio
1976	152,2	217	0,7	2,0	Médio
1977	188,6	238	0,8	3,0	Alto
1978	171,2	155	1,1	3,0	Alto

Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)

Em que: PMA= Precipitação média anual; DPC= Duração do período chuvoso; IP= Intensidade pluviométrica; E/V= Valores de estabilidade/vulnerabilidade.

6.6 Carta de vulnerabilidade aos processos erosivos

Analisa-se que os locais com vulnerabilidade muito alta situam-se na área urbana em destaque no mapa, também em corpos d'água e áreas de restinga arborizada. Verifica-se ainda a presença de alta vulnerabilidade nas áreas costeiras, não vegetadas, pastagens e mosaicos de agricultura. Ou seja, apresentam as mais altas vulnerabilidades nas áreas onde há alto risco não apenas de erosão, mas onde a perda da biodiversidade já ocorre, como na área urbana, corpos d'água e áreas com predomínio de pastagens. A classe de vulnerabilidade média encontra-se principalmente nas áreas de Luvisolos, enquanto que a classe de vulnerabilidade muito baixa e baixa situa-se, sobre as áreas de Argissolo e Latossolo.

Quando realizada a Equação de Potencialidade aos processos erosivos para obtenção da Vulnerabilidade ambiental/natural a erosão, observa-se que na distribuição dos pesos houve a maior consideração sobre a declividade em relação aos outros temas, com peso de 0,33, devido a este aspecto ter forte influência nos processos erosivos e deslizamentos, enquanto o menor peso distribuído foi para geologia de 0,14. Com a realização da técnica AHP há a atribuição dos pesos de maior para menor importância na seguinte ordem: declividade, pedologia, cobertura, uso e ocupação e geologia. A carta de vulnerabilidade, (Figura 8) é o resultado da sobreposição das cartas base em formato raster com a soma dos valores de vulnerabilidade estabelecidos por Crepani (1996; 2001) e pesos AHP, resultando na seguinte classificação na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores das classes de Estabilidade/Vulnerabilidade aos processos erosivos

Classes de vulnerabilidade	Intervalo	Área km ²	Área (%)
Muito baixa	0 – 1.000	43.698.351	28%
Baixa	1.000 – 1.250	83.144.632	54%
Média	1.250 – 1.800	21.642.716	14%
Alta	1.800 – 2.000	5.566.955	4%
Muito alta	2.000 – 2.800	1.119.965	1%
	Total	155.172.619	100%

