



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

BEATRIZ PESSOA DE SOUZA

**CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO PLANEJAMENTO URBANO:
APLICAÇÃO DA ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS PARA A
CIDADE DE RECIFE-PE**

**Recife - PE
2024**



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO

BEATRIZ PESSOA DE SOUZA¹

**CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO PLANEJAMENTO
URBANO: APLICAÇÃO DA ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS
ESPACIAL PARA A CIDADE DE RECIFE-PE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-graduação em Administração e Desenvolvimento (PPAD) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Administração e Desenvolvimento, na área de concentração em Políticas Públicas.
Orientador: Prof. Dr. Diego Firmino Costa da Silva

**Recife - PE
Agosto de 2024**

¹ beatrizpsouzaa@gmail.com

BEATRIZ PESSOA DE SOUZA

**CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO PLANEJAMENTO
URBANO: APLICAÇÃO DA ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS
ESPACIAL PARA A CIDADE DE RECIFE-PE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-graduação em Administração e Desenvolvimento (PPAD) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Administração e Desenvolvimento, na área de concentração em Políticas Públicas.

Orientador: Prof. Dr. Diego Firmino Costa da Silva

Data de aprovação: 28/08/2024

Orientador:

Prof. Diego Firmino Costa da Silva, DSc.
Departamento de Economia, UFRPE

Banca Examinadora:

Prof. Poema Isis Andrade de Souza, DSc.
Departamento de Economia, UFRPE

Prof. André de Souza Melo, DSc.
Departamento de Economia, UFRPE

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Suely Manzi –CRB-4 809

S719c De Souza, Beatriz Pessoa.
Cenários de climáticas no
planejamento urbano: aplicação da análise exploratória
de dados espacial para a cidade de Recife-PE / Beatriz
Pessoa de Souza. – Recife, 2024.
78 f.

Orientador(a): Diego Firmino Costa da Silva.

Co-orientador(a): André de Souza Melo.

Co-orientador(a): Poema Isis Andrade de Souza.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural
de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em
Administração e Desenvolvimento, Recife, BR-PE,
2024.

Inclui referências.

1. Mudanças climáticas - Recife (PE) . 2.
Vulnerabilidade social . 3. Planejamento urbano -
Fatores climáticos - Recife (PE). 4. Precipitação
(Meteorologia) - Variabilidade - Recife (PE) 5. Dados
geoespaciais - Recife (PE). I. Silva, Diego Firmino
Costa da, orient. II. Melo, André de Souza, coorient.
III. Souza, Poema Isis Andrade de, coorient. IV. Título

CDD 338.1

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que tornaram possível a realização deste trabalho. Em especial, gostaria de dedicar este capítulo às pessoas que foram essenciais nessa jornada, em especial a algumas delas. Primeiramente, a minha mãe, cujo apoio foi inabalável e seus sacrifícios incansáveis que guiaram meus passos ao longo desse caminho. Sem seus encorajamentos de permanência e seus afetos eu não teria alcançado. Obrigado por ser minha mãe, mentora e minha amiga.

À minha grandíssima avó, por toda sabedoria acumulada ao longo dos anos, iluminando meu caminho e sendo minha grande propulsora e referência inspiradora. A você todo meu amor e a minha admiração, voinha. Suas bênçãos e sua presença sempre me deram a confiança necessária para enfrentar os desafios e superar os obstáculos.

Ao meu pai, por fazer parte de quem sou em essência, sinto sua presença de diversas formas em minha vida e sei que você torce demais por mim aí de cima. Além de ter contribuído por tudo que sou em essência. Sinto eternas saudades, meu grandão.

Ao meu companheiro, Artur, e tendo dito companheiro, quero expressar todo significado que essa palavra grandiosa consegue expressar. Obrigada por compartilhar intimamente de toda essa trajetória ao meu lado e, por me incentivar em momentos que várias vezes descreditei que fosse possível. Seu apoio, seu afeto e incentivos diários foram suporte para essa conquista.

Gostaria de agradecer aos professores do programa PPAD, de forma geral e em especial ao meu orientador pela paciência, dedicação e compromisso com o conteúdo estudado neste trabalho. Assim como, a profa. Poema e André por suas contribuições ao longo dessa construção.

Quero expressar também, meus profundos agradecimentos a Anelise, minha querida amiga e colega de trabalhos que tanto contribuiu com sua disponibilidade, boa vontade e sábios conhecimentos, além de me auxiliar em vários momentos.

Além dessas pessoas, gostaria de agradecer a todos os meus amigos que contribuíram de forma direta ou indireta a trilhar esse caminho. Assim como, aos professores, colegas de turma e colegas de profissão que contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa, meus sincero obrigada. Suas contribuições, orientações e apoio foram inestimáveis e essenciais.

Finalmente, agradeço a todos aqueles que tornaram possível este marco na minha vida acadêmica. Sendo assim, esse trabalho é dedicado a todos que me ajudaram a crescer, aprender e me tornar a pessoa que sou hoje :)

*“Everything is related to everything else, but
near things are more related than distant things”*

Waldo Tobler

RESUMO

A implementação eficaz de planejamento urbano para tornar as cidades mais inclusivas, resilientes e sustentáveis é um mecanismo importante para mitigar as mudanças climáticas em infraestruturas urbanas, especialmente nos países do G20. Relatórios de organizações internacionais, como a ONU e o Banco Mundial, exploram o papel das cidades intermediárias na promoção da capacidade adaptativa, assim como de resiliência climática local. Diante do planejamento urbano, as vulnerabilidades da infraestrutura urbana e os desafios do desenvolvimento socioeconômico enfrentados na cidade do Recife tiveram suas abordagens locais relevantes para contrapor adaptações para cidades intermediárias e menores em contextos semelhantes. Nesse contexto, este trabalho utilizará os conceitos dos índices de vulnerabilidade ambiental e social como ferramentas de previsão através do georreferenciamento e, ainda, a verificação espacial através da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) para verificar como são significativos e se existe um padrão determinado de organização desses dados para setores censitários de Recife. Os resultados demonstram padrões de vulnerabilidade altas e baixas, fornecendo insights para o planejamento urbano direcionado e a formulação de políticas para aumentar a capacidade adaptativa e mitigar os riscos climáticos na cidade.

Palavras-chave: *Vulnerabilidade ambiental, vulnerabilidade social, dados espaciais, Planejamento urbano; Resiliencia climática*

ABSTRACT

Effective urban planning to make cities more inclusive, resilient, and sustainable is a crucial mechanism for mitigating climate change in urban infrastructures, particularly in G20 countries. Reports from international organizations, such as the UN and the World Bank, explore the role of intermediary cities in promoting adaptive capacity and local climate resilience. In light of urban planning, the vulnerabilities of urban infrastructure and the socioeconomic development challenges faced in the city of Recife have relevant local approaches to contrast adaptations for intermediary and smaller cities in similar contexts. In this context, this work will utilize the concepts of environmental and social vulnerability indices as predictive tools through georeferencing, and spatial verification through Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) to determine if there is a specific pattern of data organization for census tracts in Recife. The results demonstrate patterns of high and low vulnerability, providing insights for targeted urban planning and policy formulation to increase adaptive capacity and mitigate climate risks in the city.

Keywords: *Environmental vulnerability, social vulnerability, spatial data; Urban planning; Climate resilience*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa dos aglomerados subnormais de Recife em 2010	16
Figura 2 - Mapa de representação de Áreas Ambientais mais significativas do Recife	33
Figura 3 - Localização do Recife e de suas Regiões Políticas Administrativas	37
Figura 4 - Mapa ilustrativo da localização da cidade de Recife, PE.....	39
Figura 5 - Densidade populacional para os setores censitários de Recife.....	42
Figura 6 - Percentual de domicílios com renda inferior a uma salário mínimo.....	43
Figura 7 - Mapa do percentual de saneamento básico.....	44
Figura 8 - Mapa do percentual de pessoas alfabetizadas.....	45
Figura 9 - Representação do indicador direto e indireto	46
Figura 10 - Mapa de declividade e hipsometria da cidade de Recife.....	47
Figura 11 - Mapa de representação do uso e ocupação do solo da cidade de Recife.....	49
Figura 12 - Mapa de representação dos buffers dos recursos hídricos de recife.....	50
Figura 13 - Mapa da Geologia e Tipos de Solo de Recife	51
Figura 14 - Mapa de identificação das RPA's do Recife com os bairros correspondentes	56
Figura 15 - Representação da vulnerabilidade social do Recife.....	58
Figura 16 - Mapa de representação para aplicação do Índice de Moran ao IVS.....	59
Figura 17 - Mapa de vulnerabilidade ambiental de buffers por declividade do Recife	61
Figura 18 - Mapa de Vulnerabilidades ambientais por tipo de solo com uso e ocupação	62
Figura 19 - Mapa de representação para aplicação do Índice de Moran ao IVA	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Unidades de Conservação por tipo de classificação	32
Tabela 2 - Renomeação Para Unidades de Conservação no Recife.....	33
Tabela 3 - Outras Unidades de conservação no Recife.....	34
Tabela 4 - Divisão dos bairros pelas Regiões Políticas Administrativas.....	35
Tabela 5 - Variáveis do Índice Social de Vulnerabilidade.....	36
Tabela 6 - Normalização das variáveis sociais e atribuições de pesos.....	42
Tabela 7 - Indicadores de vulnerabilidade ambiental.....	47
Tabela 8 - Resistência Mecânica das Rochas.....	48
Tabela 9 - Classes de fragilidade do solo, classificados conforme.....	52
Tabela 10 - Normalização dos dados e atribuição de pesos das classes de vulnerabilidade	53
Tabela 11 - Relação de Áreas por classe de vulnerabilidade (IVA).....	54
Tabela 11 - Valores de significância para autocorrelação espacial.....	55
Tabela 12 – Descrição de dados do MoranMap.....	55
Tabela 13 - Modelo de regressão para justificar o coeficiente (R^2) para o IVS.....	57
Tabela 14 - Resultado do Índice de Moran Global para IVS.....	59
Tabela 15 - Índice de Moran Local para IVS.....	59
Tabela 16 - Relação de Áreas por classe de vulnerabilidade (IVA).....	62
Tabela 17 - Resultado do Índice de Moran Global para IVA.....	63
Tabela 18 - Índice de Moran Local para IVA.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS

AEDE - Análise Exploratória de Dados Espaciais
APA - Áreas de Preservação Ambiental
APP - Áreas de Preservação Permanente
CMMAD - Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CPRM - Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais
CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA - Estados Unidos da América
FBDS - Field-based Data Collection System
GIRD+10 - Gestão Integrada de Riscos e Desastres
GRD - Gestão de Risco de Desastre
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade
ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IVS - Índice de Vulnerabilidade Social
LISA - Índice Local de Associação Espacial
MDE - Modelo Digital de Elevação
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU - Organização das Nações Unidas
OSC - Organização da Sociedade Civil
PDDU - Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
PIB - Produto Interno Bruto
PNA - Plano Nacional de Adaptação
PNGR - Plano Nacional de Gestão de Riscos
PNMC - Política Nacional sobre Mudança no Clima
PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
QGIS - Programa Quantum GIS
RPA - Regiões Político-Administrativas
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
UC - Unidades de Conservação
UCN - Unidade de Conservação da Natureza
UCP - Unidade de Conservação da Paisagem
UEA - Unidade de Equilíbrio Ambiental
UP - Unidades Protegidas
UPI - Unidade de Proteção Integral
UTM - Universal Transverse Mercator
UUS - Unidade de Uso Sustentável
ZEE - Zoneamento Ecológico Econômico
ZEIS - Zonas Especiais de Interesse Social

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1	Teorias da Urbanização Brasileira	16
2.2	Fragmentação socioespacial: a lógica do território urbano	18
2.3	Mudanças Climáticas e Planejamento Urbano para um Território Costeiro	22
2.4	Fraquezas nos Sistemas de Proteção: Abordagem sobre Riscos e Ameaças.....	25
2.5	Análise Exploratória Espacial (AEDE).....	27
2.5.1	Índice de Moran Global.....	28
2.5.2	Índice Local de Associação Espacial ou <i>Local Indicator of Spatial Association</i> (LISA)	29
3	CONTEXTUALIZAÇÃO DO DEBATE	31
3.1	Crescimento Populacional e Determinantes de Vulnerabilidades em países subdesenvolvidos	31
3.2	Índice de Vulnerabilidade Socioambiental no contexto Brasileiro (sensibilidades do sistema)	32
3.3	Política Ambiental.....	33
3.3.1	Diferenças entre Tipos de Áreas Ambientais	35
3.4	Divisões das Regiões Políticas Administrativas do Recife	39
3.5	Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS)	41
4	METODOLOGIA.....	43
4.3	4.1 Caracterização morfológica da área de estudo.....	43
4.2	Construção dos Índices de Vulnerabilidade	45
4.2.1	Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)	45
4.2.2	Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA)	50
4.3	Descrição da Econometria Espacial Aplicada	57
5	RESULTADOS	59
5.1	Apresentação dos resultados dos Índices e descobertas com AEDE	59
6	CONCLUSÃO.....	68
	REFERÊNCIAS	

Secção 1

1 INTRODUÇÃO

Acertar no planejamento urbano para tornar cidades mais inclusivas, resilientes e sustentáveis são mecanismos eficazes de mitigação às mudanças climáticas em infraestruturas urbanas nos países do G20 (OCDE, 2023; BANCO MUNDIAL, 2023; IPCC, 2022). Atualmente, no contexto do rápido crescimento populacional e da urbanização, pequenas e médias cidades metropolitanas desempenham um papel essencial e silencioso nas alterações desses espaços, que ainda estão a crescer (ONU, 2019). Até 2050, prevê-se que a população global que vive nas cidades atinja 5 milhões de pessoas, crescendo em relação aos 3,5 milhões de 2015 (OCDE, 2020). Além disso, a urbanização muitas vezes está relacionada à concentração da pobreza e da vulnerabilidade aos novos desafios e riscos ambientais, o que resulta na urgência de adotar medidas locais de adaptação (IPCC, 2022).

Nos tempos atuais, para satisfazer as necessidades de cidades edificadas e com disparidades socioeconômicas é necessário expandir os serviços públicos, como abastecimento de água, manutenção de áreas verdes, melhor distribuição de redes de esgotos, eletricidade, pavimentação, entre outros. Assegurar a disponibilidade desses serviços é fundamental para definir o conceito de habitação digna (UN-HABITAT, 2022). No entanto, é notório um crescente processo de urbanização no Brasil que segue sendo pautada por conflitos fundiários, onde revelam frequentemente o reflexo de um Estado que funciona apenas para benefícios de poucos.

No Recife, novos arranjos de Organizações da Sociedade Civil (OSC) surgem para disseminar projetos de interesses públicos para sustentabilidade local com abordagens *bottom-up* (de baixo para cima) e métodos de participação popular como empoderamento comunitário de territórios em que, persistem no combater as desigualdades e reivindicam direitos à cidade com soluções de acesso às moradias dignas para todos (Habitat para Humanidade Brasil, 2018). Nessa perspectiva, a necessidade de propor arranjos voltados à governança ambiental, através de articulação política multinível para planejamentos urbanos e gestões de cooperação social. Embora, diante do volume de informações e esforços crescentes para esse campo de atuação, as experiências e práticas desenvolvidas no território pernambucano ainda são relativamente incipientes, se comparadas às experiências no exterior (ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade - CB27).

No Brasil, uma característica inerente do atual modelo de desenvolvimento é sua dinâmica de acumulação, que certamente é reflexo de um longo processo histórico de

concentração de renda e desigualdades socioeconômicas. Um dos aspectos mais marcantes dessa forma de acumulação é a segregação socioespacial nas áreas urbanas, que está associada à exclusão e à disparidade socioeconômica entre os diferentes territórios, que penaliza especialmente as pessoas pobres, negras e as mulheres. Consequentemente, essa fragmentação social reduz as interações e as experiências diárias nos espaços urbanos, ao mesmo tempo em que restringe o acesso aos espaços e direitos públicos. Essa ruptura não afeta apenas os aspectos sociais, mas também os econômicos, culturais e políticos (Sposito e Sposito, 2020).

É reconhecido também que as questões de saúde ambientais estão associadas às mudanças climáticas que se tornam cada vez mais evidentes nas áreas urbanas, onde as tensões entre a população e o ambiente se intensificam (Ojima; Marandola, 2013). Este estudo busca, portanto, analisar de forma geoespacial e estatística compreender essa dinâmica, com intuito de contribuir para uma melhor compreensão dos desafios ambientais enfrentados pelas cidades e para o desenvolvimento de estratégias eficazes de adaptação e mitigação.

Os processos de fragmentação ou segregação socioespacial, como a desapropriação e privatização dos espaços urbanos, intensificam a degradação ambiental ao promover ocupações inadequadas ou ambientalmente vulneráveis. Enquanto a precarização da habitação sobrecarrega a dimensão ambiental, também marginaliza os sistemas sociais de inclusão, resultando em acessos desiguais aos bens e serviços ecossistêmicos fornecidos pelos espaços urbanos, incluindo acesso público aos parques para lazer na cidade, bem como, participação social em conselhos de formulação, execução e monitoramento de gestões ambientais para Unidades de Conservação (UC's), Áreas de Preservação Ambiental (APA) e ocupações contidas na região (Valentini, 2023; Marques, 2023; Campos Zapata *et al.*, 2021).

Nesse momento, o desenvolvimento econômico surgiu como uma solução não esperada para as desigualdades, tanto globais quanto locais, específicas para cada região. Essa percepção exigiu uma mudança de paradigma para uma nova noção de desenvolvimento. Aqui, o conceito de desenvolvimento sustentável surge como um compromisso entre as nações que apoiam e planejam o desenvolvimento como um compromisso entre as nações de desenvolvimento e conservação, em que iniciaram a ser vistas como questões independentes.

Nos últimos anos, economistas regionais têm desempenhado um papel crucial na identificação das fragmentações socioespaciais urbanas oriundas da disseminação da lógica capitalista em todas as esferas das relações sociais. Neste trabalho, busca-se verificar se existem padrões de associação por meio da defasagem espacial, ou seja, através da análise exploratória da estatística espacial desenvolvida por Anselin (2022), que examina a relação entre a distribuição das áreas de degradação ambiental e o nível socioeconômico da população. Essa

análise é realizada por meio de uma fórmula numérica, utilizando informações vetoriais das áreas geoestatísticas.

O modo de vida da contemporaneidade depende, diretamente ou em partes, da qualidade dos ambientes, seja na agricultura, pesca, florestas ou até nos espaços urbanos. Portanto, assegurar a sustentabilidade ambiental, garantindo a permanência e qualidade dos recursos, é o maior desafio do desenvolvimento econômico atual. Esse paradigma, reflete a crença de que a equidade social, o crescimento econômico e a preservação ambiental são objetivos possíveis de alcançar em conjunto.

Segundo o relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o Recife ocupa a 16ª posição no ranking global de vulnerabilidade às mudanças climáticas. Os países com baixo capital costumam enfrentar desafios mais significativos diante dos impactos climáticos. No caso do Recife, por ser uma cidade costeira e relevo levemente montanhoso, está especialmente vulnerável a eventos climáticos extremos, como inundações e deslizamentos por chuvas torrenciais. No entanto, é crucial considerar a exposição e sensibilidade socioeconômica de determinados territórios, promovendo planos de mitigação das vulnerabilidade e estratégias de resiliência comunitária diante das suscetibilidades¹ enfrentadas (Gallopín, 2006, Freitas & Cunha, 2013; IPCC, 2014; Ciccotti, 2020).

O sistema de análise de impactos das mudanças climáticas, implementado pelo programa do Adapta Brasil, instalado pelo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), destaca o papel da verificação da temperatura e a precipitação como fatores importantes para previsão de desastres. Em cidades costeiras como Recife e Rio de Janeiro, inundações e deslizamentos são comuns, exigindo medidas mais elaboradas de Gestão de Risco de Desastre (GRD). A Lei Federal nº 12.608 estabelece a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil para prevenir desastres naturais (BRASIL, 2012).

No entanto, na região metropolitana do Recife, os déficits habitacionais e seu saneamento básico inadequado, denunciaram a necessidade de melhorias na infraestrutura urbana da cidade. Embora a Defesa Civil monitore essas áreas de risco, as evacuações só ocorrem em situações de chuvas intensas, resultando ainda em tragédias ou para alguns casos, “fenômenos previsíveis” na literatura. Isso destaca ainda, uma importância da atenção às ZEIS (Zonas Especiais de Interesse Social) para encaminhamentos e investimentos imediatos de melhorias em condições de moradia. Através disso, podemos avaliar as condições de

¹ De acordo com o IPCC (2014b) definimos vulnerabilidade como "a propensão ou predisposição para ser afetado negativamente. Vulnerabilidade abrange uma variedade de conceitos e elementos, incluindo sensibilidade ou suscetibilidade a danos e a falta de capacidade de lidar e adaptar-se".

regularização e construção de novas habitações em locais mais seguros com expectativas de bem-estar e bem viver (Acosta, 2019).

Além disso, o reconhecimento da população junto a conscientização de esferas políticas de tomadas de decisões, abordam os perigos, ameaças e riscos de grupos específicos. Como também, promovem a redução de danos à alvos de vulnerabilidades multifacetadas, isto é, com alta suscetibilidade a ameaças socioeconômicas e capacidade de resolução do perigo. Contudo, o fato da localização geográfica do Recife enfrentar restrições específicas de georreferenciamento, apresenta um padrão de previsões de ocorrências para desastres. Como também, cresce a intensidade de prejuízos socioeconômicos, a partir de chuvas intensas ou torrenciais que resultam no agravamento das inundações, deslizamentos de massas e quedas de árvores que provocam desastres, inclusive em áreas ambientais que antes não sofriam com esse problema, revelando um aumento nos efeitos desses fenômenos climáticos (Tucci & Bertoni, 2003, Silva *et al.*, 2020).

Assim, paradoxalmente, a gestão dessas áreas vulneráveis são cada vez mais necessárias, porém, menos suficientes diante dos impactos diretos (vidas ceifadas) e os impactos indiretos através de danos econômicos e culturais para essas famílias ameaçadas. Segundo apontado por Carvalho, Girão e Cabral (2017), os alagamentos urbanos resultam, em grande parte, da deficiência no planejamento e na infraestrutura urbana. A falta de planejamento estrutural adequado pode levar a sistemas de drenagem ineficazes, que não suportam o volume de água das chuvas. Além disso, a impermeabilização excessiva do solo, causada por construções e pavimentos, impede a absorção natural da água, aumentando o escoamento superficial e sobrecarregando os sistemas de drenagem. Práticas inadequadas no uso do solo, como a ocupação de áreas de preservação, também contribuem para o problema, reduzindo a capacidade natural de retenção de água. Para abordar esses desafios, este estudo aplicará uma combinação de índices de vulnerabilidade ambiental e social, com o objetivo de prever e mitigar os impactos urbanos intensificados através das mudanças climáticas.

A estrutura do trabalho compreende seis seções: a primeira contextualiza o tema. Na segunda parte ou capítulo, são apresentadas justificas da pesquisa a partir do debate de acervos da fundamentação teórica. A terceira seção, são detalhados os procedimentos metodológicos adotados que se aproximam dos assuntos em questão. Na quarta seção, são incluídas as descrições sobre a abordagem metodológica utilizada, assim como os modelos econométricos espaciais utilizados para alcançar os objetivos propostos. A quinta seção visa expor os resultados alcançados e promover a discussão. Por fim, na sexta seção, são apresentadas as conclusões obtidas com a pesquisa.