Fonte: Autores

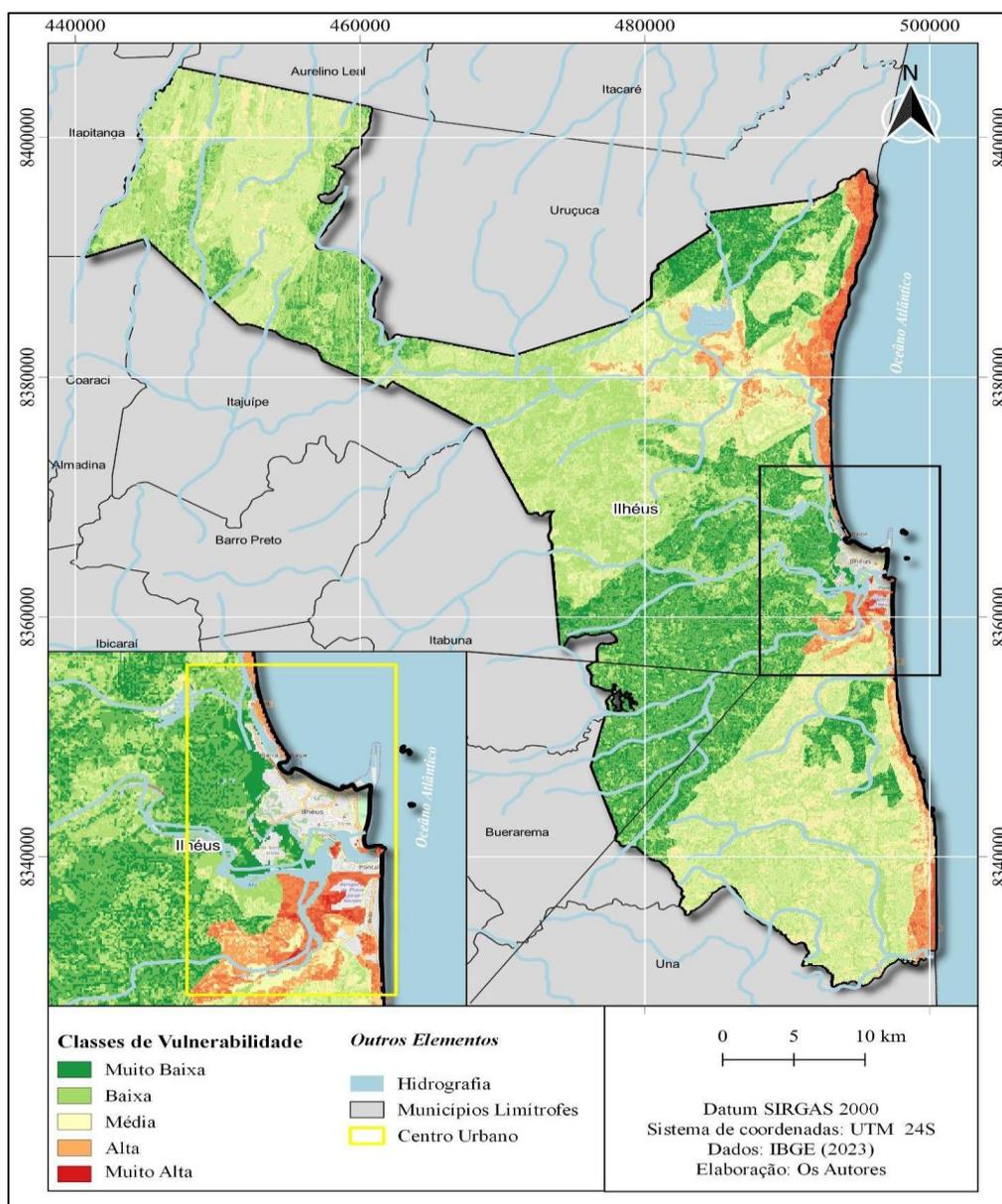


Figura 8 – Carta de vulnerabilidade aos processos erosivos do município de Ilhéus
 Fonte: IBGE (2023)

A Estabilidade/vulnerabilidade no município de Ilhéus encontra-se distribuída da seguinte forma: vulnerabilidade muito baixa, 1% da área; vulnerabilidade baixa, 27%; vulnerabilidade média, 30%; vulnerabilidade alta, 35%; e vulnerabilidade muito alta, 8%. Verifica-se que as maiores porcentagens da área do município estão classificadas como alta e média, somando 65%, enquanto que muito alta apenas 8%. O total de porcentagem do município com vulnerabilidade de baixa vulnerabilidade soma-se 28%, (Figura 9).

A classe de vulnerabilidade muito baixa representa as coberturas geológicas de formações mais antigas, com tipos litológicos metamonzonito, metasienito, metagabronorito, metamonzodiorito, classe rochosa metamórficas, de relevo muito ondulado, solos do tipo argissolo, que apesar de estar situado em área declivosa, apresenta baixa vulnerabilidade por conta da cobertura vegetal e formas de uso e ocupação da terra que propiciam maior estabilidade à paisagem. Na classe de baixa vulnerabilidade estão as declividades de suave ondulado a ondulado, cobertura geológica de média vulnerabilidade,

do tipo geológico Argilito arenoso e argilito conglomerático, classe de rocha sedimentar, classe de solo Latossolo e densidade de cobertura vegetal e formas de uso e ocupação que tornam a paisagem menos vulnerável.

Os fatores determinantes para as classes de vulnerabilidade média, alta e muito alta são o aumento da declividade, a cobertura geológica mais recente com tipos litológicos argilosos e arenosos, classe rochosa sedimentar e formas de cobertura, uso e ocupação de maior vulnerabilidade, como a presença de restinga e corpos d'água, pastagens, áreas não vegetadas e mosaicos de agricultura.

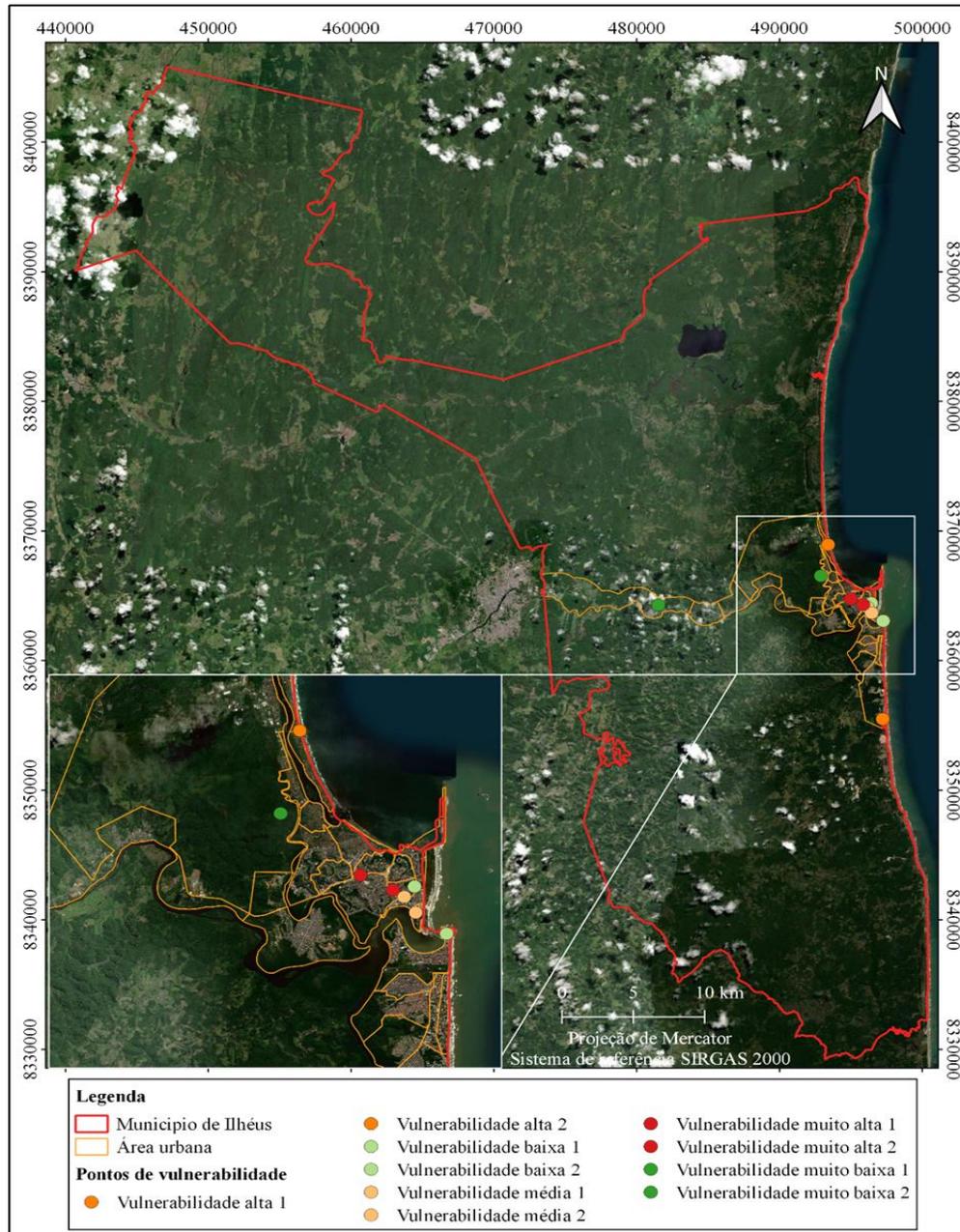


Figura 9 – Localização dos pontos de vulnerabilidade

Fonte: Google Earth, 2022.