Secção 2

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Teorias da Urbanização Brasileira

Aspectos como habitações em loteamentos irregulares ou clandestinos, relacionados tradicionalmente com a pobreza e o subdesenvolvimento de condições insalubres de moradia, agora constituem também problemas ambientais que seguem um padrão de modernização já vistos em outros países durante o processo de industrialização (Gouveia, 1999, p.49). Ademais, essas ocupações em áreas desprezadas pelo mercado, leva a ações predatórias sobre o meio ambiente em busca da sobrevivência e, por sua vez, ampliam as vulnerabilidades dessas populações.

A abordagem da questão habitacional no Brasil reflete sobre a influência da urbanização, cujo entendimento se amplia ao considerarmos a desagregação, globalização, periferização e fragmentação urbana (Sposito *et al.*, 2023; Calado, 2023; Santos, 1993). Inicialmente, será explorada a teoria da urbanização como um fenômeno intrinsecamente ligado ao crescimento demográfico e territorial das cidades, impulsionando fluxos migratórios vindos do campo ou circuitos espaciais de produção econômica. Isso implica que as cidades não podem ser compreendidas apenas em termos de seus limites geográficos, mas também em relação às suas interações com áreas rurais e outras cidades.

A teoria da metropolização (Reolon, 2015) promove dinâmicas produtivas e os padrões de consumo nas regiões metropolitanas que aceleraram a construção de moradias destinadas à classe trabalhadora. Isso está associado ao crescimento populacional, à concentração de empregos e serviços, e à expansão de áreas urbanas gerando também significativas modificações socioterritoriais na paisagem urbana. Dito isso, de maneira genérica, os efeitos da urbanização intensificam as pressões sobre o ambiente natural, aumentando as desigualdades e iniquidades (Monteiro & Veras, 2017). Essas transformações não se restringem a uma única manifestação, mas sim a uma pluralidade de expressões culturais, cuja a complexidade se acentua quando consideramos o contexto histórico e geográfico subjacente ao processo de formação urbana e construção da paisagem urbana da cidade do século XXI.

A urbanização é um processo de transformação de uma sociedade ou região para o meio urbano. Segundo Medeiros, Grigio e Pessoa (2018), isso não ocorre somente pelo crescimento demográfico nas cidades, mas por um conjunto de técnicas e obras adotadas por cidades em desenvolvimento. No Brasil, o modelo de urbanização contribui para a formação das cidades que apresentam sérios problemas em termos de infraestrutura, planejamento e organização

administrativa, resultando em espaços mais segmentados, desiguais e vulneráveis.

A urbanização traz consigo uma série de mudanças que se refletem tanto na paisagem urbana quanto no comportamento e estilo de vida das pessoas. Como observado por Milton Santos (2004), a conexão entre esses elementos é complexa, contextual e situacional, o que dificulta generalizações. Por exemplo, a dinâmica de fatores urbanos, como violência, desigualdades sociais, poluição e tráfego, juntamente com outros fatores relevantes na prestação de serviços e recursos, varia de acordo com o contexto social no qual o sujeito está inserido.

É fundamental destacar que esses indicadores são frequentemente utilizados para avaliar a qualidade de vida e o bem-estar social. No entanto, a cidade se apresenta como um ambiente diversificado, abrigando grupos sociais heterogêneos, o que influencia de maneira distinta como esses fatores afetam os indivíduos, comunidades e regiões. Essa complexidade resulta em uma dualidade estrutural, refletindo disparidades sociais e econômicas dentro das cidades.

A forma como esses fatores impactam a população de uma cidade depende de sensibilidades e particularidades locais da exposição aos efeitos urbanos, a adaptabilidade das pessoas aos desafios urbanos e sua capacidade de resiliência diante de ameaças e riscos. Assim, mesmo quando avaliados em uma escala local, esses aspectos variam dentro de uma mesma cidade, pois o meio urbano é composto por uma multiplicidade de grupos e realidades distintas.

Além disso, segundo observações de Cabral e Cândido (2019), o fenômeno da urbanização se contradiz, pois, o desenvolvimento urbano não está diretamente alinhado com o crescimento das cidades, especialmente devido ao aumento da vulnerabilidade social em relação à habitação. Isso leva à falta de disponibilidade para construções em áreas urbanas, resultando em ocupações em locais como áreas de morros, várzeas, planícies sujeitas a deslizamentos e áreas propensas a movimentos de massa.

Para além disso, observa-se que a condição urbana se revela como um movimento de demarcação das cidades pela força dos interesses do capital imobiliário que auferem em uma fraca capacidade ou interesse do Estado em regular e distribuir justamente o território.

2.2 Fragmentação socioespacial: a lógica do território urbano

Valentini e Rego (2023) examinaram os efeitos da fragmentação urbana diante das problemáticas sociais e as vulnerabilidades ambientais com foco na cidade de Chapecó-SC, inserida no contexto das regiões agroindustriais. Através do método de análise espaço temporal por geoprocessamento foram consideradas variáveis populacionais, transições do Produto Interno Bruto (PIB) e transições da cobertura e uso da terra através do MapBiomas no intervalo de 1985 a 2015. De maneira geral, os resultados obtidos pelos autores mostraram que a fragmentação da mancha urbana é um fenômeno em curso nas cidades médias em desenvolvimento. Nelas, as relações urbanas heterogêneas vistas como sociais, humanas e econômicas na cidade, se consolidam através de vias dinâmicas globais de mercado, propulsoras da acessibilidade, infraestrutura e outras conexões.

A fragmentação da cidade revela que é possível criar diversos tipos *clusters*² segundo a análise dos efeitos espaciais nas cidades, em especial de produção local na malha urbana das cidades médias. Isto é, sobrepõe uma lógica capitalista de divisão de agrupamentos de trabalho em determinadas concentrações territoriais nucleadas. Esse fenômeno ocorre quando há uma espacialização territorial concentrada em áreas locais, tanto produtivas quanto financeiras, que aproveitam as redes de dados e o desenvolvimento tecnológico do setor econômico. Esses pólos de espacialização territorial são caracterizados pela sua capacidade de aproveitar sinergias locais e colaborações interativas entre empresas, resultando em vantagens competitivas e dinamismo econômico em suas regiões circundantes.

Na estatística, o agrupamento desses dados pode indicar uma autocorrelação global e positiva, que sugere que existe um padrão de similaridade entre observações próximas uma das outras. Isso pode ocorrer quando um subconjunto significativo dos dados está concentrado em poucas regiões, nomeado por *clusters*, indicando a presença de agrupamentos ou padrões espaciais. Contudo, essa temática só será aprofundada na metodologia dessa pesquisa.

Nesse contexto, a fragmentação urbana propõe alguns efeitos, incluindo o isolamento de comunidades com diferentes níveis econômicos, disparidades no acesso a serviços básicos de recursos, impactos ambientais adversos e desafios significativos para o planejamento urbano. Em síntese, essa fragmentação pode gerar uma série de consequências negativas e subalternas, abrangendo desde questões econômicas do poder aquisitivo de bens até impactos ambientais, socialmente injustos.

² De acordo com Fotheringham et al. (2000) “clusters são agrupamentos distintos nos dados, correspondendo frequentemente à multimodalidade na distribuição de probabilidades subjacente para dados” (p.75-76)

Similarmente, Covarrubias e Reillo (2022) analisaram a segregação como uma forma de fragmentação no espaço, na qual famílias ou grupos sociais homogêneos são separados, seja por características étnicas, origem migratória ou status socioeconômico. Essa perspectiva conceitual compartilha três elementos teóricos principais:

1) o distanciamento e isolamento de grupos sociais no espaço, separando a cidade em unidades delimitadas (Souza, 2021; Carmona-Ortega *et al.*, 2022).

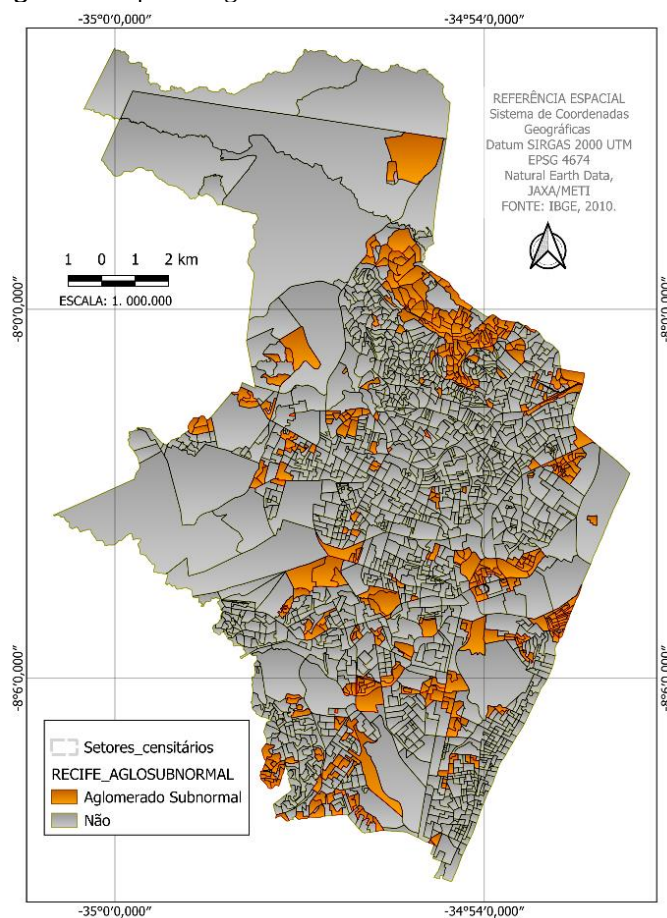
2) o distanciamento seguido por padrões de localização vinculados a áreas diferenciadas pela distribuição de renda (Alegría, 1994), onde o uso e ocupação da terra em áreas centrais é inacessível às populações economicamente limitadas, as obrigando a ocupar áreas periféricas (Habermann e Gouveia, 2008; Morato *et al.*, 2018; Almeida, 2019; Gomes *et al.*, 2021).

3) reduz o desenvolvimento de práticas integrativas e coletivas entre grupos sociais heterogêneos (Santos, 2008; Legroux, 2021; Valentini e Rego, 2023).

O reconhecimento desse processo de exclusão social é evidenciado por características temporais e históricas, que se manifestam pelo aumento das ocupações em áreas vulneráveis a riscos geomorfológicos, como deslizamentos e inundações (Herculano, 2008). O IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) começou a utilizar o termo “aglomerados subnormais” para descrever essas áreas urbanas inadequadas em seus levantamentos. O Recife é uma cidade com elevados contingentes de pessoas vivendo nesses aglomerados, onde um dos critérios de mapeamento é a carência ou a inadequação de serviços públicos básicos, como por exemplo, abastecimento de água, saneamento e serviços de coleta de lixo.

Segundo o Censo Demográfico de 2010, aproximadamente 22% da população do Recife vive em aglomerados subnormais, recentemente substituídos por "comunidades urbanas" ou "áreas de vulnerabilidade socioeconômica", conhecidas popularmente como "favelas". Essas áreas são caracterizadas por agrupamentos de pelo menos 51 unidades habitacionais que enfrentam carências nos serviços públicos essenciais. Embora a proporção de território ocupado por essas comunidades seja menor em relação à área total do município, representado na Figura 1, o número de residentes por domicílio nessas regiões é significativamente superior aos de outros setores censitários.

Figura 1: Mapa dos aglomerados subnormais de Recife em 2010.



Fonte: Elaborado pela autora com dados do Censo (2010)

Esse padrão de assentamento contribui para o aumento de vulnerabilidades, ampliando a exposição dos perigos e enfraquecendo a capacidade de resiliência diante de eventos extremos (Morato et al., 2018; Trannin e Bruno, 2021). Essa percepção é de suma importância, considerando que esse complexo padrão de uso e ocupação do solo está intrinsecamente relacionado à fragmentação socioespacial do espaço urbano. Esses usos e ocupações do solo são evidenciados por estratégias sociais percebidas como essenciais para a sobrevivência, mas que estão profundamente condicionadas pelas desigualdades sociais existentes.

Borsdorf (2003) analisou a intensificação da segregação socioespacial, destacando as características estruturais e funcionais das cidades. Ele abordou essa questão não apenas de forma empírica, mas também investigou a relação entre o acesso aos recursos ecossistêmicos urbanos oferecidos pelos espaços públicos, verificando como sua disponibilidade e distribuição espacial estão relacionadas com a situação socioeconômica das populações. O autor enfatizou, ainda, que a fragmentação do padrão urbano na América Latina é uma consequência direta da transformação econômica e da influência da globalização. Esse reconhecimento ressalta a

integração de dinâmicas socioeconômicas mais amplas e as características espaciais das cidades, oferecendo *insights* importantes sobre os desafios enfrentados pelas comunidades urbanas em um contexto globalizado.

Apoiando essa análise, Legroux (2021) também identifica a cidade do século XXI como um espaço fragmentado, ressaltando algumas distinções históricas no desenvolvimento dessa fragmentação socioespacial. O autor aponta a década de 80 no Brasil como um marco no aumento do trabalho informal, da pobreza e da precariedade das áreas urbanas periféricas. Com isso, somente a partir dos anos 2000, marcou um fenômeno crescente de segregação voluntária das classes média a alta, evidenciado pela verticalização das habitações e autoisolamento em residenciais fechados, tendência que tende a aumentar cada vez mais.

Em Listo (2011), o autor conecta o aumento do risco de deslizamentos e movimentos de massas ao crescente número de ocupações em encostas ou áreas declivosas de bacias rasas em Aricanduva, São Paulo. Essas áreas representam sérias ameaças à vida, economia e bem-estar social devido à ausência de planejamento urbano adequado em regiões de baixo valor econômico. Isso resulta em habitações precárias vulneráveis a esses riscos iminentes e com pouco acesso a políticas públicas de desenvolvimento urbano, habitacional e de mobilidade.

Essas áreas heterogêneas frequentemente se tornam territórios altamente impactados pela intervenção humana, refletindo dinâmicas espaciais de multiterritorialidade (Filgueira, 2021), que se encontram espacialmente desagregadas ou fragmentadas de uma expressão urbana projetada para ser “unificada”. Essa nova expressão compõe características de culturas plurais em relação processos migratórios e habitação, sendo captadas por processos de diferenciações e espacialidades georreferenciadas (Prévôt-Schapira e Pineda, 2008; Valentini e Rego, 2023), que avançam cada vez mais no contexto tecnológico, absorvendo vetores, polígonos e dados que contém localizações, informações, paisagem e capital.

O espaço urbano é incorporado à esfera do mundo capitalista, sendo configurado como objeto de desejo e transformação para o consumo, substituindo a população com menor condição socioeconômica para a mercantilização desses espaços, principalmente nos centros urbanos. O mercado imobiliário se apropria da natureza na cidade, gerando mudanças no ritmo da área ocupada, nos hábitos e usos do espaço, alterando também o perfil do território para uma adaptação do público alvo (Henrique, 2011).

Via de regra, a relação sociedade do consumo e natureza resulta na supervalorização da mercantilização dos recursos naturais, especialmente nos centros urbanos e áreas adjacentes. Esta perspectiva consiste em concentrar esforços nos processos de requalificação e gentrificação (Gould e Lewis, 2017), os quais muitas vezes se distanciam da função social do

espaço, negligenciando as necessidades dos diferentes grupos sociais e limitando a livre expressão, lazer e a convivência da pluralidade. Assim, o uso social do espaço é substituído pelo consumo, e as áreas verdes são vistas como ferramentas para valorizar a imagem e a competitividade das cidades (IPEA, 2013).

Essas ferramentas de apropriação espacial, identifica as diferenças na urbanização e caracteriza os enclaves territoriais, identificando as áreas de diferenciação em atividades vinculadas ao hábitat, ao trabalho, ao lazer, ao consumo e à circulação porque, por meio delas, imbuídos o espaço de símbolos e possíveis agrupamentos. Com isso, tratar das práticas espaciais ajuda a compreender a dinâmica socioespacial das cidades, bem como as demandas habitacionais (Madeiros, Grigio e Pessoa, 2018).

2.3 Mudanças Climáticas e Planejamento Urbano para um Território Costeiro

Após quase quatro décadas desde a introdução do conceito, amplamente divulgado pelo Relatório Brundtland (WCED, 1987), as agendas internacionais e nacionais continuam em busca de soluções para desafios como o crescimento populacional, o suprimento energético e a degradação ambiental. Nesse contexto, este estudo se propõe a investigar uma nova abordagem para a adaptação às mudanças climáticas, explorando também a leitura urbana por meio de cartografias e paisagens para proposição de cenários diante das condições biofísicas e climáticas.

Conforme observado por Boca (2020), é inegável que o homem desempenha um papel central na transformação da paisagem, principalmente por meio da ocupação desordenada de espaços e da remoção da vegetação. Em vista disso, é essencial priorizarmos a valorização da esfera pública e promover a integração entre os campos científico e político. Isso envolve combinar a análise de fenômenos de precipitação e temperatura com o desenvolvimento da ciência do clima, pois esses fatores são preditores importantes dos impactos que desastres podem ter nas áreas de saúde, alimentação, segurança, infraestrutura e economia (Mora *et al.*, 2018). Essa abordagem multidisciplinar é fundamental para compreendermos as vulnerabilidades existentes e para incorporarmos instrumentos de planejamento eficazes na gestão dos cenários de risco decorrentes das mudanças climáticas.

Em desastres socioambientais, frequentemente há a ocorrência de algum evento físico desencadeador, originado das condições biofísicas e climáticas específicas do território, que podem expor a população a riscos. Nesse contexto, a sociedade pode atuar como um fator que influencia o meio ambiente, acelerando ou retardando os efeitos dos desastres (Freitas & Cunha, 2013). As mudanças climáticas, aliadas à rápida urbanização desordenada e sem planejamento,

aceleram a degradação ambiental e promovem a fragmentação socioespacial dos territórios. Além de prejudicar a saúde humana, essas mudanças podem resultar na proliferação de doenças emergentes e reemergentes, que são reconhecidas como um dos principais vetores das alterações climáticas (Silva *et al.*, 2024).

O contato humano com hospedeiros naturais, como o mosquito *Aedes aegypti*, e agentes virais infecciosos tem aumentado significativamente devido às mudanças climáticas e à expansão das áreas propícias para sua proliferação. Isso se torna ainda mais crítico diante das projeções de aumento das temperaturas médias anuais (Soek *et al.*, 2023), sobretudo em áreas urbanas densamente povoadas.

A intensificação da interação entre pessoas em espaços urbanos precários amplia essa exposição, criando um local propício para a disseminação de doenças (Cortez *et al.*, 2019; Castiglioni, 2020). A alta densidade populacional nesses locais favorece ainda mais a propagação de enfermidades.

Diversos elementos ambientais contribuem para o surgimento de infecções emergentes com impactos profundos na ecologia local. Essas mudanças podem levar a uma maior exposição humana a patógenos anteriormente isolados contribuindo para o surgimento e disseminação de novas doenças (Carvalho, 2020). O mesmo também ocorre para eventos danosos à população que reside em áreas de risco, onde há uma predisposição a incidência de um determinado fenômeno ou evento físico adverso. Nesse sentido, o conceito de vulnerabilidade é descrito por Cutter (2011) como o “potencial de perdas”. Para a autora, a vulnerabilidade abrange tanto os elementos de exposição quanto os fatores de propensão que afetam as capacidades da população, das infraestruturas ou dos sistemas físicos para responder e se recuperar das possíveis ameaças ambientais.

Para esse estudo, a vulnerabilidade social da população diante das ameaças climáticas será analisada considerando a suscetibilidade de determinada população exposta ao risco por residir em locais sem saneamento, com elevada densidade populacional e residir em áreas propensas a deslizamentos de terras, por fatores físicos como declividade, altitude, geologia e tipos de solos. Portanto, serão consideradas as influências socioeconômicas sobre o espaço urbano, acentuadas por fatores climáticos.

Diante desse contexto, foi promulgada a Lei nº 12.187, que estabeleceu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC). Essa legislação (BRASIL, 2009) define medidas de adaptação como iniciativas para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima como por exemplo o aumento dos níveis das marés, ondas de calor, inundações e deslizamentos. Contudo, o padrão de ocorrências

desses impactos vem sendo alterados e conseqüentemente, tem aumentado o número de desastres (IPCC, 2012; PBMC, 2016; IPCC, 2018).

Em 2012, no escopo do Plano Nacional de Gestão de Riscos (PNGR) e Respostas a Desastres, 821 municípios foram mapeados como prioritários para serem monitorados como áreas de gestão de risco. Para região Nordeste, 53 municípios foram caracterizados como prioritários para Pernambuco, sendo a segunda região prioritária para gestão de riscos com 34% estimado e a região Sudeste com 36%. Sendo assim, uma gestão de risco estabelece um planejamento para coordenação e execução de ações como medidas preventivas, de adaptação, mitigação e recuperação (CEMADEN, 2018).

Para Marengo et al. (2017), no Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, a necessidade de acelerar medidas de adaptação e mecanismos de resiliência nas cidades é essencial para o enfrentamento de desastres. O conceito de resiliência abrange a capacidade do indivíduo de se recuperar do risco e também elaborar estratégias de mitigação. Na Gestão Integrada de Riscos e Desastres (GIRD+10), elaborado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) no Brasil com apoio do Ministério do Desenvolvimento Regional (2021), são construídos indicadores de resiliência para poder avaliar a assertividade em tomadas de decisões junto aos processos participativos. Com isso, somente para o Brasil, estimou-se no ano de 2018 uma população de 8 milhões de pessoas que vivem em áreas de riscos de escorregamentos e inundações, equivalente a 9,8% da população no Brasil, mapeados em 825 municípios do país (IBGE, 2018; Alvalá *et al.*, 2019).

Segundo um panorama nacional do Atlas Brasileiro de Mudanças Climáticas (UFSC, 2013) existe uma tipologia de desastres mais frequentes, já vivenciadas com chuvas mais intensas, sendo elas: inundações gradativas, inundações bruscas e deslizamentos de massas. No panorama de previsão, se avaliarmos que a urbanização de Recife foi sob aterros instalados em solos encharcados e de baixa altitude, logo identificamos uma suscetibilidade de vulnerabilidades geomorfológicas na cidade.

Neste contexto específico de uma cidade costeira no nordeste brasileiro, os impactos das mudanças climáticas são profundamente vistos e sentidos, se manifestando de forma intensa e abrangente. Além das inundações e riscos geomorfológicos, as ameaças com o aumento das ilhas de calor urbanas, como observado por Nóbrega et al. (2022), persistem também, não como um fator distante, mas sim de forma interligada, uma crescente de outras vulnerabilidades mais ameaçadoras, como a vulnerabilidade socioambiental. Todos esses eventos tem um forte potencial de impactar negativamente a segurança alimentar e nutricional da região, gerando conseqüências socioeconômicas que se agravam as desigualdades sociais e diminuem a

capacidade de resiliência das comunidades.

Diante desses desafios, as políticas nacionais devem ser consideradas como instrumentos cruciais para enfrentar as mudanças climáticas e proteger as cidades de porte médio ou intermediário (OECD, 2022). No Brasil, além da PNMC, foram elaborados outros instrumentos de ordenamento territorial, como o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), conforme estabelecido pelo Decreto 4.297/2022. O ZEE é reconhecido como um dos principais instrumentos de planejamento ambiental, com o objetivo de identificar e analisar problemas ambientais, tais como áreas degradadas, usos inadequados do solo, recursos hídricos superficiais e subterrâneos, exploração irregular de recursos ambientais e o desenvolvimento urbano desordenado. Assim, o papel fundamental do zoneamento é identificar os principais conflitos de interesses entre os usos dos recursos naturais e as políticas ambientais, garantindo uma gestão mais sustentável e integrada do território.

O ZEE é fundamentado na gestão responsável dos territórios, estabelecendo um modelo de planejamento que distribui as atividades de acordo com as limitações, vulnerabilidades e fragilidades naturais de cada região. Seu foco está na conservação dos recursos naturais, com critérios que garantam sua disponibilidade para as gerações futuras, após ser submetido a um processo de ampla participação democrática. Um dos benefícios com seu cumprimento é a melhoria da capacidade de previsão dos impactos ambientais e a análise econômica para uma tomada de decisão mais precisa em investimentos, identificando os riscos de áreas com potenciais perdas.

Ainda, o Plano Nacional de Adaptação (PNA) é uma ferramenta essencial para lidar com os desafios das mudanças climáticas. Esses instrumentos não apenas identificam e preveem riscos, mas também implementam medidas de adaptação em diversos setores, incluindo áreas costeiras. Ao estabelecer diretrizes para uma gestão integrada, eles visam promover a proteção e o uso sustentável dessas regiões cruciais para o equilíbrio e justiça ambiental e social do país.

2.4 Fraquezas nos Sistemas de Proteção: Abordagem sobre Riscos e Ameaças

As vulnerabilidades diante das inundações urbanas resultam de processos ambientais e antropogênicos que se acumularam ao longo do tempo no espaço urbano, destacando a importância de definir de maneira clara os conceitos de Risco e Perigo, pois ainda geram frequentemente confusões semânticas na literatura. Conforme Cerri (1993) expressa, o Risco é a relação entre a possibilidade de ocorrência de um evento e a magnitude de seus danos ou consequências socioeconômicas para um grupo ou comunidade (Equação 1).

Os conceitos de perigo, ameaça e risco, embora relacionados, possuem significados

distintos em contextos específicos, especialmente na gestão de desastres e segurança pública.

Ludwig & Mattedi (2016) destaca o **Perigo** como a presença de potenciais danos, centrado na abordagem geográfica de algum evento físico, associado a diversas atividades em áreas de risco que foram antropizadas. O relatório do IPCC (2014) destaca os perigos climáticos e seus potenciais impactos, referindo-se ao aumento de eventos extremos, como tempestades, inundações e ondas de calor.

Segundo Buzan *et al.* (1998), **Ameaça** é a expressão de intenção hostil capaz de causar danos ao sujeito ou comunidade, envolvendo ações ou eventos representativos de perigo, embora nem sempre sejam concretizados. No contexto das mudanças climáticas, a ameaça climática remete aos possíveis danos ou agravamentos das condições de risco associados a eventos adversos.

De acordo com Wisner *et al.* (2004), **Risco** também é a combinação da probabilidade de ocorrência de um perigo com suas consequências, considerando a exposição e vulnerabilidade das pessoas ou regiões afetadas, enfatizada pelo nível de exposição. Aqui, trata-se da importância da capacidade de resiliência do sistema, seja ele social ou natural. Portanto, segundo o IPEA (2015) é necessário conhecer o risco para desenvolver estratégias de gestão.

$$\text{Risco} = \text{Probabilidade de exposição} \times \text{Consequências} \quad (1)$$

O risco climático segue a mesma definição da probabilidade de ocorrência de um perigo climático com as consequências desse evento, embora as mudanças na quantidade e intensidade variem significativamente por classes. A consideração desses fatores leva em consideração a exposição e vulnerabilidade das pessoas, ecossistemas e infraestruturas afetadas, bem como suas capacidades de resiliência (Cutter *et al.*, 2003).

Importantes trabalhos como Cutter *et al.* (2003), Cutter (2011) e Jansen (2020) abordam o risco climático como uma relação entre a vulnerabilidade social e econômica das comunidades. Nesse sentido, na medida em que aumentam os padrões das mudanças climáticas, que expõe um determinado grupo de população aos riscos, aumenta também o potencial de destruição dos desastres naturais. Isto é, o efeito combinado desses fatores, trata-se de um evento físico acelerador caracterizado como desastre socioambiental (Mattedi *et al.* 2024).

No entanto, quando os riscos climáticos apresentam a probabilidade de causar prejuízos graves e duradouros, são caracterizados como suscetibilidade. Isso significa que, independente de questões biofísicas ou sociais, determinado fenômeno pode expor uma população ou região a certos riscos (Freitas & Cunha, 2013). Assim, para esse trabalho, a existência humana será

considerada como um elemento catalisador de suscetibilidades, indicando um aumento na exposição ao risco em determinados territórios, os quais serão identificados como locais suscetíveis ao risco.

Em grandes capitais do país, as inundações e deslizamentos, principalmente durante períodos de chuvas intensas, provocam escorregamentos e outros processos correlatos que têm sido um problema atualmente. Baseado em um estudo com uma metodologia desenvolvida pelo Banco Mundial e a Universidade de Columbia - New York para a identificação de áreas críticas, foi elaborado um Relatório de Análise de Riscos e Vulnerabilidades Climáticas e Estratégia de Adaptação para o Município do Recife, apresentado durante a Conferência Brasileira do Clima.

Os riscos climáticos para a cidade do Recife incluem: inundações, deslizamentos, doenças transmissíveis, ondas de calor, secas meteorológicas e aumento do nível médio do mar. Esses riscos estão relacionados aos processos hidrogeomorfológicos, como movimentos de massa durante chuvas intensas, inundações repentinas e desastres, cujo grau de perda ou dano é determinado pelas condições físicas, sociais, econômicas e ambientais, caracterizando desse modo, o conceito de vulnerabilidade socioambiental (Aquino *et al.*, 2017).

2.5 Análise Exploratória Espacial (AEDE)

No contexto da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), conhecida como *Exploratory Spatial Data Analysis* (ESDA). Desse modo, se apresenta como principal objetivo dessa abordagem buscar a combinação de técnicas da econometria espacial destinadas para descrever e visualizar distribuições espaciais, identificando localidades incomuns (*outliers* espaciais), padrões de associações das variáveis (*clusters* espaciais) e sub-regiões com diferentes distribuições ou outras formas de regimes espaciais.

Inicialmente, na AEDE é necessário partir do primeiro pressuposto da hipótese nula. Isto é, considera-se que os dados espaciais estão distribuídos de forma aleatória, ou seja, significa dizer que os valores de sua variável para uma região não dependem dos valores desta variável em outras regiões vizinhas (Almeida, 2012). Conforme o autor avalia, a AEDE é crucial para a compreensão de padrões e estruturas nos dados espaciais, oferecendo insights sobre a distribuição geográfica de fenômenos e processos.

Nesse sentido, é possível inferir medidas de autocorrelação espacial como global e local, avaliando as influências dos efeitos através de métodos quantitativos. No entanto, é necessário definir algum indicador de intensidade para as variáveis distribuídas espacialmente para minimizar o viés de instrumentação.

Segundo Longley et al. (2015), a Análise Espacial combina métodos geográficos e

estatísticos para investigar padrões, tendências e relações em dados espaciais. Essa abordagem permite mensurar atributos e relacionamentos, considerando a localização espacial do fenômeno de forma explícita e permitindo uma compreensão profunda de dinâmicas espaciais e dos processos que ocorrem em diferentes escalas geográficas das áreas estudadas.

Para Golgher (2012), os fenômenos com interações espaciais, processos de difusão e hierarquias espaciais implicam que a localização e a distância entre as observações deveriam ser incorporadas aos estudos que tratam destas questões. Há um grande número de estudos sobre os diferentes índices de vulnerabilidade, mas o número de trabalhos que medem e analisam essas variáveis espacialmente ainda é incipiente.

2.5.1 Índice de Moran Global

O conhecido *Global Moran Index* é uma medida estatística espacial desenvolvida por Patrick A. Pierce Moran (1948) para analisar de forma abrangente as variações de autocorrelação espacial entre os valores dos vizinhos mais próximos que podem ser classificados como positivos, negativos e sem autocorrelação espacial.

De forma geral, um coeficiente de autocorrelação descreve um conjunto de dados que está ordenado em uma certa sequência espacial. Sendo necessário para determinação de uma estatística de autocorrelação espacial, com efeito: uma medida de autocovariância, uma medida de variância e uma matriz de ponderação espacial (w).

No entanto, segundo Almeida (2012) a estatística I de Moran propõe um coeficiente de autocorrelação espacial, utilizando a medida de autocovariância na forma de produto cruzado. Desse modo, é representada algebricamente pela notação matricial da equação 2:-

$$I = \frac{n}{S_0} \times \frac{z'Wz}{z'z} \quad (2)$$

Onde o significado de (n) é o número de regiões, (z) indica os valores da variável de interesse padronizada, (Wz) expressa os valores médios da variável de interesse padronizada nos vizinhos, definidos segundo a matriz de ponderação espacial (W). Um elemento dessa matriz, referente a região i e a região j , é registrado como w_{ij} , significando que todos os elementos da matriz de pesos espaciais w devem ser somados (S_0).

Com isso, o termo do numerador é referente a autocovariância espacial, composta pelos produtos cruzados $z'Wz$ e o denominador referente a variância dos dados ($z'z$).

O I de Moran tem um valor esperado de $E(I) = [-1/(n-1)]$ com os valores calculados de I maiores (ou menores) significando que houve autocorrelação positiva (ou negativa). Uma indicação de autocorrelação positiva representa que existe uma similaridade entre os valores do

atributo estudado e da localização espacial do atributo. De outro modo, uma indicação de autocorrelação espacial negativa representa que existe uma dissimilaridade entre os valores do atributo e da localização espacial do atributo.

De forma resumida, o I de Moran apresenta segundo Almeida (2012) três tipos de informação: o nível de significância fornece informação sobre os dados estarem distribuídos aleatoriamente ou não, 2. o sinal positivo da estatística I de Moran, desde que significativo, indica que os dados estão concentrados através das regiões, 3. o sinal negativo, indica a dispersão dos dados, pois considera que quanto

mais próximo de 1, mais forte é a concentração das variáveis e por sua vez, quanto mais próximo de -1, mais dispersos estão os dados.

2.5.2 Índice Local de Associação Espacial ou *Local Indicator of Spatial Association* (LISA)

Possui a capacidade de capturar padrões locais de autocorrelação espacial que são estatisticamente significativos, proposto na literatura por Anselin (1995). No entanto, para que a estatística seja um indicador LISA é necessário que satisfaça dois critérios, a saber: 1. a capacidade, para cada observação, de indicar clusters espaciais significativos estatisticamente, 2. a proporcionalidade, de que o somatório dos indicadores locais deve ser proporcional ao indicador de autocorrelação espacial global correspondente. Assim, o indicador LISA é representado algebricamente pela equação 3:

$$I_{i,t} = \frac{(X_{i,t} - \mu)}{Mo} \sum_j w_{i,j} (X_{i,j} - \mu_t) \quad (3)$$

Onde:

$$Mo = \frac{(X_{i,t} - \mu_t)^2}{n} \quad (4)$$

Na equação 4, $X_{i,t}$ representa uma observação e uma variável de interesse na região i para o ano t , e μ_t é a média das observações entre as regiões para o ano t , com o $\sum_j$ incluindo apenas os valores vizinhos de j . De acordo com Anselin (1995), a estatística LISA é usada para testar a hipótese nula, ou seja, a ausência de associação espacial significativa e local. Para isso, deve-se fazer uso de uma aleatorização condicional, que permite determinar uma pseudo significância.

Desse modo, para obter uma distribuição empírica das estatísticas de teste, deve-se observar se o valor da variável de interesse está dentro ou fora da região crítica definida. Dessa maneira, se o valor calculado for superior em magnitude à esperança matemática do I de

Moran, seus resultados serão estatisticamente significativos.

No estudo da Análise Exploratória dos Dados Espaciais (AEDE) também é possível obter um coeficiente de autocorrelação espacial global bivariado, sendo assim, o objetivo é descobrir se o valor de um atributo observado em uma dada região está relacionado especialmente com os valores de outra variável observada em regiões vizinhas (ALMEIDA, 2012). Assim é possível calcular a estatística I de Moran para duas variáveis diferentes padronizadas, digamos, Z_1 e Z_2 . Somente os vizinhos da observação i , definidos conforme uma matriz de pesos espaciais é incluída no cálculo.

Secção 3

3 CONTEXTUALIZAÇÃO DO DEBATE

3.1 Crescimento Populacional e Determinantes de Vulnerabilidades em países subdesenvolvidos

O conceito de vulnerabilidade é intrinsecamente abrangente e multidimensional, abarcando aspectos físicos, sociais, econômicos, ambientais e institucionais. De forma ampla, refere-se ao grau suscetibilidade de um sistema expresso não apenas pelos efeitos das mudanças climáticas, mas também a fatores está atribuído a fatores como crescimento populacional desorganizado, pobreza, falta de acesso a serviços básicos e infraestrutura resiliente (Gallopín, 2006). Dessa forma, a vulnerabilidade para essa pesquisa estará associada as ameaças e perigos direcionados para um contexto urbano fragmentado por disparidades económicas e imerso em suscetibilidades às mudanças climáticas.

O estudo de Gallopín (2006) destaca a interconexão entre vulnerabilidade, resiliência e capacidade adaptativa diante dos desafios ambientais globais. Ao analisar de forma abrangente esses conceitos em diferentes comunidades e sistemas socio ecológicos, o autor identifica a importância de compreender esses conceitos de forma integrada com elementos sociais, urbanos e ecológicos. Isso permite que as desigualdades interajam de maneira interdependente no sistema, promovendo sustentabilidade e eficácia na adaptação às mudanças ambientais pois buscam promover a resiliência e adaptação sustentável dentro de um sistema interligado.

Isso evidencia a importância de estratégias holísticas que fortaleçam a resiliência das comunidades, considerando não apenas sua vulnerabilidade, mas também sua capacidade de recuperação, organização e adaptação diante das dificuldades. Com isso, a vulnerabilidade representa uma capacidade inadequada de comunidades ou indivíduos de lidarem com esses efeitos adversos. Assim, abordar também as causas subjacentes da vulnerabilidade como indicadores é essencial para a sistematização de índices de vulnerabilidade. Estas causas incluem a marginalização e exclusão social, pobreza, desigualdade social e económica, ocupação e uso da terra, infraestrutura e serviços básicos, além de governança frágil. Com isso, para promover a capacidade de resiliência torna-se crucial para fortalecer a capacidade de enfrentamento das sociedades diante de adversidades climáticas (Metzger *et al.*, 2006; Janczura, 2012; Guillard-Gonçalves e Zêzere, 2018).

Para contextualizar a relação entre vulnerabilidade e ameaças emergentes, é importante considerar as disparidades socioeconômicas que transbordam os efeitos adversos entre comunidades vulneráveis. Estudos como o de Cutter *et al.* (2003) demonstram que grupos

socioeconômicos desfavorecidos frequentemente enfrentam maior exposição a riscos ambientais devido a condições de moradia precárias, acesso limitado a serviços de saúde e infraestrutura deficiente. Além disso, pesquisas de Birkmann (2006) e Füssel (2007) ressaltam como a vulnerabilidade socioeconômica pode amplificar os impactos de ameaças naturais, como tempestades e inundações, resultando em perdas significativas de vidas e meios de subsistência.

Estudos como o de Pelling (2010) e Brooks et al. (2005) destacam a importância de abordagens adaptativas e participativas que considerem as necessidades e capacidades locais na formulação de estratégias de redução de riscos e adaptação às mudanças climáticas. Além disso, a análise contínua da vulnerabilidade, conforme proposta por Turner et al. (2003) e Bohle et al. (1994), é essencial para identificar tendências emergentes e ajustar políticas e práticas de gestão de riscos de forma proativa, promovendo a resiliência a longo prazo.

3.2 Índice de Vulnerabilidade Socioambiental no contexto Brasileiro (sensibilidades do sistema)

Os índices de vulnerabilidade são ferramentas essenciais pois são parâmetros que atuam na compreensão e no enfrentamento dos desafios socioeconômicos e ambientais que impactam as comunidades avaliadas. Dessa forma, a vulnerabilidade socioambiental está associada aos indicadores de sensibilidade e capacidade adaptativa do sistema socioecológico às mudanças climáticas (IPCC, 2014). No contexto brasileiro, uma série de estudos estão sendo conduzidos com o objetivo de desenvolver e aplicar índices de vulnerabilidade que sejam representativos para realidade do país.

Um exemplo significativo desses esforços é a pesquisa conduzida por Freitas & Cunha (2013), que analisou a vulnerabilidade socioambiental em áreas de risco observando a capacidade de resiliência e os esforços necessários para enfrentamento e recuperação das necessidades diante dos desastres. Os autores identificaram padrões espaciais de vulnerabilidade ao utilizar uma abordagem que combina variáveis como densidade populacional, renda per capita, acesso a serviços básicos e proximidade de áreas de risco, sugerindo a formulação e a implementação de políticas públicas direcionadas a essas regiões.

Outro estudo relevante foi realizado por Santana *et al.* (2019), que investigaram o índice de vulnerabilidade social e suas relações com as condições de saúde em um território vulnerável na cidade de Salvador, Bahia. A metodologia adotada envolveu a coleta de dados socioeconômicos e de saúde por meio de inquéritos domiciliares e registros de saúde pública. Desse modo, os resultados obtidos mostraram uma associação significativa entre o Índice de

Vulnerabilidade Social (IVS) e indicadores de saúde, evidenciando que onde teve maior vulnerabilidade social também se destacaram piores condições de saúde.

Nos trabalhos mencionados, ambas as conclusões ressaltam a importância de políticas públicas integradas que considerem tanto aspectos sociais quanto de saúde para abordar efetivamente as disparidades e promover a melhoria das condições de vida da população. Com isso, compreender e avaliar os níveis de vulnerabilidade em sensibilidades, exposições e capacidades de resiliência do grupo, permite um olhar mais analítico sobre as condições específicas das regiões, como sugere o (IPCC, 2014).

Embora eventos naturais extremos ocorram a bastante tempo, o reconhecimento de que os perigos não são apenas físicos, mas também incluem situações socialmente construídas, auxilia nas tomadas de decisões e mitigações dos riscos.

Com isso, a construção de índices de vulnerabilidade social é uma ferramenta que quantifica e analisa a exposição de populações a condições adversas de desigualdades, considerando fatores como renda, acesso a serviços essenciais, educação e saúde (IPEA, 2015). Tal análise pode ser tanto de forma micro (regional) como de forma macro (nacional) e permite ainda, identificar áreas ou grupos mais vulneráveis a situações de diversos parâmetros de medição como pobreza, gênero, padrões sociais, áreas suscetíveis ao risco ou desvantagens socioeconômicas.

3.3 Política Ambiental

Para compreender o atual modelo de Gestão dos Recursos Ambientais no país é necessário compreender como se origina a política global de preservação do meio ambiente e em qual modelo de desenvolvimento sustentável está inserido, diante das mudanças climáticas e suas disparidades.

Após a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) dar um pontapé inicial no conceito de Desenvolvimento Sustentável, a partir do Relatório de Brundtland (1987). Ações mais pontuais só voltaram a se destacar novamente, na Conferência, mais conhecida como Rio 92, onde foram elaborados três documentos importantes, como: a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente, Declaração de Princípios sobre Manejo das Florestas e a Agenda 21, sendo sem dúvidas o documento mais divulgado em relação as diretrizes ambientais mundiais, divulgando atividades capazes de reverter a degradação ambiental e estabelecer o desenvolvimento sustentável como base da economia, elaboradas na Rio 92.

Sendo assim, com a não adesão dos EUA ao documento, o Brasil estava no centro das atenções na discussão mundial sobre o desenvolvimento sustentável na Rio 92 e avançou em

consolidar suas próprias políticas após ter definido a Política Nacional de Meio Ambiente, em 1981 definindo quais seriam as áreas de ação governamental prioritárias e estabeleceu critérios e padrões para qualidade de seus recursos. Nessa etapa, ficaram responsáveis pela manutenção e fiscalização de ações ambientais o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA), o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (BRASIL, 2018).

Após isso, no início dos anos 2000, foi instituído o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), através da Lei nº 9.985/2000, que estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. Com isso, Recife conta com uma simbólica área verde na presença de algumas unidades de conservação, acompanhadas por leis federais e estaduais.

O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU), é um instrumento fundamental para o planejamento e a gestão de cidades. Segundo o Plano Diretor do Recife, as Unidades Protegidas são aquelas que apresentam mata, mangue, curso ou corpo d'água, bem como aquelas de interesse ambiental ou paisagístico necessárias à preservação das condições de amenização climática. Estas áreas são destinadas a atividades recreativas, esportivas, de convivência ou de lazer na cidade, como por exemplo o Parque da Jaqueira e o Parque dos Manguezais.

Parques urbanos, reservas ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental (APA's) são fundamentais para a conservação da biodiversidade local, além de oferecer espaços de lazer e bem-estar para os habitantes. Desse modo, nos estudos geoespaciais, destacam-se três tipos de áreas distintas: 1) as áreas recobertas com maciços vegetais preservados, 2) as áreas com significativa presença de vegetação em simbiose com uma ocupação culturalmente significativa e 3) os pequenos fragmentos vegetados inseridos na malha urbana.

Assim esse conjunto de áreas expressa uma diversidade de ecossistema através da vegetação, das águas e espaços verdes dentro do contexto urbano. No entanto, essa atenção também se baseia na ciência socialmente engajada de perdas e danos que as pessoas em vários contextos geográficos, urbanos e culturais valorizam e até que ponto a mudança climática coloca esses aspectos da vida em risco (Barnett *et. al*, 2016)

Apesar de essas políticas de conservação ambiental tem como objetivo o incentivo da regeneração dos escassos recursos naturais ainda disponíveis na cidade é um fato que para essa permanência ser sustentável é essencial considerar os direitos de acesso a serviços básicos para pessoas, iniciando pelo princípio habitacional.

As incorporações de uma lista de critérios, no âmbito federal, para as Áreas de Preservação Permanente (APP) são ignoradas quando essas áreas são caracterizadas como “aptas” para habitação pela população menos favorecida. Essas áreas como margens de rios, mangues, nascentes, topos de morros e encostas são protegidas pelo Código Florestal (Lei nº 12.651/2012). Portanto, possuem objetivos mais amplos que podem estar relacionados a conservação de recursos hídricos, preservação de processos erosivos, manutenção da biodiversidade e proteção do solo. Autores apontam que as áreas verdes urbanas contribuem significativamente para a saúde pública, reduzindo o estresse e promovendo atividades físicas e sociais (Wolch, Bryne, & Newell, 2014).

3.3.1 Diferenças entre Tipos de Áreas Ambientais

Segundo o PDDU do Recife, a Região Metropolitana do Recife (RMR) possui um total de 25 Unidades de Conservação (UC) e 2 Unidades de Conservação da Paisagem (UCP), conforme instituído pela Lei nº 18.014/2014, que estabelece o Sistema Municipal de Unidades Protegidas (SMUP). Apesar de possuírem nomenclaturas diferentes, as UC's e UCP's (Tabela 1) são direcionadas para um papel essencial e comum na preservação de ecossistemas locais.