6.7 Áreas de vulnerabilidade muito baixa

A classe de nível de risco vulnerabilidade muito baixa ao processo erosivo foi definida compreendendo a faixa de valores em intervalo igual entre o mínimo 0 e 0,85000. Espacialmente, esta classe está representada por áreas situadas em maior quantidade da faixa leste a sudoeste do município. Essa região corresponde aos ambientes em equilíbrio, onde a estabilidade morfogenética prevalece. Não apresentam maiores problemas ambientais para o desenvolvimento de atividades socioeconômicas, desde que estabelecidas normas e critérios de saneamento e infiltração do solo, a fim de não favorecer a ocorrência de processos erosivos

Este setor apresentou, na totalidade, os menores valores no mapa de vulnerabilidade a processos erosivos, mesmo registrando valores de média altitude e declividade. Observa-se, ainda, o uso e cobertura da terra com grande percentual de vegetação densa, outra característica para se manter elevado o nível de conservação e a baixa vulnerabilidade a processos erosivos. O relevo varia entre suave ondulado a muito ondulado com declividade a partir de 15% até 30%.

As áreas representativas da classe de nível de risco muito baixo ocupam 10% da área total e estão distribuídas espacialmente no município conforme Figura 10, como também alguns registros fotográficos de seus aspectos. Os locais apresentam altitudes de 36 metros e 34 metros respectivamente. Observa-se na primeira fotografia a conservação da vegetação de manguezal, em primeiro plano, e em segundo plano morros com mata atlântica densa.



Ponto 1



Ponto 2

Figura 10 – Áreas de vulnerabilidade muito baixa

6.8 Áreas de vulnerabilidade baixa

A classe de nível de vulnerabilidade baixa ao processo erosivo foi definida compreendendo a faixa de valores em intervalo igual entre o mínimo 0,85000 a 1,20437. Espacialmente, esta classe está representada por áreas situadas em maior quantidade da faixa noroeste do município. O relevo varia entre Plano e suave ondulado, apresenta declividades entre 0 e 15%, as localidades fotografadas apresentam altitudes de 8 metros e 49 metros respectivamente. Observa-se, ainda, que a influência de degradações é praticamente mínima nestas áreas.

As áreas correspondentes a esta classe ocupam 18% da área total do município, representando a maior extensão dentre as 5 classes de nível de vulnerabilidade. A distribuição espacial desta classe e registros fotográficos de aspectos da paisagem são observados na Figura 11. Correspondem aos ambientes em equilíbrio, onde a estabilidade morfogenética prevalece. Não apresentam graves problemas ambientais para o desenvolvimento de atividades socioeconômicas, desde que estabelecidos normas e critérios de saneamento e infiltração do solo, a fim de não favorecer a ocorrência de inundações e alagamentos.

Na primeira fotografia nota-se que o nível de uso e ocupação é baixo, o que mantém o ambiente em equilíbrio. Na segunda fotografia é possível visualizar o processo geomorfológico de deposição dos sedimentos marinhos, em ambas as

localidades a estabilidade morfogenética prevalece. As manchas de Gleissolos e ecossistema de manguezal, além da vegetação de restinga, estão localizadas nas proximidades do núcleo urbano do município.



Ponto 1



Ponto 2

Figura 11– Áreas de vulnerabilidade baixa

6.9 Áreas de vulnerabilidade média

Para a representação da classe de nível de vulnerabilidade média aos processos erosivos, tomaram-se os valores de 1,20437 a 1,43495. Esta classe, que abrange os valores intermediários de níveis de vulnerabilidade, tem os setores representativos ocupando 5% da totalidade do município, as localizações acontecem em manchas de Pastagem (ou solo exposto).