Tabela 1: Unidades de Conservação por tipos de classificação

Unidades	Tipo	Localização
Mata de Beberibe	Unidade de Conservação da Natureza (UCN)	Guabiraba
Jardim Botânico do Recife	Unidade de Conservação da Natureza (UCN)	Curado
Parque da Jaqueira	Unidade de Conservação da Paisagem (UCP)	Jaqueira
IPV'S ³ , Jardins Preservados, Árvores Tombadas	Unidade de Equilíbrio Ambiental (UEA)	Diversos bairros

Fonte: <https://www2.recife.pe.gov.br/servico/unidades-de-conservacao-0>

Embora as UCP e UEA não sejam termos amplamente reconhecidos, podem inferir que essas áreas são protegidas por uma conservação da paisagem natural estabelecida, com o objetivo de preservação e manutenção de características.

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), instituído pela

³ O **Imóveis de Proteção de Área Verde (IPAV)** é uma das categorias de Unidades Protegidas do Recife integrante da arborização urbana que foi criada pela Lei de Uso e Ocupação do Solo da Cidade do Recife-LUOS (Lei Municipal nº 16.176/1996) e por leis posteriores. A legislação referente aos IPAVs foi alterada no Plano Diretor da Cidade do Recife (Lei Municipal nº 17.511/2008) que o enquadrado como **Unidade de Equilíbrio Ambiental** e no Sistema Municipal de Unidades Protegidas-SMUP (Lei Municipal nº 18.014/2014).

Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, organiza as UC em duas grandes categorias: Unidades de Proteção Integral (UPI) e Unidades de Uso Sustentável (UUS), que podem ser de gestão federal, estadual ou municipal. No Recife, encontram-se UC's que se enquadram tanto na categoria de UPI quanto na categoria de UUS, sendo, portanto, caracterizada como uma UPI o Refúgio de Vida Silvestre (REVIS) na Mata do Engenho Uchôa, direcionada para proteger a fauna, flora e bioma nativo. Outra UPI é o Parque Natural Municipal do Curado (Mata do Curado) que busca preservar seu ecossistema natural de Mata Atlântica e paisagístico da cidade, ambas unidades possibilitam a realização de pesquisas científicas e atividades de educação em suas áreas.

Estudos destacam que a presença de áreas verdes em regiões urbanas podem melhorar a resiliência das cidades frente aos desafios ambientais, como inundações e ondas de calor (Haaland & Van Den Bosch, 2015; Gonzalez, Salazar & Perez, 2023). No entanto, apesar legislações de preservação vigentes, há registros de fragmentação de habitats e diminuição das áreas de vegetação devido a nos últimos anos devido à urbanização descontrolada e ao crescimento populacional na cidade (Oliveira *et al.*, 2020; Da Silva, 2023).

Nos últimos anos, os documentos de Plano de Manejo para Unidades de Conservação no Recife, tiveram significativas mudanças para que pudesse refletir melhor as características e a importância dessas áreas protegidas. Por isso, a Lei Estadual nº 14.324/2011 fez uma atualização reclassificando áreas de proteção, tabela 2, ampliando a proteção e parâmetros de gestão.

Tabela 2: Renomeações para Unidades de Conservação no Recife

Antiga Nomenclatura	Atualização	Localização
APA Aldeia Beberibe	APA Aldeia	Recife, Camaragibe, Paudalho, São Lourenço da Mata e Abreu e Lima.
REE Mata do Engenho Uchôa (APA)	Refúgio da Vida Silvestre	Mata do Engenho Uchôa
REE Matas do Curado (UC)	Refúgio da Vida Silvestre	Mata do Curado
REE Dois Irmãos (UC)	Parque Estadual	Dois Irmãos
REE Mata de Dois Unidos (UC)	Reserva de Floresta Urbana	Mata de Dois Unidos
REE Mata São João da Várzea (UC)	Refúgio da Vida Silvestre	Mata São João da Várzea

Fonte: Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) nº 16.176/96 da cidade do Recife

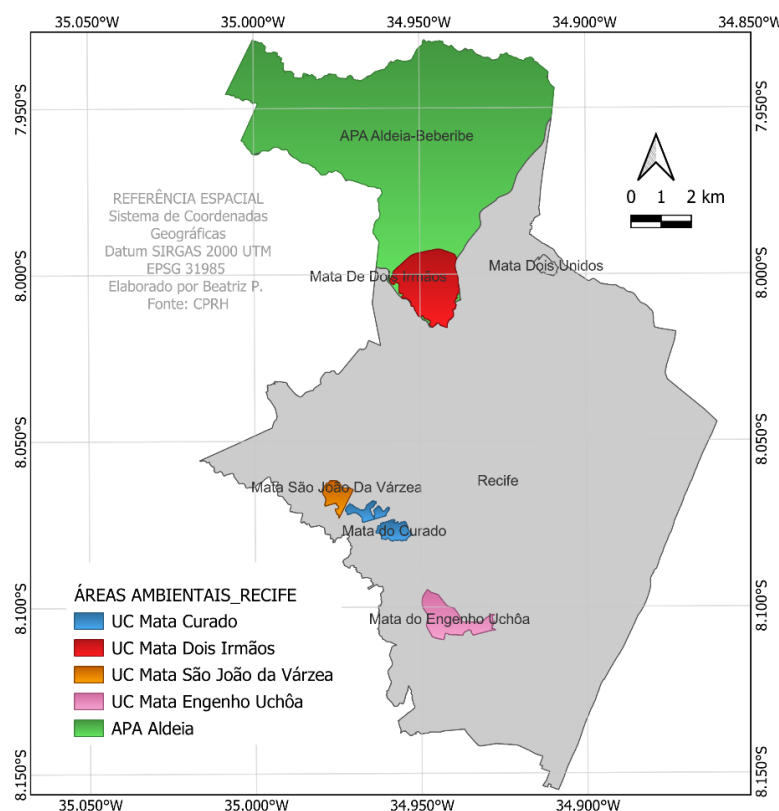
A revisão do Plano de Manejo e o aprimoramento de gestão são ferramentas necessárias na manutenção e preservação desses ecossistemas e biodiversidades. A pressão por novos empreendimentos imobiliários e a falta de fiscalização rigorosa têm contribuído para a degradação de áreas protegidas. Desse modo, relatórios ambientais e estudos locais indicam

que a perda de cobertura vegetal pode levar a sérios impactos ambientais, incluindo a redução da biodiversidade e a piora das condições climáticas urbanas (Oliveira, Silva e Souza, 2020).

Entre as categorias de áreas verdes protegidas, as Unidades Protegidas (**UP**) abrangem uma significativa variedade de locais no Recife (figura 2). Essas unidades incluem parques, Área de Proteção Ambiental (**APA**) e outras formas de unidades de conservação. Essas áreas são regidas pela Lei Municipal nº 18.014/2014 que institui o Sistema Municipal de Unidades Protegidas (SMUP) e regula através da administração municipal, um exemplo dessa unidade é a Lagoa do Araçá, no bairro da Imbiribeira.

As Áreas de Proteção Ambiental (APA's) são unidades de conservação de uso sustentável, geralmente mais extensas e com um certo grau de ocupação humana. Um outro exemplo de APA para o Recife é a APA dos Manguezais. Embora as APA's possam conter Áreas de Preservação Permanente (APP's) em seu interior, elas não são, por definição, APP's. Para contextualizar, em um pequeno recorte, as APA's têm como objetivo a harmonização e a conservação da natureza, conforme estabelecido no Plano de Manejo, protegendo recursos hídricos, florestas e outros elementos naturais. Enquanto as APP's também são áreas protegidas por lei com a função de preservar recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade estipulando outros parâmetros delimitados de uso e preservação.

Figura 2: Mapa de representação de Áreas Ambientais mais significativas do Recife



Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados do CPRH (2023)

As UC's, enquanto abrangência de conservação, pela legislação federal são abarcadas por uma proteção maior e por sua representatividade, sendo destinadas para proteção e utilização de pesquisas científicas, educação e turismo ecológico. Por outro lado, a gestão territorial também ocorre por órgãos municipais e estaduais, responsáveis pela gestão e também por órgãos do governo local, sendo prefeituras, câmaras municipais e secretarias.

Ambos os sistemas são completamente essenciais para uma gestão integrada e sustentável do meio ambiente, cada uma atua em suas diferentes competências e contextos para garantir a conservação. Abaixo, listadas na tabela 3, outras Unidades de Conservação também foram encontradas em publicações do licenciamento ambiental sobre os Planos de Manejos de Unidade de Conservações do Recife.

A aplicação de políticas para essas áreas ambientais, de proteção ambiental e/ou uso sustentável dos recursos, são essenciais para permanência e preservação dessas áreas. A legislação proporciona diretrizes específicas para as Áreas de Proteção Ambiental (APA's) e a preservação de áreas críticas, como as Áreas de Preservação Permanente (APP's), que incluem margens de rios, topos de morros e encostas, essenciais para a manutenção da biodiversidade, a prevenção de desastres naturais e a proteção dos recursos hídricos. Em suas diligências o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012) regula as APP's enquanto o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC, Lei nº 9.985/2000) rege as Unidades de Conservação (UC's).

Tabela 3: Outras Unidades de Conservação no Recife

Tipo	Nome	Localização
Unidade Protegida	Lagoa do Araçá	Imbiribeira
Unidade de Protegida	Ilha do Zeca	Ilha Joana Bezerra
Parque Natural Municipal	Parque Manguzeais	Pina
Unidade de Conservação	Tamandaré	Areias
Unidade de Conservação	Jordão	Boa Viagem/Imbiribeira
Unidade de Conservação	São Miguel	Afogados
Unidade de Conservação	Joana Bezerra	Joana Bezerra
Unidade de Conservação	Mata do Barro	Barro
Unidade de Conservação	Caxangá	Caxangá
Unidade de Conservação	Orla Marítima	Pina, Boa Viagem
Unidade de Conservação	Sítio dos Pintos	Sítio dos Pintos
Unidade de Conservação	Mata das Nascentes	Várzea
Unidade de Conservação	Iputinga	Apipucos
Unidade de Conservação	Sítio Grande	Imbiribeira
Área de Proteção Ambiental	Mata da Várzea	Várzea
Área de Proteção Ambiental	Campo do Jiquiá	Jiquiá
Área de Proteção Ambiental	Açude de Apipucos	Apipucos
Área de Proteção Ambiental	das Capivaras	Apipucos

Fonte: EMPREL (2020)

No contexto municipal do Recife, a integração de UC's e APP's é crucial para a sustentabilidade urbana e a proteção dos recursos naturais. As UC's, distribuídas pela cidade, abrigam importantes ecossistemas e espaços verdes, enquanto as APP's protegem áreas vulneráveis, como margens de rios e encostas. O entendimento e a coordenação entre essas áreas contribuem para a preservação da biodiversidade, a mitigação de riscos ambientais e a melhoria da qualidade de vida dos habitantes.

A diferenciação clara entre as Unidades Protegidas, Parques Naturais, APA's e UC's permite uma gestão e acompanhamento eficaz às necessidades específicas de cada área, assegurando a sustentabilidade ecológica e social da cidade do Recife. E ainda, conforme o Código Florestal Brasileiro, essa classificação detalhada facilita a implementação de políticas ambientais integradas.

3.4 Divisões das Regiões Políticas Administrativas do Recife

Administrativamente, o Recife é dividido em seis Regiões Político-Administrativas (RPAs), que juntas correspondem a 94 bairros. O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU), conforme estabelecido pelo Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257/01), associa políticas locais de desenvolvimento urbano com políticas de sustentabilidade ambiental, visando obter avanços sociais relacionados às diversas formas de utilização dos recursos e ocupação do território.

Para estabelecer diretrizes de ordenamento urbano, o PDDU dividiu o território de Recife em RPA's (tabela 4). Essa divisão facilita a gestão e o planejamento urbano, levando em conta as características específicas de cada região, que podem ser similares ou variar significativamente entre elas. Sendo assim, os principais desafios enfrentados pela cidade incluem disparidades socioeconômicas, falta de infraestrutura adequada, informalidade habitacional e dificuldade de acesso a serviços básicos essenciais.

Apesar dessas políticas setoriais terem como o objetivo principal pensar e projetar as cidades em suas múltiplas dimensões e contextos – ambiental, social e econômico – comumente essas políticas são tratadas de forma dissociada. A resistência pública de moradias em área de preservação de florestas ou rios é um exemplo prático disso, uma proibição de moradias sem considerar as comunidades que dependem dessa área para subsistência é uma forma dissociada políticas que trazem soluções a curto prazo que não são sustentáveis a longo prazo.

Tabela 4: Divisão dos bairros pelas Regiões Políticas Administrativas

RPA 1 (centro)	Santo Antônio, São José, Boa Vista, Santo Amaro, Soledade, Derby, Ilha do Leite, Ilha do Retiro.
RPA 2 (norte)	Casa Amarela, Parnamirim, Tamarineira, Santana, Monteiro, Apipucos, Casa Forte, Poço da Panela, Jaqueira, Macaxeira, Mangabeira, Dois Irmãos, Guabiraba, Brejo da Guabiraba, Brejo de Beberibe.
RPA 3 (nordeste)	Boa Viagem, Setúbal, Pina, Brasília Teimosa, Imbiribeira.
RPA 4 (sul)	Areias, Barro, Estância, Jardim São Paulo, Jiquiá, San Martin, Sancho, Tejipió.
RPA 5 (sudeste)	Afogados, Bongü, Caçote, Coqueiral, Curado, Ilha Joana Bezerra, Mangueira, Mustardinha, Prado, Torrões, Várzea, Cidade Universitária, Iputinga, Engenho do Meio.
RPA 6 (oeste)	Água Fria, Alto José Bonifácio, Alto José do Pinho, Arruda, Beberibe, Cajueiro, Campina do Barreto, Campo Grande, Encruzilhada, Fundão, Hipódromo, Linha do Tiro, Peixinhos, Ponto de Parada, Porto da Madeira, Rosarinho, Torreão.

Fonte: Autora (2024)

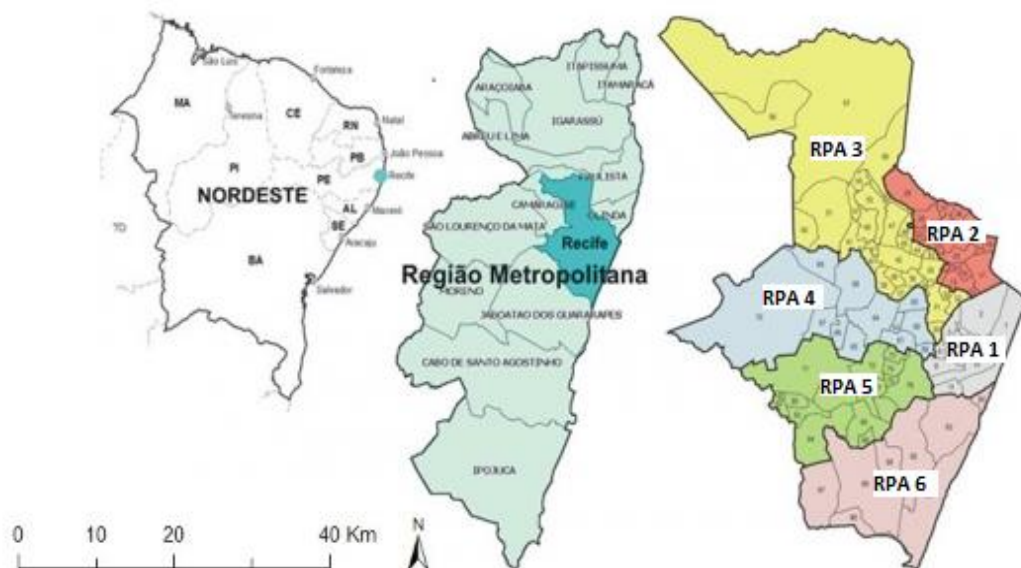
A Lei Municipal nº 16.719/2001 institui a divisão do Recife em RPA's, detalhando seus limites e estabelecendo funções administrativas divisão em RPA's na cidade (Figura 3). Essa ação comprova uma presença de áreas com insuficiência ou ausência de acesso a serviços básicos como saneamento, coleta e destinação adequada do lixo, além apontar condições precárias de habitação em áreas suscetíveis ao risco.

Em paralelo, essas interpretações de problemas de vulnerabilidade socioeconômica são vistas como uma expressão dos impactos da degradação ambiental devido à ocupação indevida de territórios. No entanto, paradoxalmente, os riscos são um produto de um desenvolvimento estruturalmente inadequado, resultado da exclusão social e da degradação ambiental.

De acordo com a análise de Collins (2009), para entender o uso dos solos florestais por ocupações urbanas e a ocupação em áreas que ofereçam riscos, é necessário pensar em um modelo relacional de desenvolvimento e desastres como um ciclo. Os problemas de desenvolvimento provocam desastres, e os desastres, por sua vez, retardam o desenvolvimento, perpetuando uma reação em cadeia cíclica.

Na prática, a construção de um grande número de escolas em áreas urbanas sem planejamento adequado sobre como crianças e adolescentes acessarão e permanecerão na educação é um exemplo de iniciativa dissociada. Esse exemplo não considera as necessidades de transporte, infraestrutura e suporte para garantir que os estudantes possam frequentar e se beneficiar do ambiente pedagógico.

Figura 3: Localização do Recife e suas Regiões Políticas Administrativas



Fonte: Recife, 2024

Apesar das divisões do território terem sido criadas para tornar a gestão dos territórios mais eficientes, historicamente algumas RPA's enfrentam desafios significativos em termos de segurança e garantia de moradias dignas. Esses desafios serão avaliados a partir da observação da distribuição espacial das carências dos indicadores utilizados nesse estudo, considerando dados socioeconômicos, demográficos e de infraestrutura urbana.

3.5 Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS)

As Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS) são cruciais para abordar problemas históricos de desigualdade social e urbana no Recife. Essas áreas geralmente são ocupadas por populações de baixa renda que vivem em condições precárias de habitação e infraestrutura. A definição de ZEIS permite que o governo implemente projetos de urbanização, regularização fundiária e melhoria dos serviços básicos, como água, esgoto, eletricidade e saneamento. Além disso, a criação das ZEIS ajuda a proteger essas áreas da especulação imobiliária, garantindo que os moradores possam permanecer em suas comunidades com melhores condições de vida.

Um estudo recente de Ferreira (2019) examinou a eficácia das políticas de ZEIS na cidade de São Paulo, destacando os desafios e oportunidades para a implementação dessas políticas e seu impacto muito presente na inclusão social e no acesso à moradia digna na cidade. Além disso, Silva e Santos (2021) analisaram a implementação das ZEIS em municípios do

estado do Rio de Janeiro, identificando os principais obstáculos enfrentados pelas administrações municipais na aplicação dessas políticas e propondo recomendações para fortalecer sua eficácia. Ambos os estudos identificam que o sucesso dessa política depende de um esforço contínuo para superar desafios administrativos e garantir recursos adequados para a implementação e manutenção das ZEIS

No processo de construção do espaço urbano, as ZEIS, como estabelecido no plano de Recife de 2015, surgem como uma resposta às crescentes demandas por moradia digna em áreas urbanas. Essas zonas foram instituídas para enfrentar a crescente pressão sobre o mercado imobiliário e a necessidade de inclusão social de grupos comunitários em regiões onde a ocupação informal e a carência habitacional são predominantes (Ferreira, 2019). Sendo assim, as ZEIS visam proporcionar um acesso à habitação e aos serviços básicos para famílias de baixa renda, que muitas vezes se encontram em situação de vulnerabilidade social (Cabral & Cândido, 2019).

A criação desse instrumento de política pública é uma tentativa de redirecionar o planejamento urbano para áreas que historicamente foram negligenciadas, para garantir que essas populações marginalizadas tenham acesso a condições de vida adequadas. De acordo com a literatura, essas zonas podem desempenhar um papel crucial na redução das desigualdades habitacionais e no combate à expansão desordenada das cidades (Sposito *et al.*, 2023). Elas são uma ferramenta importante para a integração de áreas informais ao planejamento urbano formal e para a promoção de uma urbanização mais inclusiva e equitativa (Menezes *et al.*, 2018).

No entanto, a efetividade dessa política enfrenta desafios significativos. A implementação dessas zonas requer um planejamento cuidadoso e uma superação de obstáculos como por exemplo a falta de infraestrutura adequada na cidade, resistências políticas e também a necessidade de uma articulação e coordenação entre diferentes níveis de governo que não se comunicam de forma efetiva. Assim, esses estudos apontam que a aplicação das ZEIS possui limitações na execução das políticas públicas e na alocação dos recursos necessários para a transformação efetiva dessas áreas designadas de risco (Souza, 2021).

O perfil econômico do Recife engloba uma variedade de serviços, incluindo administração pública e comércio, que constituem a principal base produtiva do setor terciário da cidade. Além disso, também há uma parcela significativa nos setores da construção civil e tecnologias de transformação. A cidade é classificada como um aglomerado urbano e ocupa a posição de 12º entre a cidade brasileira mais densamente povoadas, com uma média de 6.803,6 habitantes/km². Ainda, segundo as atualizações do IBGE (2022), entre as outras cidades mais povoadas, essa densidade é inferior à Minas Gerais (35,02 hab./km²), São Paulo (7,38 hab./km²) e Rio de Janeiro (5,17 hab./km²).

A capital de Pernambuco, é uma cidade que se destaca pela sua diversidade e extensão territorial. Possui uma quantidade impressionante de bairros, sendo classificado um total de 94, cada um com sua própria identidade e característica cultural, refletindo a complexidade urbana e cultural da cidade. Além disso, de acordo com o censo do IBGE, o Recife é dividido em diversos setores censitários, que são unidades geográficas utilizadas para coletar e analisar dados estatísticos. Esses setores permitem um entendimento detalhado das dinâmicas sociais, econômicas e demográficas que moldam a vida na cidade.

As coordenadas geográficas do Recife situam-se em 8° 04' 03" de latitude sul e 34° 55' 00" de longitude oeste. Devido à sua localização na região litorânea do nordeste brasileiro, a cidade é caracterizada por ser predominantemente plana, com poucas variações significativas de altitude ao longo de seu território, favorecendo um clima predominante tropical-úmido. Essa configuração geográfica, aliada ao uso e ocupação humana ao longo do tempo, desempenhou um papel crucial na moldagem do território urbano, influenciando não apenas a fragmentação social e seus padrões de assentamento, mas também o desenvolvimento da infraestrutura e identidade paisagística.

Enquanto algumas áreas antropizadas foram modificadas para se adaptarem ao contexto urbano da cidade, em outros locais, elementos do patrimônio nacional foram preservados, desempenhando um papel fundamental na qualidade ambiental e na resiliência urbana. Essa transformação ao longo do tempo definiu uma identidade paisagística que reflete na interação entre uma arquitetura urbana colonial e espaços fragmentados na cidade. Como por exemplo, o aumento da verticalização urbana que promove a especulação imobiliária da cidade enquanto coexistem ao lado de moradias inóspitas as margens do rio, imersas na vulnerabilidade urbana e mais suscetíveis a desastres ambientais destacados pelas mudanças climáticas e um planejamento urbano hostil (Borsdorf, 2003; Barros & Castro, 2015; Madeiros & Pessoa, 2018; Trannin & Bruno, 2021; Covarrubias & Reillo, 2022).