A distribuição espacial desta classe e registros fotográficos de aspectos de suas paisagens são mostrados na Figura 12. A região contempla as áreas de relevo bastante variado, indo do plano ao muito ondulado, as localidades representadas na figura apresentam altitude de 23 metros e 30 metros respectivamente.

Correspondem aos sistemas ambientais com ecodinâmica de ambientes de transição, onde há frágil equilíbrio entre as condições de morfogênese e pedogênese. Também são suscetíveis a ocorrências de processos erosivos. Esses ambientes podem ser degradados pelas atividades socioeconômicas e também necessitam de critérios específicos para uso e ocupação da terra.



Ponto 1



Ponto 2

Figura 12 – Áreas de vulnerabilidade média

Na primeira fotografia, apesar da presença de uma vegetação que varia entre árvores de grande porte, arbustos e bambuzal, nota-se a existência de cicatrizes de escorregamento. Na segunda fotografia tem-se uma vista panorâmica do estuário dos rios Cachoeira e Santana e fragmentos de manguezal. Do ponto fotografado há uma encosta bastante declivosa, sem cicatrizes de escorregamento e pouca vegetação presente, aspecto que permite um menor nível de estabilidade dos aspectos físicos.

6.10 Áreas de vulnerabilidade alta

Para definição das áreas que compreendem a classe de nível de vulnerabilidade alta aos processos erosivos, tomou-se por base a faixa de intervalo igual do mapa gerado na combinação linear de 1,43495 a 1,59938. Ocupa praticamente toda a faixa litorânea, área de solos Espodossolo, Neossolo e Latossolo, vegetação de restinga. Nestes setores, as classes de relevo plano e suave ondulado, de menores pesos e altitude de 5 metros e 13 metros respectivamente representadas na fotografia da Figura 13.



Ponto 1



Ponto 2

Figura 13 – Áreas de vulnerabilidade alta

Destas observações, infere-se que a faixa litorânea do município abrange as áreas que oferecem maiores riscos aos processos erosivos. A classe de nível de vulnerabilidade alta aos processos erosivos, ocupa 1% da área total. A distribuição espacial na bacia hidrográfica dos setores representativos desta classe e registros fotográficos de paisagens destes setores.

Correspondem aos sistemas ambientais com ecodinâmica instável e fortemente instável. Assim como na definição anterior, a classificação dessas áreas considera a capacidade de suporte do meio ambiente associada aos processos inadequados de uso e ocupação da terra e limitações impostas pela legislação ambiental. Também possuem situações extremas de predisposição a ocorrências de processos erosivos.

Os processos geomorfológicos causados pela erosão costeira, são provenientes de questões urbano-ambientais. A erosão é um dos processos geomorfológicos identificados in loco, e um dos que mais modelam a paisagem, envolvendo a troca de matéria e energia. No caso desta localidade em Ilhéus, este fenômeno se constitui pela ação mecânica das ondas e transporte de sedimentos marinhos, responsáveis pelo avanço do mar e destruição da orla.

6.11 Áreas de vulnerabilidade muito alta

A última faixa do mapa de valores de intervalo igual tem variação de 1,59938 a 2,73905, correspondente aos setores com maior potencial de risco vulnerabilidade aos processos erosivos pela alta declividade e altitude de 39 metros e 34 metros respectivamente. É uma das principais áreas de risco de deslizamento. A primeira fotografia exhibe uma grande obra de contenção de encosta, também é perceptível que a área é densamente povoada. A segunda imagem nota-se a inclinação

próxima a 90° graus e a presença de cicatrizes de escorregamento, a proximidade com ocupações urbanas é evidente e o risco a processos erosivos fica eminente.