4.2 Construção dos Índices de Vulnerabilidade

Essa pesquisa, trata de um estudo que representa uma primeira etapa na investigação das vulnerabilidades socioambientais aos desastres diante das mudanças climáticas e utiliza uma base da metodologia de Cutter (2011); Chang *et al* (2021). As escolhas para os indicadores foram elencas conforme revisão do referencial teórico e critérios também adotados por outros autores.

4.2.1 Índice de Vulnerabilidade Social (IVS)

O IVS é um índice sintético que serve de suporte para descrição de carências e necessidades em áreas de exclusão e vulnerabilidade social diante do agravamento dos riscos com as mudanças climáticas no território do Recife. Pensando nisso, foi dividido em três subíndices ou indicadores, colhidos de forma secundária, através do último censo disponível do IBGE (2010). Esse indicador social, para esta pesquisa estão na escala setor censitário e foram divididos da seguinte forma, na tabela 5.

Tabela 5: Variáveis do Índice Social de Vulnerabilidade

Dimensão	Indicador	Descrição	Fonte
Exposição	População	Densidade Populacional	IBGE
	Renda	Menor que 1 Salário Mínimo	IBGE
Sensibilidade	Saneamento	Áreas sem saneamento, com bueiros expostos e sem logradouro ou rede de distribuição de água	IBGE
Capacidade de Resiliência	Educação	Responsável por domicílio com 14 anos ou mais que possui escolaridade	IBGE

Fonte: Autora (2024)

Na construção de indicadores para um índice socioeconômico de uma região específica, o ponto de partida crucial é a fonte de dados disponível. O IBGE desempenha um papel fundamental ao fornecer dados setoriais abrangentes para todo o território brasileiro. Com isso, esse estudo utiliza dados do Censo do IBGE de 2010 e o setor censitário como parâmetro de unidade para análise, sendo uma unidade territorial menor com limites físicos identificáveis em campo e com dimensões adequadas para operação da pesquisa.

Neste contexto, os setores censitários foram utilizados como unidades territoriais delimitadas em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) utilizando o *Software* de código aberto e livre *Quatum GIS* (QGIS) na versão 3.34 para elaboração dos mapas. Cada setor censitário representa uma área geográfica selecionada pela homogeneidade das condições socioeconômicas dentro do município, onde o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

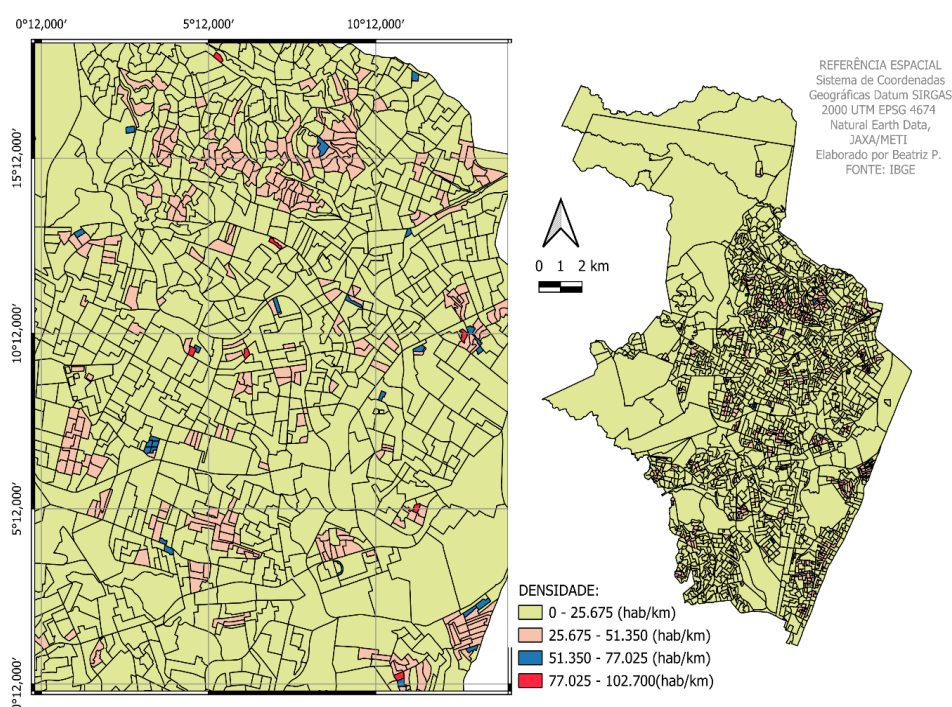
(IBGE) realiza o levantamento nacional do Censo (IBGE, 2010). Para esta análise, são empregados dados vetoriais (linhas, pontos ou polígonos) georreferenciados pelo *software* que define os limites dos setores censitários.

Unindo os dados vetoriais, em formato *shapefile* (.shp), e o os dados socioeconômicos filtrados de acordo com a descrição dos indicadores, foram elaborados os mapas para cada indicador. Além disso, os dados vetoriais, em formato “.shp”, também são acompanhados de dados alfanuméricos, que são os atributos de cada elemento da camada vetorial e, podem ser importados e exportados para o formato *Comma-separated values* (csv) ou editado na própria tabela de atributos disponível em cada camada.

Através do *plugin* do censo IBGE, funcionalidade que busca dados de outros locais e que ocorre dentro do próprio *software Qgis*, foram selecionados os indicadores que junto aos dados vetoriais do SHP de Recife, realizou o cálculo da área de cada setor em km². Para calcular a densidade populacional foi utilizado o indicador do arquivo básico, contendo o total de pessoas por domicílio permanente, representado na figura 5.

A densidade populacional reflete a concentração de pessoas em determinadas áreas, expressando a exposição que essas comunidades enfrentam de acesso a recursos básicos de moradia e serviços. Desse modo, quanto maior a concentração de pessoas em áreas de risco, maior o número de vítimas (Mattedi *et al*, 2024).

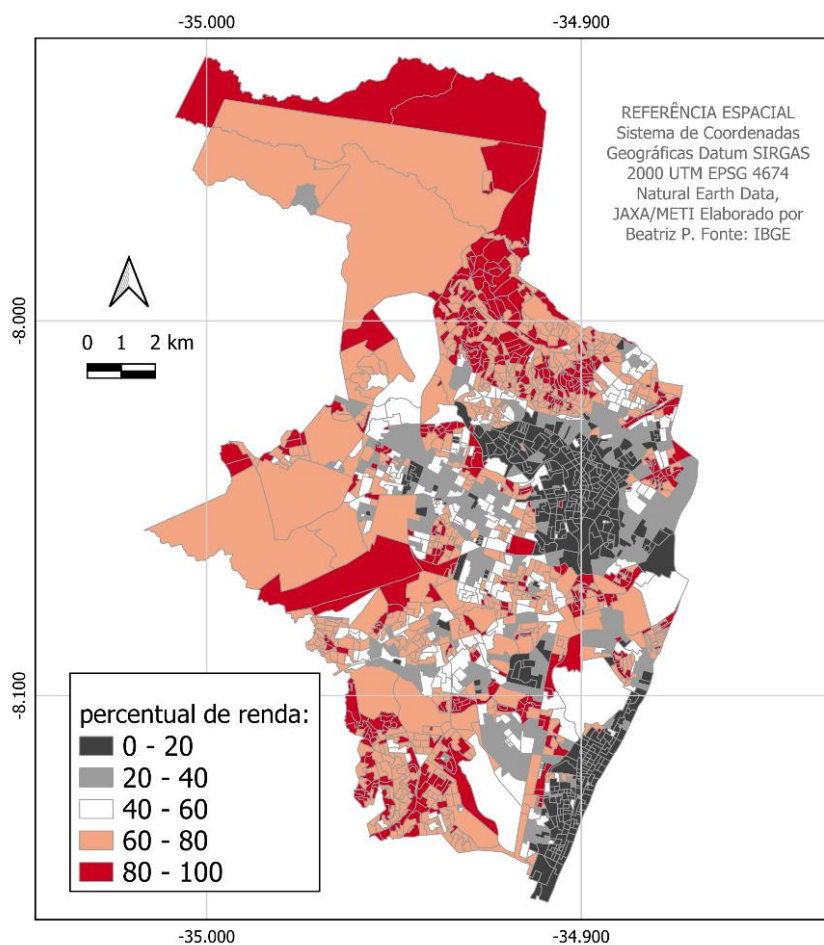
Figura 5: Densidade populacional para os setores censitários de Recife



Fonte: Elaborado pela autora com dados do Censo (2010)

Para **Renda**, através do censo foram utilizados a faixa de dados do arquivo “Renda dos Domicílios”, para obtenção do percentual de domicílios com renda per capita de até um salário (Figura 6). Dito isto, para realização do percentual foram somadas as variáveis com a faixa de rendimento nominal mensal domiciliar inferior a um salário mínimo pela quantidade total de domicílios por setor censitário.

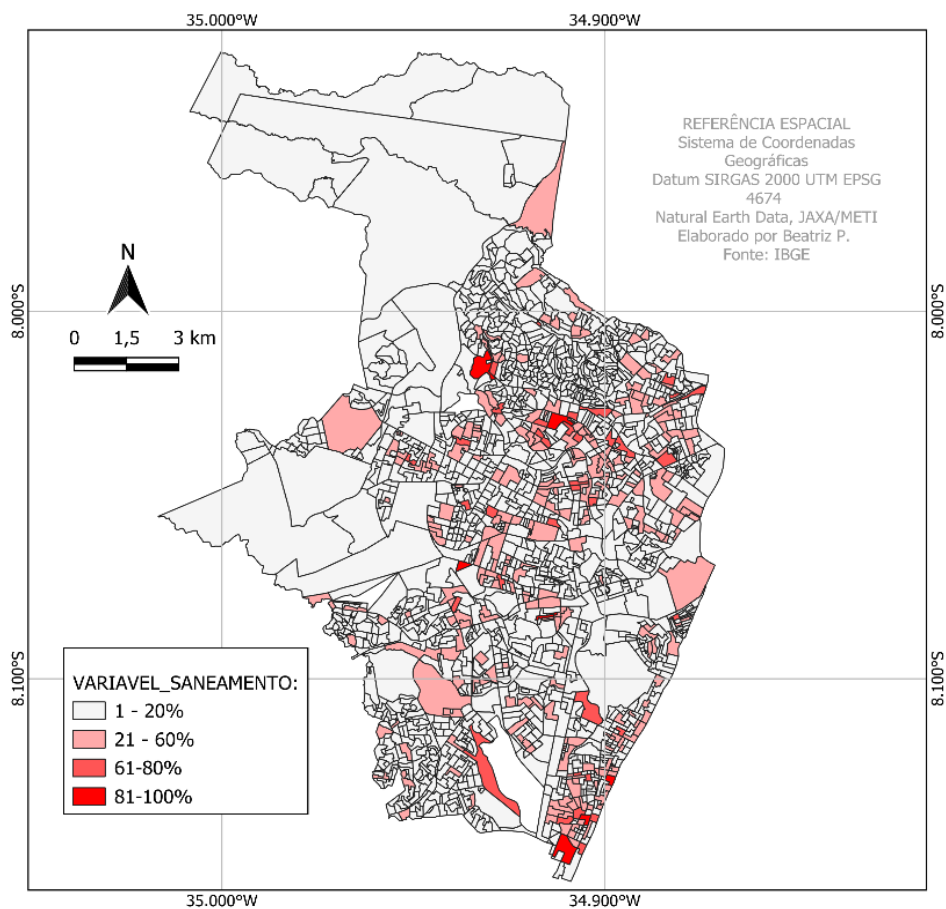
Figura 6: Percentual de domicílios com renda inferior a um salário mínimo



Fonte: Elaborado pela autora com dados do Censo (2010)

Em seguida, para o cálculo do percentual de domicílios com **saneamento básico**, foram selecionados os dados do “Entorno01”, em que foram identificados domicílios com a presença de bueiros/boca de lobos, presença de esgoto a céu aberto, falta de banheiros ou que não foram identificados a presença de logradouros ou rede de distribuição de água. Os resultados foram apresentados no mapa da figura 7, a seguir:

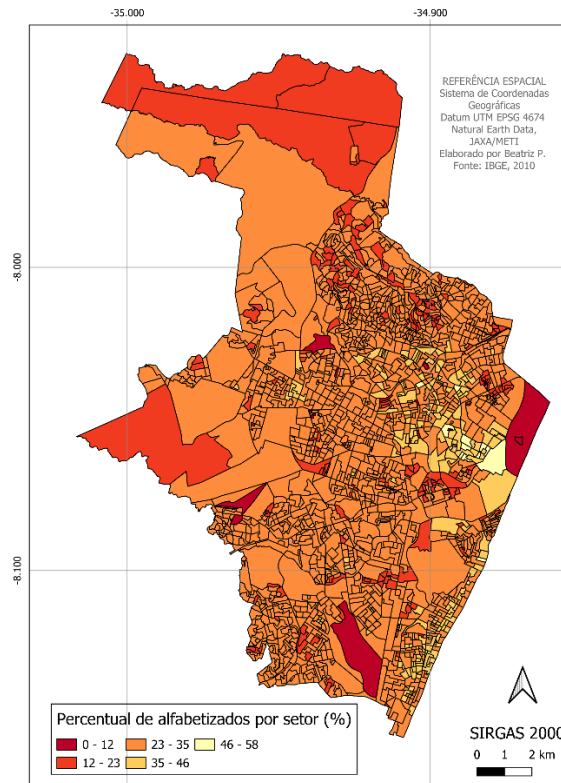
Figura 7: Mapa do percentual de saneamento básico.



Fonte: Elaborado pela autora com dados do Censo (2010)

Para o indicador de **Escolaridade** foi selecionado o “total de responsável alfabetizados pelo domicílio com 14 ou mais anos”, descrito pelo censo como reconhecido por um ou mais pessoas da vizinhança, pela razão do total de pessoas responsáveis por domicílios particulares permanente (figura 8).

Figura 8: Mapa do percentual de pessoas alfabetizadas.



Fonte: Elaborado pela autora com base no Censo (2010)

Com isso, os indicadores apresentados estão em diferentes unidades de medição, sendo necessário fazer uma normalização destes valores, considerando valores entre 0 (menor vulnerabilidade) e 1 (maior vulnerabilidade). Ao passo que, a metodologia de Reis, Ribeiro e Silva (2020) foi eficaz na normalização de seus indicadores, utilizando um escalonamento linear através de parâmetros de máximos e mínimos, seguiremos essa lógica para padronização dos indicadores. Desse modo, será utilizada separadamente as equações 5 ou 6, conforme a relação do indicador com a vulnerabilidade e conforme descritas abaixo:

$$Ips = \frac{Is - Imín}{Imáx - Imín} \quad (5)$$

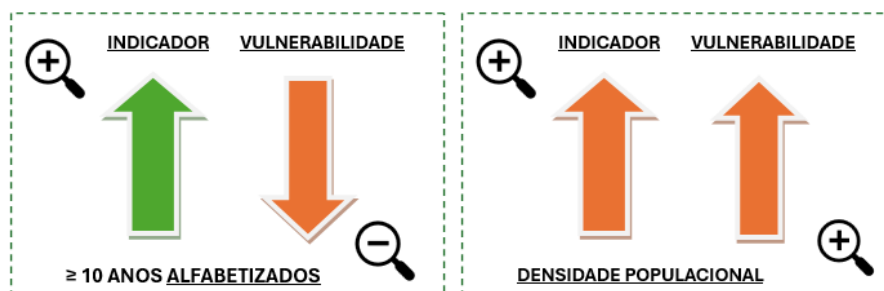
$$Ips = \frac{Is - Imáx}{Imín - Imáx} \quad (6)$$

De acordo com Reis, Ribeiro, Silva (2020), a variável Ips corresponde ao valor padronizado do indicador (I) no setor censitário (s). Is corresponde ao valor original do indicador (I) no setor censitário (s), $I_{máx}$ e $I_{mín}$ são, respectivamente o valor máximo e mínimo do indicador (I) dentro dos campos dos setores censitários.

Dessa forma, o valor máximo do indicador representa um indicador direto, como é o caso do indicador "Educação", onde considera o percentual de pessoas alfabetizadas no setor

censitário, tendo uma relação indireta com a vulnerabilidade (quanto maior for o indicador, menor a vulnerabilidade). Por outro lado, nos casos de "Densidade demográfica" e "Renda", o aumento desses percentuais está associado ao aumento da vulnerabilidade, sendo um indicador direto da sensibilidade.

Figura 9: Representação de indicador direto e indireto



Fonte: a autora (2024)

Assim, após a operação de padronização ser realizada encontrou-se valores entre 0 e 1 (Reis, Ribeiro e Silva, 2020; Chang *et al*, 2021a). Todo o processo, desde a padronização dos indicadores até a classificação da vulnerabilidade de cada setor censitário, foi realizado utilizando a tabela de atributos do Qgis e exportados para uma planilha de Excel.

Tabela 6: Normalização das variáveis sociais e atribuição de pesos

Intervalo dos valores	Exposição	Peso
0 - 0,2	Muito Baixa	1
0,21 - 0,40	Baixa	2
0,41 - 0,6	Moderada	3
0,61 - 0,8	Alta	4
0,81 - 1	Muito Alta	5

Fonte: A autora (2024)

Sendo assim, foi necessária outra reclassificação entre esses valores, sendo divididos em 5 intervalos iguais com pesos diferentes, atribuídos para exposição do indicador, conforme descritos na tabela 6. Após o 'reclass' foi feita uma média dos indicadores para obter o IVS, segundo a equação:

$$ISV = \frac{Educação + Saneamento + Densidade + Renda}{4} \quad (7)$$

4.2.2 Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA)

No intuito de mensurar as suscetibilidades das áreas de risco, tais como inundações, movimentos de massa e outros processos naturais induzidos por ações antrópicas, é fundamental para a mitigação de desastres. Para a construção do índice, foram utilizadas

ferramentas geoespaciais disponíveis, permitindo uma compreensão mais precisa das áreas de risco por meio de dados georreferenciados.

Os dados necessários para a construção desse índice foram obtidos e analisados através de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). A aquisição dos dados para os indicadores foi realizada a partir de pesquisas em plataformas online de órgãos competentes, como a Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), Topodata, e interfaces como o *Field-Based Data Collection System* (FBDS) ou Sistema de Coleta de Dados Baseados em Campo, além do levantamento bibliográfico de trabalhos semelhantes, como os de Malta, Costa e Magrini (2017) e Chang et al. (2021).

Os dados coletados para os indicadores (figura 7) foram preferencialmente em formato .shp ou raster, que são suportados pelo QGIS e incluem metadados embutidos, como sistema de referência e coordenadas dos dados espaciais. No entanto, por terem sido coletados de acordo com a disponibilidade em fontes e datas diferentes, foram utilizados dois sistemas de referência diferentes: SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) e WGS 84 (*World Geodetic System*, 1984).

Tabela 7: Indicadores de vulnerabilidade ambiental

Dimensão	Indicador	Descrição	Fonte
Exposição	Recursos Hídricos (BUFFERS)	Áreas de amortecimento	FBDS
Sensibilidade	Declividade	Elevações de relevo	TOPODATA
	Uso e ocupação	Divisões administrativas da cidade	IBGE
	Tipos de Solo	Resistência das rochas	EMBRAPA
Capacidade de Resiliência	Geologia / Áreas de preservação	Fortalecimento Urbano	FBDS

Fonte: a autora (2024)

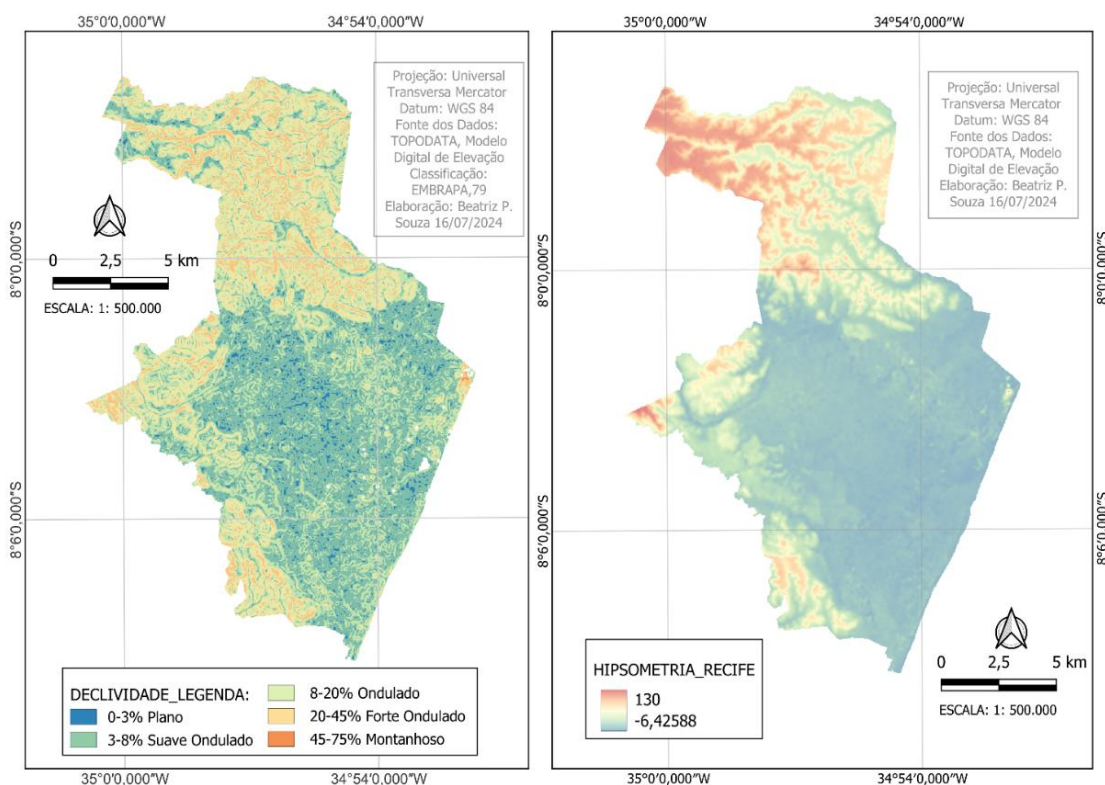
As variáveis utilizadas como indicadores ambientais na construção desse índice de vulnerabilidade, serão apresentados e descritos abaixo:

Declividade - Compreender como a inclinação do terreno pode influenciar nos diferentes aspectos da erosão do solo ao manejo da água, pode auxiliar na identificação de áreas com maior suscetibilidade ao risco.

Nesse processo, foi utilizado o modelo de classificação de declividade elaborado pela EMBRAPA (2006) de acordo com o percentual de inclinação. Com isso, os mapas foram elaborados a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), utilizando UTM (*Universal Transverse Mercator*) como o sistema de projeção cartográfica. Após a imagem ser reprojetada, o arquivo vetorial foi reclassificado em classes de escalas, conforme as orientações da EMBRAPA (2006).

Hipsometria – Representa as variações altimétricas de uma área em relação ao nível do mar. No caso de Recife, que é uma planície com elevações suaves e próxima ao nível do mar, a amplitude altimétrica foi apresentada na figura 10.

Figura 10: Mapa de declividade e hipsometria da cidade do Recife



Fonte: Elaborado pela autora com base na classificação da Embrapa e Modelo Digital de Elevação (2024)

A hipsometria foi obtida a partir de um arquivo de relevo SRTM da carta topográfica disponibilizada pelo TOPODATA. Este arquivo foi reclassificado no QGIS e convertido para o formato .shp, facilitando a análise e visualização dos dados altimétricos.