Estes valores elevados decorrem do maior peso atribuído às áreas de alta declividade, solos argilosos, áreas de ocupação urbana e solo exposto, ocupam menos de abaixo de 1% da área estudada. Evidencia-se, nesta observação, a potencialização do efeito negativo oferecido pela ocupação de áreas com tais características por ser de maior risco. Registra-se, ainda, que as declividades predominantes são de relevo plano a suave ondulado, apresentando pouca variação, cujos pesos são os menores do critério de declividade. A Figura 14 apresenta a distribuição espacial dos setores representativos desta classe e mostra registros fotográficos de paisagens.



Ponto 1



Ponto 2

Figura 14 – Áreas de vulnerabilidade muito alta

Correspondem aos sistemas ambientais com ecodinâmica fortemente instável. A classificação dessas áreas considera a capacidade de suporte do meio ambiente associada aos processos inadequados de uso e ocupação da terra e limitações impostas pela legislação ambiental. Possuem situações extremas de predisposição a ocorrências de processos erosivos.

7. Considerações finais

A identificação do estado de estabilidade/vulnerabilidade aos processos erosivos do município de Ilhéus-BA permite a análise integrada da paisagem. Para tanto, os indicadores da geologia, pedologia, declividade, uso e cobertura da terra, e índice de pluviosidade são os fatores ambientais variáveis. Já a metodologia exequível, utiliza de poucos recursos e fornece ferramentas para o princípio da prevenção, o que facilita a sua implementação pelas prefeituras municipais.

O fator declividade tem participação preponderante no potencial dos processos erosivos, com peso de 0,29, superior ao fator Tipo de Solo, com importância de 0,21. O critério Cobertura e uso recebeu um peso de 0,13, rochas o peso de 0,23 enquanto ao fator intensidade pluviométrica foi atribuída a menor importância, com peso de 0,14.

É possível utilizar o método AHP (SAATY,1991) e de Crepani (2001) para analisar a vulnerabilidade ambiental/natural aos processos erosivos, chegando à conclusão que aproximadamente 19% da área estudada possui vulnerabilidade média a muito alta. Sendo constatada por meio da observação do mapa de vulnerabilidade uma concentração maior ao longo de toda a costa e pontos no centro urbano. Nestas áreas prevalece um relevo de planície, com processos erosivos ativos na região norte do município, relevo ondulado no centro, sendo que na área urbana se encontram morros que ultrapassam 30% de declividade. Além da área urbana e região costeira, a análise retornou como de alta vulnerabilidade áreas próximas ao estuário.

A vulnerabilidade foi distribuída em cinco classes, sendo que o mapa de vulnerabilidade final resultou numa classificação de alta e média, somando 18%, enquanto que muito alta apenas 1%. O total de porcentagem do município com vulnerabilidade muito baixa a baixa vulnerabilidade soma-se 82%. Deve-se destacar que estes resultados consideram essencialmente a estabilidade da paisagem, sendo que muitas das áreas consideradas de baixa a muito baixa vulnerabilidade

estão degradadas ou desmatadas, mas apresentam baixo risco de erosão devido a estarem localizadas em áreas de baixa declividade e em formações geológicas e pedológicas mais antigas.

É importante ressaltar que apesar da metodologia auxiliar na análise do fenômeno, ainda é necessário que ocorra uma discussão profunda sobre qual variável é mais importante que a outra, tendo em vista que o método fornece um meio simples de relacionar tais variáveis e ainda busca validar o grau de consistência das relações, não podendo ultrapassar os 10% recomendados pela metodologia. O grau de consistência entre as variáveis obteve o resultado de 2,7%, o que não substitui o respaldo da literatura e conhecimento prévio necessário para se ponderar o valor de cada variável, além disso, a equação aqui apresentada é apenas uma das ferramentas para análise integrada da paisagem, sem a pretensão de substituir outras análises existentes.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ), pela concessão de auxílio financeiro via Projeto Universal - Processo n.409304/2021-2.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo da pós-graduação a uma das autoras do trabalho.

À Universidade Federal Fluminense (UFF) por sediar e apoiar o Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Ciências da Sociedade e Desenvolvimento Regional (ESR).

À Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), pela concessão de bolsa de estudo à iniciação científica, para um dos autores do trabalho.

Referências

- AB'SABER, Aziz Nacib. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. [S.l: s.n.], 2003.
- BRASIL. *Lei Lehmann: Lei 6.766, de 19 de dezembro de 1979*. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6766.htm>. Acesso em: 25 de mar. 2020.
- CLIMATE-DATA.ORG. *Clima Ilhéus (Brasil)*. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/bahia/ilheus-4467/>. Acesso em: 10 set. 2022.
- CREPANI, E. et al. *Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico: metodologia desenvolvida para subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico*. INPE, São José dos Campos, 1996. 25 p.
- CREPANI, E. et al. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*. INPE, São José dos Campos, 2001.
- DE ALMEIDA, F. C.; SILVEIRA, E. M. de O.; ACERBÍ JUNIOR, F. W.; FRANÇA, L. C. de J.; BUENO, I. T.; TERRA, B. J. O. Análise multicritério na definição de áreas prioritárias para recuperação florestal na bacia do rio doce, em Minas Gerais. *Nativa*, v. 8, n. 1, p. 81-90, 2020. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/8130>. Acesso em: 22 abr. 2023.
- EASTMAN, J. R.; JIN, W.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 61, n. 5, 539-547, 1995.
- Ferraz, S. F. de B.; Vettorazzi, C. A. Identificação de áreas para recomposição florestal com base em princípios de ecologia de paisagem. *Revista Árvore*, v. 27, n. 4, 575-583, 2003.
- FRANCO, G. B. *Risco a escorregamento de encostas do sítio urbano de Ilhéus (BA) como contribuição ao planejamento urbano*. Ilhéus, 2008. 159 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus-BA, 2008.
- Girão, Í. R. F.; Rabelo, D. R.; Zanella, M. E. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 4, 71-83, 2018.

-
- LOBO DE PAIVA, A. M.; AMARO, V. E.; DI LOLLO, J. A.; COSTA, C. W. Fragilidade Ambiental aplicada em área de manancial no Nordeste brasileiro. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 8, n. 1, p. 128–147, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/24368>. Acesso em: 21 abr. 2023.
- Martini, L. C. P.; Uberti, A. A. A.; Scheibe, L. F.; Comin, J. J.; Oliveira, M. A. T. de. Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: decisão multicriterial suportada em sistemas de informações geográficas. *Geologia USP. Série Científica*, v. 6, n. 1, 41-52, 2006.
- SAATY, T. L. *Método de Análise Hierárquica*. São Paulo: Mcgraw-hill, Makron, 1991.
- SARTORI, A. A. C. Análise multicritérios na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais. 2010. 98f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- SILVA, C. A. da; NUNES, F. de P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal-RN, 2009, INPE, *Anais...*, p. 5435-5442.
- TOMINAGA, L. K., SANTORO, J., AMARAL, R. do (orgs.). Desastres naturais: conhecer para prevenir –. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.
- TRICART J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro, Brasil: Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1977. 97 p.
- VALENTE, A. R.; PETEAN, F. C. S.; VETTORAZZI, C. A. *Multicriteria decision analysis for prioritizing areas for forest restoration*. Cerne, Lavras, v. 23, n. 1, p. 53–60, 2017.
- VETTORAZZI, C. A. *Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conserva de recursos hídricos*. 2006. 151f. Tese (Livre Docência): ESALQ/USP Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP, Piracicaba, 2006.
- Zêzere, J. L., Rodrigues, M. L., Reis, E., Garcia, R., Oliveira, S., Vieira, G., Ferreira, A. B. (2004). Spatial and temporal data management for the probabilistic landslide. In: Lacerda, W., Ehrlich, Mauricio, Fontoura, S.A.B., Sayao, A.S.F. (eds.). *Landslides: evaluation and stabilization*. Proceedings of the Ninth International Symposium on Landslides, Rio de Janeiro: Taylor & Francis, 2004. p. 117-123.