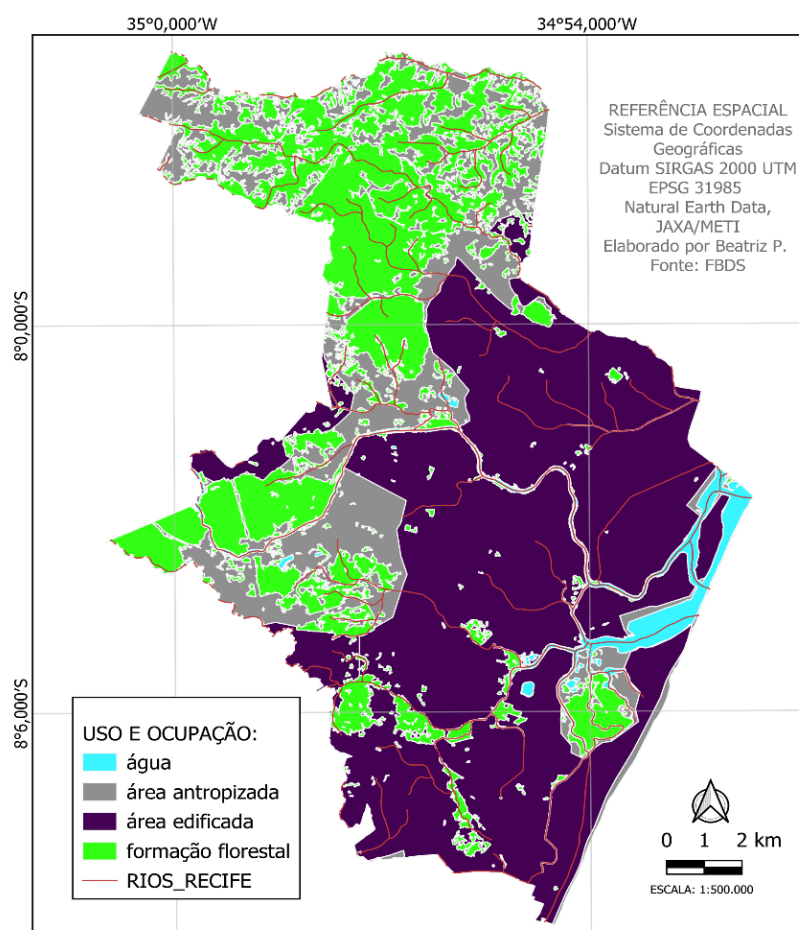
Uso e Ocupação do Solo – Aqui, entendido como uma representação sintética de um conjunto de atividades com expressão espacial que, desencadeia desastres e perigos ambientais, interagindo nesse espaço reconhecidos como padrões de ocupação do território.

O uso e ocupação do solo é um indicador fundamental para avaliar a vulnerabilidade

ambiental, pois reflete como as atividades humanas e as mudanças na paisagem impactam o meio ambiente. A expansão urbana pode levar à impermeabilização do solo, aumento do risco de enchentes e deslizamentos de massas por ocupações indevidas em áreas de encostas. A presença e extensão de áreas de preservação, por outro lado, indicam o esforço para conservar a biodiversidade e proteger os recursos naturais.

Desse modo, analisar as dinâmicas de utilização do território permite identificar áreas vulneráveis e avaliar como diferentes formas de uso afetam o ambiente. Tecnologias como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e imagens de satélite facilitam o mapeamento e o monitoramento dessas mudanças, fornecendo informações essenciais para o planejamento e gestão ambiental.

Figura 11: Representação do uso e ocupação do solo da cidade de Recife

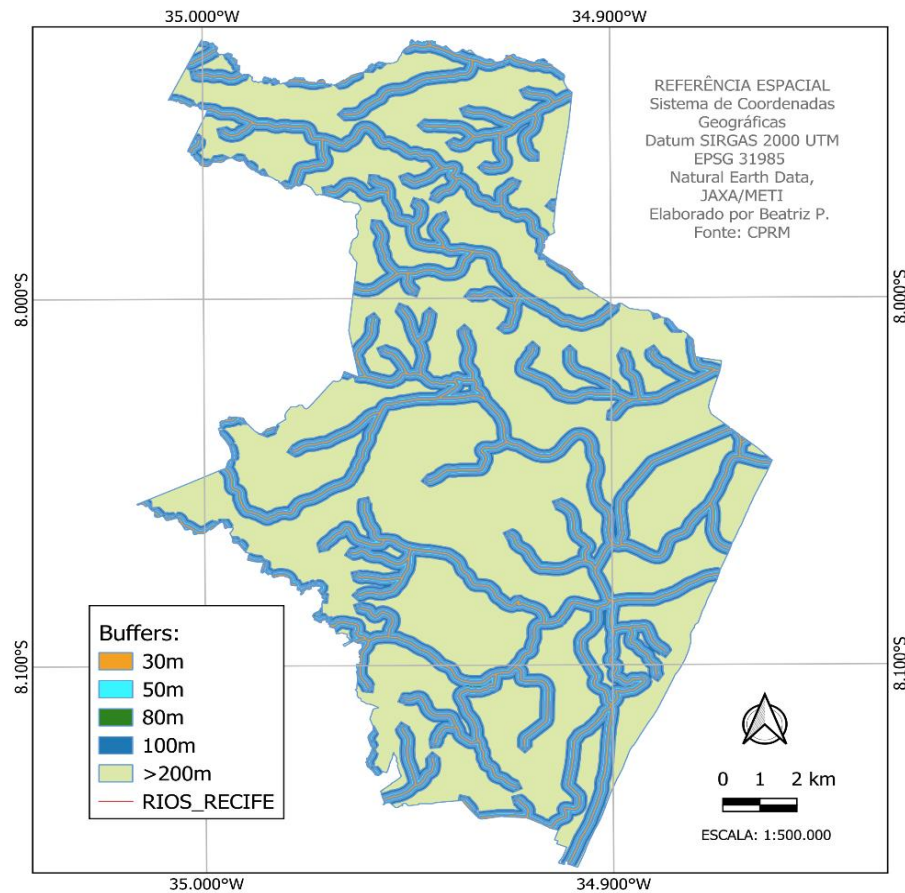


Fonte: Elaborado pela autora com base em dados coletados pela FBDS (2024)

Recursos Hídricos – Este indicador representa a camada de linhas dos rios em arquivo vetorial de formato .shp, abrangendo as bacias hidrográficas que atravessam a cidade. Os dados foram obtidos a partir da disponibilização pela Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável (FBDS). As Áreas de Preservação Permanente (APP) dos recursos hídricos foram delimitadas

através de *Buffers* no software QGIS, como representado na figura 12.

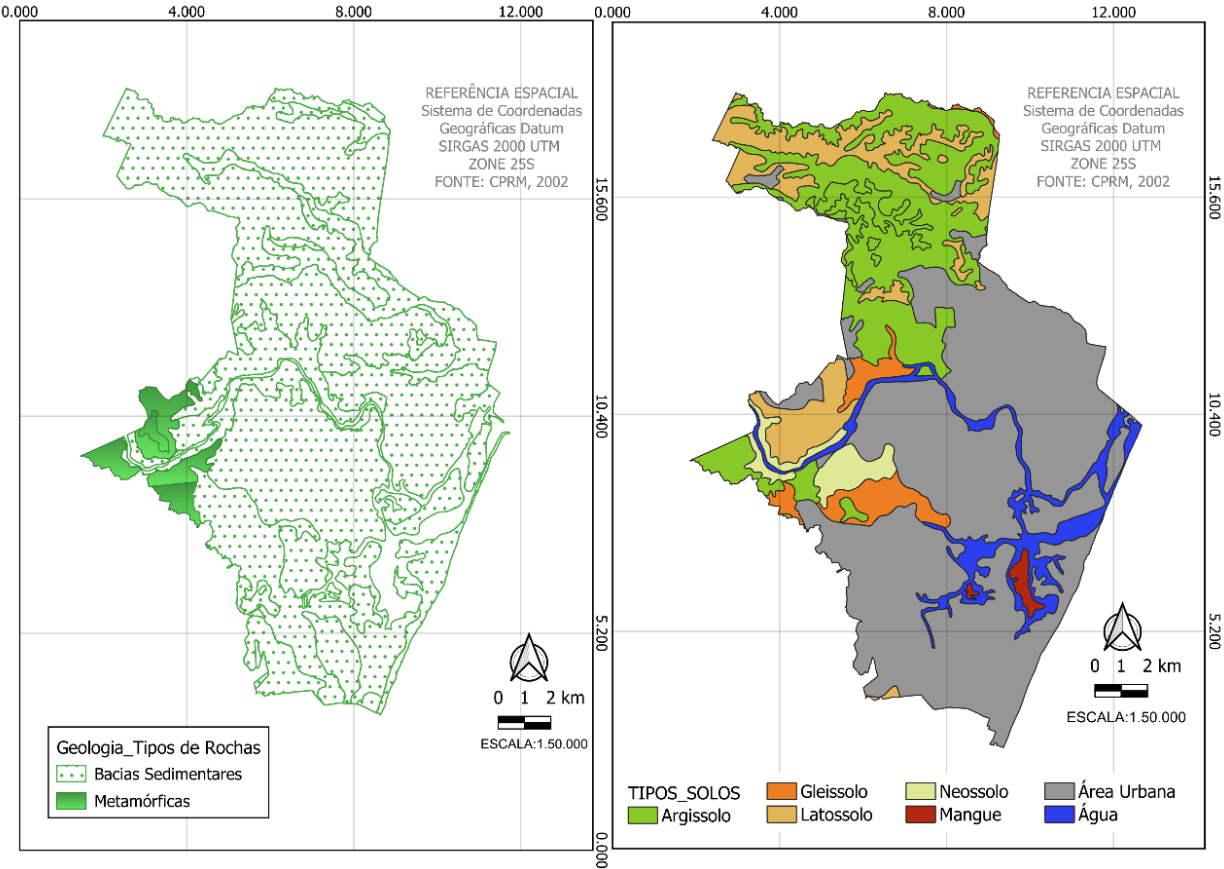
Figura 12: Mapa de representação dos *Buffers* dos Recursos Hídricos de Recife



Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados do CPRH (2024)

Geologia e Tipos de Solo – É desejável identificar e classificar os fatores que contribuem para a instabilidade do terreno a fim de avaliar o risco de deslizamentos de terra. Esses fatores incluem características geotécnicas e geomorfológicas do terreno, sendo o tipo de solo e a resistência de rochas elementos determinantes representados na figura 13.

Figura 13: Mapa de Geologia e Tipos de Solos do Recife.



Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados da EMBRAPA e IBGE (2018)

Para Geologia, considerar a resistência mecânica das rochas é crucial para a classificação de áreas de risco devido a diversos fatores que afetam a estabilidade e a segurança do terreno. A resistência mecânica de uma rocha determina sua capacidade de suportar forças sem falhar, o que é essencial para avaliar a probabilidade de deslizamentos, erosão e outros fenômenos geotécnicos que podem comprometer a segurança de construções e da população. Rochas com baixa resistência são mais suscetíveis a deslizamentos de terra, especialmente em áreas de encostas com altas inclinações e durante períodos de chuvas intensas. Desse modo, as definições dos tipos de aptidão serão baseadas na resistência mecânica das rochas.

Tabela 8 – Resistência Mecânica das rochas

Tipos de Rocha	Resistência Mecânica
Ígneas	Sem ocorrência
Metamórficas	Boa à satisfatória
Sedimentares	Satisfatória à pobre

Fonte: Adaptada de Biju (2015)

Para os tipos de solo, os índices serão definidos com base na fragilidade e erodibilidade dos solos (tabela 9). Os dados utilizados foram obtidos na literatura e o .shp dos tipos de solos no site do CPRM. A classificação dos solos feita segundo a fragilidade e erodibilidade, considera o escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais na cidade (Ross, 1994). Esta fragilidade é influenciada pelo uso e ocupação do solo, portanto, com os dados vetoriais e .shp do solo foram classificados de acordo com os dados apresentados abaixo:

Tabela 9 – Classes de fragilidade de solo, classificados conforme.

Classe de Fragilidade	Tipos de Solo
Muito Baixa	Latossolo Vermelho Distróférrico, Latossolo Vermelho e Vermelho-Amarelo textura argilosa
Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho-Amarelo textura média/argilosa
Média	Latossolo Vermelho-Amarelo, Nitossolo, Argissolo Vermelho-amarelo, Textura média/argilosa
Forte	Argissolo Vermelho-Amarelo, textura média/arenosa, Cambissolos
Muito Forte	Argissolo cascalhentos, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos e Gleissolos

Fonte: Embrapa (2006)

No entanto, esses dados só foram obtidos após a conversão das camadas de .shp para raster reclassificados de acordo com a normalização de 1 a 5 (Tabela 10).

Tabela 10: Normalização dos dados e atribuição de pesos as classes de vulnerabilidades

Indicador	Classe	Peso	Vulnerabilidade
Uso e ocupação do Solo	Área Antropizada	5	Muito Alta
	Área Edificada	4	Alta
	Água	3	Moderada
	Florestal	1	Muito Baixa
Tipos de Solo	Sedimentar	5	Muito Alta
	Metamórfica	3	Moderada
Geologia	Argissolos	4	Alta
	Gleissolos	2	Baixa
	Latossolo Vermelho-Amarelo	3	Moderada
	Neossolo	1	Muito Baixa
	Mangue	5	Muito Alta
	Área Urbana	3	Moderada
Distância de Recursos Hídricos	30m	5	Muito Alta
	50m	4	Alta

	80m	3	Moderada
	100m	2	Baixa
	>200m	1	Muito Baixa
Declividade (Relevos)	Plano (0-3%)	1	Muito Baixa
	Suave Ondulado (3-8%)	2	Baixa
	Ondulado (8-20%)	3	Moderada
	Forte Ondulado (20-45%)	4	Alta
	Montanhoso (45-75%)	5	Muito Alta
	Escarpado (>75%)	5	Muito Alta

Fonte: a autora (2024)

Para interação entre os indicadores, na obtenção do IVA, será utilizada a álgebra de mapas entre os planos de informações oferecidas pelos indicadores: distância dos recursos hídricos, geologia, tipos do solo, declividade, hipsometria e uso e ocupação dos solos.

Por fim, foi calculado o IVA a partir da equação 7, abaixo:

$$\text{IVA} = \frac{\text{Declividade} + \text{Hipsometria} + \text{RH} + \text{Tipos de Solo} + \text{Geologia} + \text{Uso e Ocupação}}{5} \quad (8)$$

4.3 Descrição da Econometria Espacial Aplicada

Para análise da dependência espacial (autocorrelação espacial) foi realizada com base na AEDE, ou seja, o I de Moran Global univariado (Equação 8), uma estimativa da autocorrelação dos índices de vulnerabilidade. Dessa forma, este índice é uma medida estatística para quantificar a dependência espacial entre os valores de uma variável, para identificar se os padrões estão semelhantes ou se estão agrupados espacialmente (*clusters*). Esse índice pode variar entre -1 e +1, podendo ser 0 pois não foi significativo, de modo que os valores positivos indicam autocorrelação positiva e os valores negativos indicam autocorrelação negativa. Portanto, para validação do Índice de Moran Global, foi utilizado o teste de permutações aleatórias, com 999 permutações e elaborado o espalhamento de Moran (*Moran Scatterplot Map*), para representação adicional da dependência espacial.

$$I(d) = \left[\frac{n}{W_d} \right] \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}(d)(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (9)$$

Na equação, n representa o número de unidades, $w_{ij}(d)$ é a matriz de conectividade da classe de contiguidade dd (matriz de pesos), W_d é a soma de todos os $w_{ij}(d)$, sendo o número de pares de locais por classe de contiguidade, x_i e x_j são valores da variável de interesse nas unidades locais de i e j .

Tabela 11: Valores de significância para autocorrelação espacial

Significância	Descrição
$p > 0,05$	Não significativa
$p = 0,05$	Valor de confiança quanto à existência de autocorrelação espacial em 95%
$p = 0,01$	Valor de confiança quanto à existência de autocorrelação espacial em 99%
$P = 0,001$	Valor de confiança quanto à existência de autocorrelação espacial em 99,9%

Fonte: Adaptada de Pereira; Rocha. Diniz e Oliveira Júnior (2021)

Após a análise de dependência global, foi considerado o indicador LISA (*Local Indicators of Spatial Association*), como critério para apresentação dos agrupamentos espaciais significantes, com valores similares em torno dos indicadores analisados. Considerando o indicador LISA, a Tabela 11 apresenta um guia com as descrições dos valores de significância (p) relativo as vulnerabilidades. A partir disso, são identificados os *clusters* e *outlier*, conforme mostrado na Tabela 12, com valores de $p = 0,05$, $p = 0,01$ e $p = 0,001$ a partir de um *MoranMap*. Os resultados são classificados em cinco classes:

Tabela 12: Descrição das classes do *MoranMap*

Classes	Descrição
Alto-Alto (<i>cluster</i>)	Valores positivos/médias positivas (vizinhos com altos valores semelhantes)
Alto-Baixo (<i>outlier</i>)	Valores positivos/médias negativas (valores altos com vizinhos com valores baixos)
Baixo-Alto (<i>outlier</i>)	Valores negativos/médias positivas (Valores baixos com vizinhos com valores altos)
Baixo-Baixo (<i>Cluster</i>)	Valores negativos/médias negativas (Valores baixos com vizinhos com valores baixos)
Não significante	Autocorrelação espacial não significativa

Fonte: Pereira; Rocha. Diniz e Oliveira Júnior (2021)

Seção 5

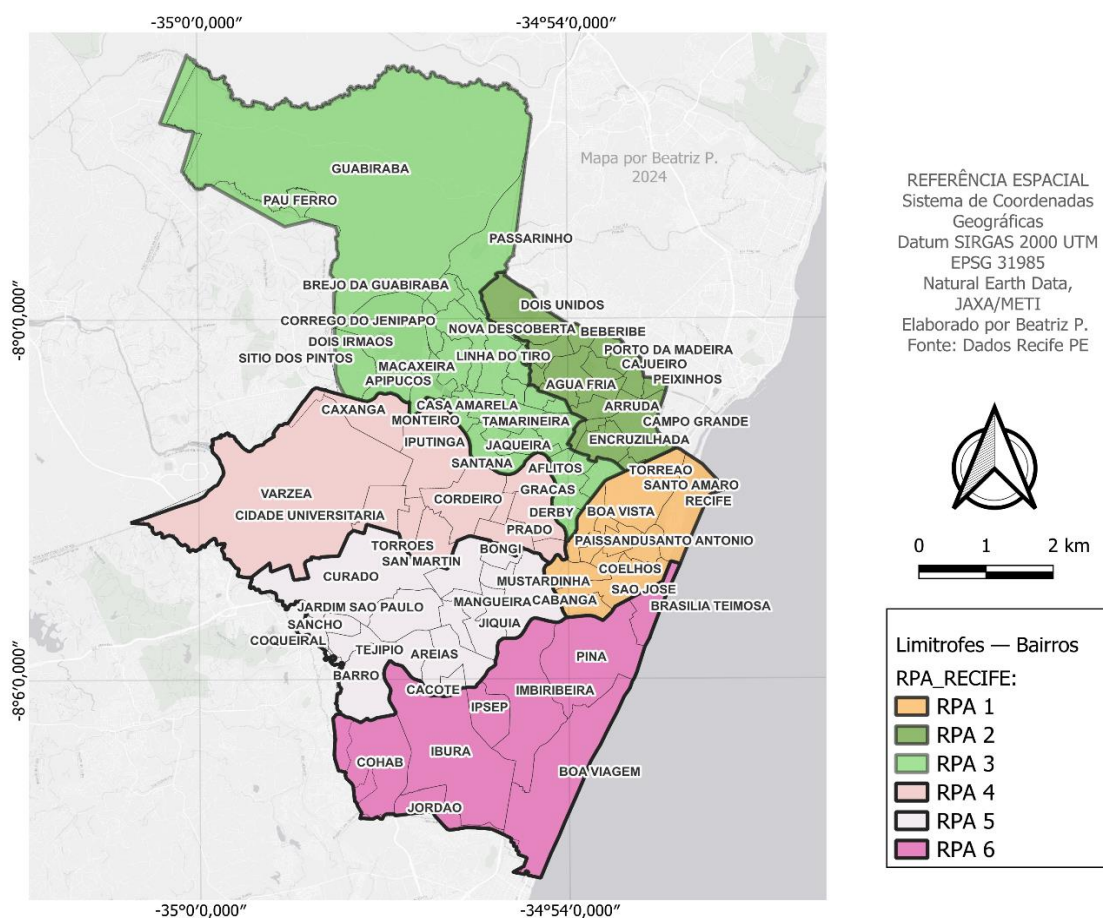
5 RESULTADOS

Esta seção mostra os resultados encontrados para os indicadores analisados, tanto ambientais como sociais, para a cidade de Recife. E em seguida é realizado uma regressão simples junto a aplicação da autocorrelação espacial para avaliar a significância dos índices construídos, assim como a forma como estão distribuídos espacialmente. Com isso, os índices de vulnerabilidade não representam uma medida exata de vulnerabilidade, no entanto, para a região estudada é possível fazer classificações de áreas suscetíveis ao risco (Cerri, 1993; Morato *et al.*, 2018; Mattedi *et al.* 2024)

5.1 Apresentação dos resultados dos Índices e descobertas com AEDE

Para facilitar a avaliação dos índices de vulnerabilidade, foi elaborado um mapa detalhado das divisões político-administrativas do Recife, com a inclusão dos bairros. Esse mapa (Figura 14) auxiliará na interpretação dos resultados da pesquisa.

Figura 14: Mapa de identificação das RPA's do Recife com os bairros correspondentes



Fonte: Elaborado pela autora com dados disponibilizados pela Prefeitura do Recife (2024)

Social – Considerando que, o mapa de vulnerabilidades, foi elaborado através de dados do Censo Demográfico 2010, onde o salário mínimo da época equivalia a R\$510,00, desse modo foi utilizado um indicador que apresenta o número de pessoas per capita por domicílio que recebiam igual ou menor a esse valor na época. Em termos de vulnerabilidade social, a renda foi considerada como um potencial para capacidade de resiliência da população. Desse modo, populações com baixa renda, se tornam mais vulneráveis por possuírem poucas condições financeiras de (sub)existência e de recuperação de perdas materiais em casos de desastres.

No entanto, os setores censitários analisados não apresentaram uma alta vulnerabilidade majoritária após o cálculo dos máximos e mínimos e a normalização dos dados para o IVS. Portanto, foi realizado um teste de significância (figura 17), utilizando o IVS como variável dependente e os indicadores de renda, saneamento, escolaridade e densidade populacional como variáveis independentes, para verificar o coeficiente de determinação (R^2).

Tabela 13: Modelo de regressão para justificar o coeficiente (R^2) para o IVS

Variável Dependente: IVS				
Nº de Obs: 1835		R^2 : 0,736082		
Nº de Variáveis: 5		R^2 Ajustado: 0,735505		
Variável	Coeficiente	Std. Error	T-Statistic	Probabilidade
Constante	0,208629	0,048354	4,314610	0,000002
VAR_SANEAMENTO	0,253734	0,008965	28,302800	0,000000
VAR_RENDA	0,282399	0,005858	48,208990	0,000000
VAR_DENSIDADE	0,266398	0,009919	26,858500	0,000000
VAR_ESCOLA	0,183826	0,015622	11,767200	0,000000

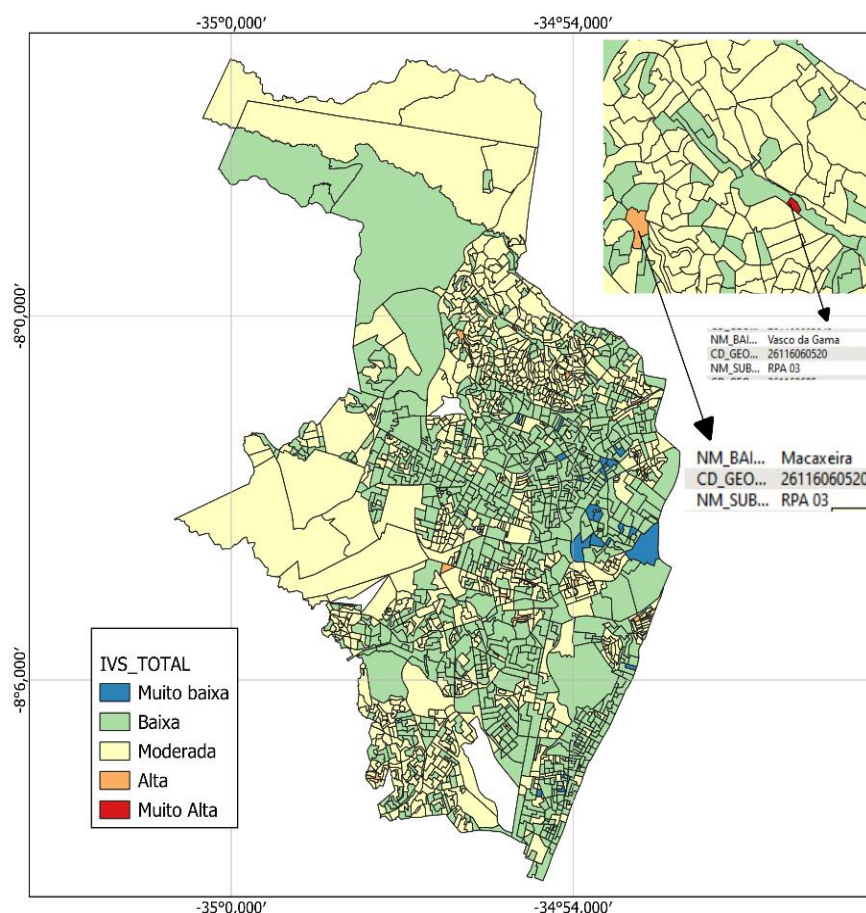
Fonte: a autora (2024)

Em contextos reais, é raro que um único conjunto de variáveis explique completamente a variância de uma variável dependente complexa como o índice de vulnerabilidade. Isso pode sugerir a necessidade de investigar variáveis adicionais ou diferentes métodos de modelagem. No entanto, o $R^2 = 0,73$ é um resultado bastante razoável e, indica uma relação substancial entre essas variáveis. Embora 73% da variância sejam explicadas, ainda restam 27% da variância sem explicação. Isso pode indicar a presença de outras variáveis importantes que não foram incluídas para construção do índice, como por exemplo níveis de trabalho (formal ou informal), mobilidade urbana, PIB, entre outros.

Na Figura 14 é apresentado um mapa total de vulnerabilidade social por setor censitário, para cidade do Recife, a partir dos indicadores utilizados. Com isso, observa-se que o resultado final do IVS, em sua grande maioria, oscilou entre uma vulnerabilidade baixa a moderada por setor, com alguns setores como da Macaxeira, Afogados, Imbiribeira como ‘Alta’

vulnerabilidade e um pequeno setor do Vasco da Gama com uma vulnerabilidade ‘Muito alta’.

Figura 15: Representação da vulnerabilidade social do Recife



Fonte: a autora (2024)

Mesmo que não tenha tido muitas áreas com alta vulnerabilidade, isso mostra que as áreas de alta vulnerabilidade são mais pontuais, sugerindo intervenção para tomadas de decisões. Para o mapa do IVS foram observadas mais áreas com vulnerabilidades variando entre moderadas e baixa, isso representa áreas de verificação que possuem modelos sociais possíveis de serem replicados por ações e mudanças que já estão em vigor e estão funcionando, bem como avaliações pontuais de possíveis mudanças.

Para Mattedi *et al*, (2024), a vulnerabilidade inclui tanto elementos de direta exposição ao risco quanto os fatores de influenciam a probabilidade de ocorrência desse risco, que aumenta ou reduz a capacidade adaptativa da população (IPCC, 2014). Esses fatores afetam a capacidade da população e estão relacionados às infraestruturas dos sistemas físicos de resposta e recuperação. No recorte desse estudo, é possível inferir que a população analisada não está exposta a riscos sociais muito altos, no entanto, esses riscos podem ser acentuados por influências de indicadores ambientais que contribuem para exposição socioeconômica sob o espaço.

O Índice de Moran Global e Local foram aplicados para esses indicadores de vulnerabilidade social. Com isso, o índice global tiveram valores muito próximos de 1, em que esse valor positivo indica correlação espacial positiva, isto é, uma concentração de valores de vulnerabilidades agrupados. A seguir, na figura 16 e a tabela de resultados 14 e 15:

Tabela 14: Resultado do Índice de Moran Global para IVS

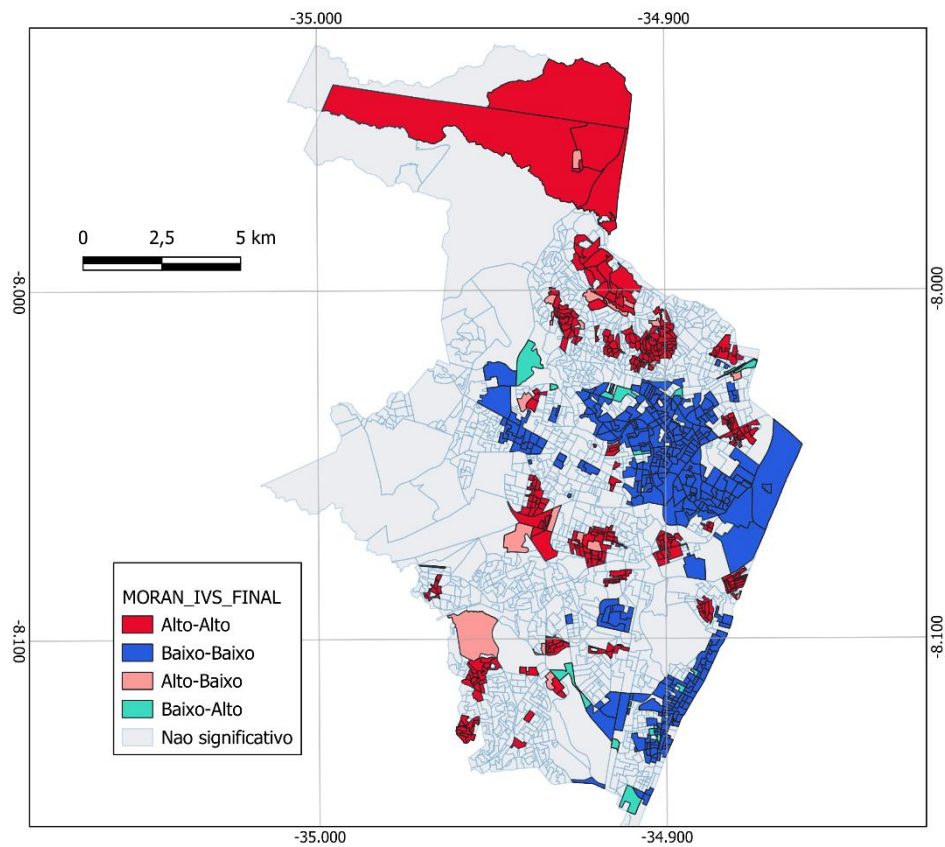
Índice de Moran	Social
Valor do índice	0,5184
P-value	0,001
Padrão espacial	Clustered

Fonte: a autora (2024)

Tabela 15: Índice de Moran Local para IVS

	Área (km2)
Não significativo	150,316
Alto-Alto	35,135
Baixo-Baixo	27,108
Alto-Baixo	2,117
Baixo-Alto	3,758

Figura 16: Mapa de representação para aplicação do Índice de Moran ao IVS



Fonte: a autora (2024)

Os resultados do Índice de Moran aplicado apresentaram $p=0,001$, indicando uma autocorrelação espacial significativa em 99% dos casos, com muitos clusters Alta-Alta e Baixo-Baixo (valores positivos), destacando uma autocorrelação positiva para os indicadores sociais. Isso indica que áreas com baixos índices apresentam baixa vulnerabilidade, enquanto áreas com altos índices apresentam alta vulnerabilidade, conforme Anselin (2018).

Contudo, um padrão de agrupamento é descrito na categoria Baixo-Alto, conforme representado no mapa. No entanto, devido à contradição socioeconômica refletida nas áreas adjacentes, também foram identificados agrupamentos Alto-Baixo, indicando um comportamento espacial distinto de *outliers* para uma população inserida em um contexto socioeconômico com níveis variados ao seu redor, embora em quantidade reduzida. Além disso, os bairros Vasco da Gama, Alto José Bonifácio, Dois Unidos, Passarinho e Brejo de Beberibe apresentaram predominância de combinações de vulnerabilidade Alto-Alto (AA).

Contudo, um outro padrão de agrupamento se encontra descrito na categoria Baixo-Alto, como representado no mapa. O bairro de Casa Amarela (BA) está situado próximo a bairros com clusters de vulnerabilidade Alto-Alto (AA), como: Alto José de Pinho, Morro da Conceição e Macaxeira. Em contraste, os bairros de Parnamirim e Casa Forte, que são clusters com vulnerabilidade Baixo-Baixo, estão localizados perto de Casa Amarela, que tem uma vulnerabilidade Baixo-Alto. O bairro de Apipucos, por sua vez, demonstra uma maior influência de indicadores de vulnerabilidade social Baixo-Alto e está situado próximo a Macaxeira (AA).

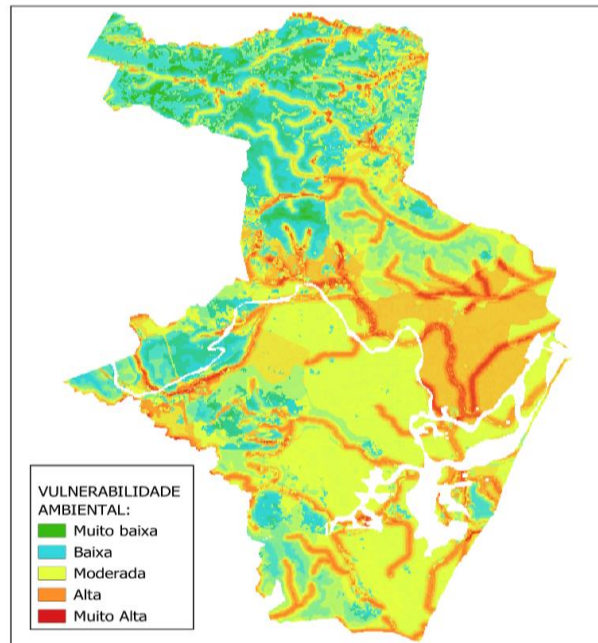
Já o bairro de Iputinga apresenta uma variabilidade espacial maior na distribuição dos indicadores de vulnerabilidade, com a presença de aglomerados Baixo-Alto (BA), Baixo-Baixo (BB) e Alto-Baixo (AB). Segundo Carmona-Ortega *et al.* (2022), o distanciamento e o isolamento de diferentes grupos sociais resultam da fragmentação urbana e da má distribuição na cidade, o que contribui para a injustiça ambiental e desigualdades.

Ambiental – Para o indicador ambiental foram obtidos alguns resultados interessantes para o debate. Inicialmente, é fácil de perceber que, pelo método aplicado, o risco de inundação é muito superior ao risco de deslizamento de terra (Figura 17). Devido ao fato de Recife ser uma cidade costeira, majoritariamente plana, com baixos nível de declividade, e além disso ser atravessada por rios favorecendo esse resultado. Portanto, foi feito o IVA a partir de outros indicadores além da declividade e proximidade de rios, sendo eles hipsometria, o uso e ocupação do território, tipos de solo, geologia e áreas de conservação.

Após tratar e normalizar os dados dos indicadores para utilização em classes de 1 a 5, foram realizadas duas simulações antes do cálculo final do índice. Inicialmente, as escalas dos

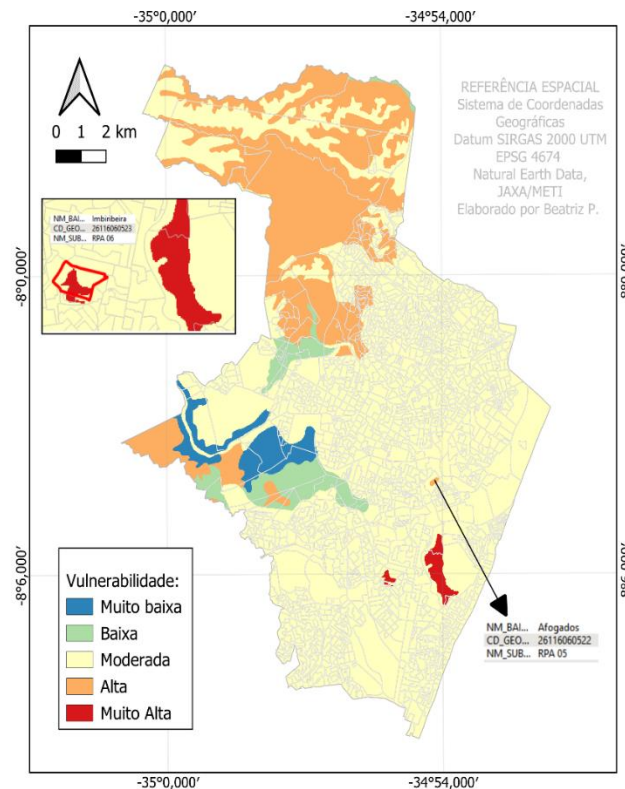
indicadores de distância dos recursos hídricos (*buffers*) e declividade foram sobrepostas para representar áreas mais propensas a inundações (Figura 18). Em seguida, foi feita a integração entre os tipos de solo e a hipsometria de Recife.

Figura 17: Mapa de vulnerabilidade ambiental de *buffers* com declividade do Recife



Fonte: a autora (2024)

Figura 18: Mapa de Vulnerabilidades ambientais por tipo de solo com uso e ocupação.



Fonte: A autora (2024)

Com isso, essas áreas coincidem com 85,74% da geologia presente na cidade e as áreas (Tabela 18) de baixa resistência do tipo Bacias Sedimentares e 14,26% de Rochas Metamórficas presentes na região, segundo CPRM (2002). Essas são áreas que apresentam características que inibem ou aumentam a ocorrência de deslizamentos, como no caso das rochas metamórficas, além da presença de outros fatores como hiposometria e declividade.

A partir da união das camadas como também a normalização, foi possível identificar áreas com diferentes índices de risco e ampliar a reflexão a respeito dos impactos e susceptibilidade que elas oferecem diante de situações vulnerabilidades. Se certos territórios apresentam características físicas que indicam riscos para a vida humana, trata-se desse modo uma predisposição da região a incidência de um determinado fenômeno (CERRI, 1993).

Tabela 16: Relação de áreas por classe de vulnerabilidade (IVA)

Classe de Vulnerabilidade	Declividade		Hipsometria		Recursos Hídricos		Geologia		Tipos de Solo	
	Área (Km ²)	Perc. (%)	Área (Km ²)	Perc. (%)	Área (Km ²)	Perc. (%)	Área (Km ²)	Perc. (%)	Área (Km ²)	Perc. (%)
Muito baixa	60,42	28,17	7,50	3,43	101,29	55,80			6,36	2,91
Baixa	28,36	13,22	17,41	7,97	26,14	14,40			8,26	3,78
Moderada	80,00	37,30	34,67	15,86	12,45	6,86	166,68	85,74	154,52	70,72
Alta	26,34	12,28	39,05	17,86	20,43	11,26			47,93	21,94
Muito Alta	12,55	5,85	119,91	54,86	21,17	11,66	27,72	14,26	1,42	0,65

Fonte: a autora (2024)

Na cidade do Recife, foi perceptível uma capacidade de adaptação heterogênea com áreas entre baixa capacidade de resiliência a moderada, devido a seu índice de vulnerabilidade ambiental. É possível notar que os setores censitários classificados com vulnerabilidade social de moderada a muito-alta estão em sua maioria próximos dos corpos hídricos.

As classes de vulnerabilidade Moderada, coincidem com 85,74% da geologia presente na cidade e nas áreas de baixa resistência com ocorrência das Bacias tipo Sedimentares. Essas são áreas que apresentam características propensas a ocorrência de deslizamentos de forma moderada, além de serem áreas com declividade e tipos de solos moderados.

Com isso, é representado através dos mapas que uma parcela maior da população recifense está suscetível a vulnerabilidade ambiental.

No entanto, com a aplicação do I. Moran ao IVA, foram obtidos os resultados apresentados nas tabelas 17 e 18 e figura 23 a seguir:

Tabela 17: Resultado do Índice de Moran Global para IVA

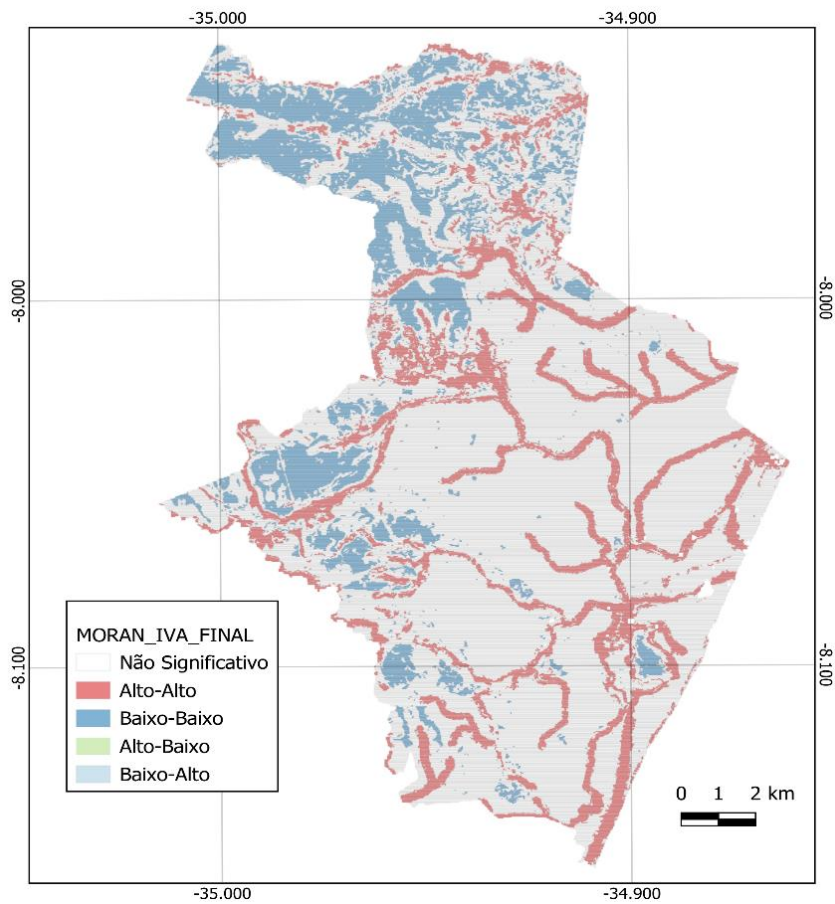
Índice de Moran	Ambiental
Valor do índice	0,947
P-value	0,001
Padrão espacial	Clustered

Tabela 18: Índice de Moran Local para IVA

	Área (km2)
Não significativo	148,582
Alto-Alto	33,62
Baixo-Baixo	32,072
Alto-Baixo	0,063
Baixo-Alto	0,021

Fonte: a autora (2024)

Figura 19: Mapa de representação para aplicação do Índice de Moran ao IVA



Fonte: a autora (2024)

A presença de rios atravessando a cidade influencia significativamente o índice de Moran ambiental, uma vez que as zonas com maiores vulnerabilidades tendem a ser aquelas localizadas em áreas com inclinações acentuadas ou próximas aos rios. Por exemplo, presença de agrupamentos no bairro do Pina (AA), vizinho da Imbiribeira (BB) e Afogados (AA), a

composição do solo desempenha um papel crucial. A predominância de solos do tipo mangue, que atuam como berço de deságue do mar e do rio, contribui para as condições de vulnerabilidade. Além disso, a alta antropização ao redor das Áreas de Proteção Permanente (APP) dificulta o processo de drenagem, exacerbando os problemas relacionados a alagamentos e outras questões ambientais.

Desse modo, para o IVA quase não foram representados os *outliers* no indicador, significando uma autocorrelação positiva. Sendo predominantemente áreas de *clusters*, Alto-alto e Baixo-Baixo, uma vez que são agrupamentos dos indicadores com valores médios semelhantes entre si. Na classe Alto-Alto estão presentes os indicadores com elevados valores de vulnerabilidade e que possuem vizinhos com valores médios semelhantes, enquanto que na classe Baixo-Baixo estão presentes os indicadores com valores baixos de vulnerabilidade e vizinhos com valores médios semelhantes.

Bairros como Joana Bezerra, Cabanga, Bomba do Hemetério, Barro, Linha do Tiro, Campina do Barreto, Peixinhos, Nova Descoberta e Macaxeira apresentaram predominância de clusters com alta vulnerabilidade (AA), indicando que esses bairros têm valores elevados de vulnerabilidade e estão localizados próximos a vizinhos com valores semelhantes.

Os bairros das RPA's 6 e 1 são majoritariamente urbanizados em regiões com baixos indicadores ambientais. Na análise de autocorrelação, a maior parte da distribuição foi identificada nos clusters Alto-Alto e em áreas não significativas. Isso sugere que, em termos de vulnerabilidade, essas áreas apresentam alta exposição ao risco e baixa capacidade de recuperação devido aos elevados exposição de vulnerabilidade.

Segundo Carvalho, Girão e Cabral (2017), os alagamentos urbanos estão relacionados à falta de planejamento e infraestrutura inadequada, resultantes da impermeabilização excessiva causada por áreas antropizadas. Esse processo aumenta o escoamento superficial e sobrecarrega os sistemas de drenagem, além de ser agravado por entupimentos causados por lixo e resíduos sólidos descartados de forma incorreta. Além disso, áreas suscetíveis a deslizamentos de massa frequentemente possuem moradias inadequadas localizadas em terrenos com elevadas declividades ou próximos a encostas. Esses locais enfrentam impactos significativos devido à erosão provocada pela remoção da cobertura vegetal e pela exposição do solo às intempéries, como chuvas e ventos. Exemplos de bairros afetados por esses problemas são Dois Unidos, Ibura, Cohab (Ibura de Cima) e Vasco da Gama, que apresentam clusters de alta vulnerabilidade (AA).

Secção 6

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal analisar os índices de vulnerabilidades ambientais e sociais, para os setores censitários na cidade do Recife. Dessa forma, a partir da verificação e utilização da estatística espacial aplicada, mais especificamente a AEDE, foi possível propor áreas de vulnerabilidades socioeconômicas a partir da união e sobreposição dos mapas.

Nestas investigações, foram utilizados dados de georreferenciamento e avaliação socioeconômica a partir do censo do IBGE 2010 e diferentes fontes de dados livres, dispostos gratuitamente na internet. Além disso, também foram utilizados softwares como QGIS, Terraview e GeoDa para construção dos mapas de representação dos índices.

Em Recife, as áreas altamente vulneráveis com alta densidade populacional estão localizadas ao norte e no centro, em setores censitários de bairros como Morro da Conceição, Alto José Bonifácio, Alto de Santa Teresinha, Dois Unidos e Passarinho, além de alguns outros setores dispersos pelo mapa. Embora a média do nível de escolaridade nessas regiões seja relativamente boa, e a renda per capita seja elevada no centro, há uma alta proporção de inquilinos em uma área menor.

Além disso, as mudanças climáticas alteram o padrão de vulnerabilidade, ampliando o potencial de destruição causado por desastres naturais, em combinação com ações antrópicas. Essa relação entre mudanças climáticas e desastres sugere tendências como o aumento do número anual de desastres, que resulta em mais pessoas afetadas, maiores perdas e uma diminuição na capacidade de resiliência da população. Autores como Ludwig e Mattedi (2016) e Mattedi et al. (2024) também encontraram resultados semelhantes em relação à conexão entre a forma de ocupação do solo e a territorialização dos desastres.

Entretanto, bairros na RPA 2 e 5, como Dois Unidos e Curado, respectivamente, possuem elevada densidade populacional e índices muito baixos de saneamento, classificando esses setores como pertencentes a aglomerados subnormais. Além disso, setores censitários do Ibura (RPA 6) apresentam diferentes indicadores relativos à densidade e saneamento, com índices moderados a altos de escolaridade e renda. Isso representa uma relação complexa entre os diferentes indicadores de vulnerabilidade nas várias regiões de Recife.

As Regiões Político-Administrativas (RPA's) de Recife, embora tenham sido concebidas para facilitar a administração e a gestão urbana, apresentam algumas limitações significativas. Uma das principais críticas é a desigualdade na distribuição de recursos e

serviços entre essas diferentes regiões. Desse modo, áreas mais centrais e economicamente privilegiadas, como a RPA1, frequentemente recebem mais atenção e investimento em infraestrutura, educação e saúde, enquanto áreas periféricas, como as RPAs 2 e 5, enfrentam déficits maiores e crônicos em serviços básicos, como saneamento.

No bairro do Pina, por exemplo, há uma alta porcentagem de pessoas com até 1 salário mínimo per capita, variando de 40% a 60% da população, com aglomerados identificados como AA e BB. Além disso, setores censitários na área apresentam uma densidade populacional que varia entre 25.675 e 77.025 habitantes por km². Esses dados sugerem uma perspectiva de segregação e fragmentação urbana (Souza, 2021; Covarrubias e Reillo, 2022; Vallentini e Rego, 2023). O Pina também está localizado próximo a áreas de solo do tipo mangue. No litoral, bairros como Brasília Teimosa, Pina e Boa Viagem enfrentam alta vulnerabilidade ambiental devido ao avanço do mar, mudanças climáticas e infraestrutura inadequada de saneamento e drenagem urbana.

Além disso, a divisão das RPA's não parece sempre refletir as necessidades reais da população, levando a uma alocação ineficiente de recursos. Por exemplo, setores densamente povoados em regiões vulneráveis muitas vezes carecem de investimentos adequados para melhorar a qualidade de vida dos residentes. A alta densidade populacional em bairros como Dois Unidos e Curado, combinada com baixos índices de saneamento, evidencia a falha na implementação de políticas de desenvolvimento urbano inclusivas e equilibradas.

Outro ponto de crítica é a falta de participação popular efetiva na tomada de decisões dentro das RPA's. Embora haja mecanismos formais de participação, como conselhos e audiências públicas, a influência real dos moradores no planejamento e na execução de políticas públicas é limitada. Isso pode resultar em projetos que não atendem às necessidades locais ou que são implementados de maneira inadequada.

Diferentemente de trabalhos como o de Chang *et al.* (2021), que utilizam indicadores sociais, ambientais, tecnológicos e de mobilidade urbana, este estudo focou em indicadores mais simples. Isso foi feito para facilitar o tratamento de dados de diferentes formatos de arquivo e a normalização necessária para o cálculo final do índice. Os dados obtidos para o IVS foram mensurados em formato shp e normalizados de acordo com os setores censitários. Para o IVA, os dados foram preferencialmente baixados em formatos shp ou raster. Esses dados foram então convertidos, reclassificados, unidos, dissolvidos e/ou poligonizados para a obtenção dos mapas finais.

A escolha de utilizar a autocorrelação espacial univariada foi feita pela autora para manter a credibilidade do método de médias aplicado aos indicadores, ao mesmo tempo em que

verificava a significância dos indicadores e a distribuição espacial dos dados. Por isso, foi realizada uma validação cruzada para utilizar métodos estatísticos de validação dos índices resultantes, garantindo a integração de diferentes métodos de médias não comprometessem a validade dos resultados. Desse modo, essa estratégia garantiu que os índices resultantes fossem robustos, mas confiáveis.

Se comparar os mapas de *clusters* (sociais e ambientais), é possível reparar que nas RPA 3 e 1 se concentraram valores sociais Baixo-Baixo e nas RPA 6 E 1, se concentraram clusters Alto-Alto, principalmente pela incidência dos recursos hídricos que atravessam a cidade. Por isso, ao verificar o mapa de tipos de solo e uso e ocupação, observa-se área de vulnerabilidade Alta e Muito alta, nos bairros da Imbiribeira e Afogados, bairros com alta densidade populacional e pouca infraestrutura de saneamento.

Isso representa que essas áreas possuem uma alta exposição ao risco e baixa capacidade de recuperação. Sendo assim, essas áreas podem sofrer, em maior frequência, com o impacto dos desastres, principalmente inundações. Apesar do nível socioeconômico da população apresentar, em sua maioria, uma boa renda familiar, a adaptação às condições ambientais (*buffers*, infraestrutura urbana e tipos de solo) são limitadas e diminui a capacidade de suporte aos eventos climáticos extremos. ´

A maioria dos riscos ambientais urbanos está sob esferas de responsabilidade municipal e estadual, sendo diretamente relacionada ao uso e ocupação do solo. Isso indica que a intensidade e a disseminação dos problemas socioambientais urbanos são amplamente causadas pela ineficácia da administração pública no planejamento e no controle do crescimento territorial da cidade. Por outro lado, essa situação oferece diante da análise observada um indicativo moderado para possibilidades de respostas coletivas diante das vulnerabilidades.

REFERÊNCIAS

- ALHEIROS, M. M. Riscos de escorregamentos na Região Metropolitana de Recife. 1998. 120p. Tese (Doutorado em Geociências, Área de Concentração em Geologia Sedimentar) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, Recife, 1998.
- ALKIRE, S.; SANTOS, M.E. A multidimensional approach: Poverty measurement & beyond. *Social Indicators Research*, v. 112, n. 2, p. 239-257, 2013.
- ALMEIDA, Eduardo. *Econometria Espacial Aplicada*. Campinas: Alínea, 2012.
- ALMEIDA, L. Q.; WELLE, T.; BIRKMANN, J. Disaster risk indicators in Brazil: A proposal based on the world risk index. *International Journal Of Disaster Risk Reduction*, v. 17, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.04.007>.
- ALVALÁ, R.C.S. et al. Mapping characteristics of at risk population to disasters in the context of Brazilian early warning system. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 41, p. 101326, 2019.
- ANSELIN, L. GeoDA versão 1.14. Chicago: University of Chicago, 2022. Disponível em: <https://geodacenter.github.io/>. Acesso em: 27 jul. 2024.
- ANSELIN, L. Local indicators of spatial association – LISA. *Geographical Analysis*, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995.
- _____. *Spatial econometrics: Methods and models*. Springer, 2019.
- AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J.R. *Vulnerabilidade ambiental*. São Paulo: Edgard Blucher, 2017.
- ARROW, K. J.; DASGUPTA, P.; GOULDER, L.H.; MUMFORD, K.J.; OLESON, K. Sustainability and the measurement of wealth. *Environment and Development Economics*, v. 17, p. 317-353, 2012. DOI: 10.1017/s1355770x12000137.
- BAERLOCHER, D.; PARENTE, S. L.; RIOS-NETO, E. Economic effects of demographic dividend in Brazilian regions. *The Journal of the Economics of Ageing*, v. 14, 100198, 2019.
- BANCO MUNDIAL. *Relatório sobre Clima e Desenvolvimento para o País: Brasil*. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR). Brasília, 2023.
- BIJU, B.P. *Utilização do Sistema de Informações Geográficas (SIG) na indicação de possíveis áreas aptas à disposição de resíduos de construção e de demolição*. 2015. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2015.
- BIRKMANN, J. Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. *Environmental Hazards*, v. 7, n. 1, p. 20-31, 2007.
- BORSODORF, A. *Hacia la ciudad fragmentada: tempranas estructuras segregadas en la ciudad latinoamericana*. *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, v. 7, n. 146, 2003. Disponível em: [http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-146\(122\).htm](http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-146(122).htm) . Acesso em: 8 set. 2019.

BRASIL. Ministério das Cidades; IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios. Brasília: MCidades; IPT, 2007. Disponível em: <http://goo.gl/rYX7IK>. Acesso em: 10 set. 2020.

_____. Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2012. 11p.

CABRAL, L.N.; CÂNDIDO, G.A. Urbanização, vulnerabilidade, resiliência: relações conceituais e compreensões de causa e efeito. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, Curitiba, v. 11, e20180063, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.002.AO08>.

CAMPOLI, P. F.; VIEIRA, C.V. Avaliação do Risco a Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, Joinville/SC. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 01, p. 124-138, 2019.

CARMONA-ORTEGA, M.; FALFÁN, I.; LASCURAIN-RANGEL, M.; BENÍTEZ-BADILLO, G. *Distribución espacial de las áreas verdes urbanas en Xalapa, México: un caso de inequidad. Sociedad y Ambiente*, v. 25, p. 1-32, 2022. DOI: <https://doi.org/10.31840/sya.vi25.2559>.

CARVALHO, A. T. F.; GIRÃO, O. da S.; CABRAL, J. J. da S. P. Efeitos do revestimento de canal e impermeabilização do solo à dinâmica de inundação do Rio Arrombados – PE. *Revista Geociências*, v. 36, n. 1, p. 76-88, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i1.12294>.

CHANG, H.; TROXLER, T.; ROSENZWEIG, B.; CHENG, C.; MCPHEARSON, T.; HERREROS-CANTIS, P. Avaliação da vulnerabilidade às inundações urbanas usando a estrutura de sistemas sócio-ecológico-tecnológicos em seis cidades dos EUA. *Cidades e Sociedade Sustentáveis*, v. 68, p. 102786, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102786>.

CICCOTTI, L. Construção de indicadores de resiliência comunitária aos desastres no Brasil: uma abordagem participativa. *Ambiente e Sociedade*, v. 23, São Paulo, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20180123r1vu2020L1AO>

COSTA, C. Nasa prevê impacto de derretimento de geleiras em três cidades brasileiras. *BBC New Brasil*, São Paulo, 22 nov. 2018.

COVARRUBIAS, J. E. O.; REILLO, F. C. *Segregación socioespacial en el acceso a equipamientos de salud en Mazatlán*, México. *Caderno Urbano*, v. 33, n. 33, p. 21-45, 2022. DOI: <https://doi.org/10.30972/crn.33336227>.

CPRH. *Fauna e flora: Unidades de conservação*. Disponível em: <https://www2.cprh.pe.gov.br/fauna-e-flora/unidades-de-conservacao/>. Acesso em: 05 março 2023.

CPRM; IPT. *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000*. Coordenação Omar Yazbek Bitar. São Paulo, 2013.

CUTTER, S. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, v. 93, n. 1, p. 59-70, 2011.

CUTTER, S.; MITCHELL, J.; SCOTT, M. Revealing the vulnerability of people and places: a

case study of Georgetown county, South Carolina. *Annals of the Association of American Geographers*, v. 90, n. 4, p. 713-737, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1111/0004-5608.00219>

DASGUPTA, P. S. *The nature of economic development and the economic development of nature*. Cambridge: University of Cambridge, 2013.

DJALANTE, R. Key assessments from the IPCC special report on global warming of 1.5°C and the implications for the Sendai framework for disaster risk reduction. *Progress in Disaster Science*, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - **EMBRAPA**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FERREIRA, M. T. S. Mapeamento e avaliação do grau de risco de inundação em áreas urbanas. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, Natal, 2019.

FILGUEIRA, A. Racismo ambiental, cidadania e biopolítica: considerações gerais em torno de espacialidades racializadas. *Ateliê Geográfico*, v. 15, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5216/ag.v15i2.69990>.

FIGUEIREDO, M.C.B. (*org.*). *Análise da vulnerabilidade ambiental*. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010.

FOTHERINGHAM, A. S.; BRUNSDON, C.; CHARLTON, M. *Geographically weighted regression: The analysis of spatially varying relationships*. John Wiley & Sons, 2007.

FREITAS, M. I.C.; CUNHA, L. Cartografia da vulnerabilidade socioambiental: convergências e divergências a partir de algumas experiências em Portugal e no Brasil. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 5, n. 1, p. 15-31, 2013. DOI: <https://doi.org/10.7213/urbe.7783>

GALLOPÍN, G. C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, v. 16, p. 293-303, 2006.

GOMES, D. P.; CLEMENTINO, E. L.; SANTOS, R.; VERAS, S.; PAZ, D. Diagnóstico de áreas vulneráveis a inundações localizadas no Cabo de Santo Agostinho-PE (Brasil). *Brazilian Journal of Development*, 2021.

GOUVEIA, N. Saúde e meio ambiente nas cidades: os desafios da saúde ambiental. *Saúde e Sociedade*, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 49-61, jan./fev. 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-12901999000100005>. Acesso em: 15 abr. 2020.

GUILLARD-GONÇALVES, C.; ZÊZERE, J. L. Combining Social Vulnerability and Physical Vulnerability to Analyze Landslide Risk at the Municipal Scale. *Geosciences*, v. 8, n. 8, Lisboa, 2018.

GUSMÃO, A. D. Mudanças climáticas e riscos geológicos no Recife. In: COMCLIMA, 9, 2017. Recife: COMCLIMA, 2017. 56 slides, color.

HABITAT PARA HUMANIDADE BRASIL. Relatório Anual 2018. São Paulo: Habitat para Humanidade Brasil, 2018. Disponível em: <https://habitatbrasil.org.br/relatorio-anual-201>

HABERMANN, R.; GOUVEIA, N. Justiça ambiental: uma abordagem ecossocial em saúde. *Revista de Saúde Pública*, São Paulo, v. 42, n. 6, p. 1105-1111, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-89102008000600019>.

ICLEI. Uma Década de Boas Práticas Ambientais e Ação Climática Local (2012-2022). 2023. Disponível em: <https://americadosul.iclei.org/documentos/cb27-10-anos-uma-decada-de-boas-praticas-ambientais-e-acao-climatica-local-2012-2022/>. Acesso em: 29/12/2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Censo Demográfico 2010 - Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

_____. Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil escala 1:250.000. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_geologico/vetores/escala_250_mil/documentacao_tecnica_MRN_2018.pdf . Acesso em: 29 de maio de 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Instituto de Pesquisas Econômica Aplicada. Base de dados sociais. 2015. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/>. Acesso em: 26/06/2023.

_____. Relatório de pesquisa a nova plataforma da vulnerabilidade social: primeiros resultados do índice de vulnerabilidade social para a série histórica da Pnad (2011-2015). Editores: Bárbara Oliveira Marguti et al. Brasília: IPEA, 2015.

IPCC - *Climate Change: impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

_____. ***Global warming of 1.5°C: An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above preindustrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change***. In: Masson-Delmotte, V. et al. (eds.). Geneva: World Meteorological Organization, 2018. p. 32.

_____. ***Climate Change: Synthesis Report. Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change***. Core Writing Team: R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). Geneva: IPCC, 2014. 151 p.

JANCZURA, R. Risco ou vulnerabilidade social? Textos & Contextos (Porto Alegre), v. 11, n. 2, p. 301-308, 2012. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-682874> . Acesso em: 06/07/2023.

LEGROUX, J. A lógica urbana fragmentária: delimitar o conceito de fragmentação socioespacial. *Caminhos de Geografia*, v. 22, n. 81, p. 235-248, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG228155499>

LISTO, F. R. *Análise da Suscetibilidade e do Grau de Risco a Escorregamentos Rasos na Bacia do Alto Aricanduva, RMSP (SP)*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2011.

LONGLEY, P.; GOODCHILD, M.; MAGUIRE, D.; RHIND, D. Geographic information

systems and science. John Wiley & Sons, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/jgis.2016.85050>.

LUDWIG, L.; MATTEDI, M. A. Dos desastres do desenvolvimento, ao desenvolvimento dos desastres. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 39, p. 23-42, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v39i0.45575>.

MALTA, J.; COSTA, M.; MAGRINI, A. Análise da vulnerabilidade social e risco ambiental no município do Rio de Janeiro. *Geo UERJ*, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, p. 45-60, 2017. DOI: [10.12957/geouerj.2017.28311](http://dx.doi.org/10.12957/geouerj.2017.28311).

MARENGO, J.; RODRIGUES, M.; REZENDE, F.; CASTRO, A.; SANTOS, B. *An integrated framework to analyze local decision making and adaptation to sea level rise in coastal regions in Selsey (UK), Broward County (USA), and Santos (Brazil)*. *American Journal of Climate Change*, v. 6, p. 403-424, 2017. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajcc.2017.62021>.

MARQUES, W. R. A metamorfose espacial da ilha de São Luis do Maranhão: olhares da sociologia urbana sobre a cidade. *Boletim de Conjuntura (BOCA)*, Boa Vista, v. 14, n. 40, p. 100–119, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7804024>.

MATTEDI, M.; MELLO, B.; SOUZA, C.; VICENTAINER, D.; KORMANN, T. Aplicação do índice de vulnerabilidade socioambiental a desastres por meio de Sistema de Informações Geográficas (SIG): estudo de caso para o município de Blumenau (SC). *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 13, n. 1, p. 1-43, e23423, 2024.

METZGER, J. M.; DE CLERCQ, H.; SANTOS, A.; MOURA, R. A.; SOUSA, M. E.; PACHECO, M. M.; SILVA, S. D.; RODRIGUES, C. M.; BROWN, G.; RICARDO, J. M. The vulnerability of ecosystems services to land use change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 114, n. 1, p. 69-85, 2006.

MENEZES, J. A.; CONFALONIERI, U.; MADUREIRA, A. P.; DUVAL, I. B.; SANTOS, R. B.; MARGONARI, C. Mapping human vulnerability to climate change in the Brazilian Amazon: the construction of a municipal vulnerability index. *PloS ONE*, v. 13, n. 2, p. 1-30, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192571>.

MORATO, R. G.; MACHADO, R. P. P.; MARTINES, M. R. Mapeamento da justiça ambiental e racismo ambiental na bacia do Córrego do Morro do “S”, São Paulo/SP. *Geoambiente On-Line*, n. 30, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i30.51683>. Acesso em: 23/04/2023.

OJIMA, R.; MARANDOLA, E. (orgs.). *Mudanças climáticas e as cidades: novos e antigos debates na busca da sustentabilidade urbana*. São Paulo: Blucher, 2013. Disponível em: https://storage.blucher.com.br/book/pdf_preview/9788521208051-amostra.pdf. Acesso em: 2 mai. de 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. As urbanization grows, cities unveil sustainable development solutions on World Day. *UN News*, Acesso em: 31 out. 2019. Disponível em: <https://news.un.org/en/story/2019/10/1050631>. Acesso em: 27 jul. 2023.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT - OECD. *Intermediary Cities and Climate Change*. Paris: OECD Publicação, 2023. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/intermediary-cities-and-climate-change_23508323-

en.html. Acesso em: 12/02/2024.

PBMC. *Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas*. Rio de Janeiro: PBMC, 2016. 184 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Andrea-Santos-4/publication/328388678_Impacto_vulnerabilidade_e_adaptacao_das_cidades_costeiras_brasileiras_as_mudancas_climaticas_Relatorio_Especial_do_Painel_Brasileiro_de_Mudancas_Climaticas/links/5bc9d82c92851cae21b24a76/Impacto-vulnerabilidade-e-adaptacao-das-cidades-costeiras-brasileiras-as-mudancas-climaticas-Relatorio-Especial-do-Painel-Brasileiro-de-Mudancas-Climaticas.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19. Acesso em: 3 de jul. de 2023.

PRÉVÔT-SCHAPIRA, Marie-France; PINEDA, R. **Buenos Aires: la fragmentación en los intersticios de una sociedad polarizada**. *Eure*, v. XXXIV, n. 103, p. 73-92, dez. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612008000300004>

REIS, G.; RIBEIRO, A.; SILVA, C. Diagnóstico de vulnerabilidade socioambiental em áreas urbanas utilizando inteligência geográfica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 2, p. 767-781, 2020.

SANTOS, M. A urbanização brasileira. São Paulo: Ed. Humanismo, Ciência e Tecnologia (HUCITEC) Ltda, 1993. ISBN 85.271.0280-7. p. 29-117. Disponível em: https://professor.ufrgs.br/dagnino/files/santos_milton_a_urbanizacao_brasileira_1993.pdf. Acesso em: 31 de jan. 2023.

SANTOS, M.; SILVEIRA, M. L. **O Brasil: território e sociedade no início do século XXI**. Rio de Janeiro: Record, 2008. p. 273.

SILVA JUNIOR, C. H.; PEREIRA, L. M.; SILVA, E. M.; OLIVEIRA, J. R. Zoneamento de suscetibilidade a deslizamentos induzidos em bacias hidrográficas com base na lógica fuzzy e no processo analítico hierárquico (AHP): O caso da bacia hidrográfica do Rio Anil, São Luís - MA. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, p. 1819-1837, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv68n9-44445>.

SILVA, C. H. da; ANDERSON, L. O.; PEREIRA, D. C.; ARAGÃO, L. E. O. C. Inundações, deslizamentos de massa e quedas de árvores: desastres em áreas ambientais. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 16, n. 2, p. 123-145, 2020.

SILVA, E. L. P.; PEREIRA, D. C.; ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C. Histórico e projeção de inundações repentinas em Morretes, Paraná-Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, Dourados, MS, v. 31, p. 1-22, jul./dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.55761/abclima.v31i18.15780>.

SOEK, F. J.; FERREIRA, F. E.; KLEIN, M. V.; BAUER, N. C.; CAIKOSKI, P. S.; FELTRIM ROSEGHINI, W. F.; MENDONÇA, F. Mudanças climáticas e infestação por *Aedes aegypti* na região sul do Brasil. *Geo UERJ*, n. 42, 2023. DOI: <https://doi.org/10.12957/geouerj.2023.74550>.

SOUZA, A. L. F. da. Racismo ambiental, cidadania e biopolítica: considerações gerais em torno de espacialidades racializadas. *Ateliê Geográfico*, v. 15, n. 2, p. 186–201, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5216/ag.v15i2.69990>.

SPOSITO, E. S.; SPOSITO, M. E. *Sociospacial fragmentation. Mercator*, Fortaleza, v. 19, jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19015>

TRANNIN, M. C.; BRUNO, S. F. Justiça ambiental e planejamento urbano: construindo resiliência em comunidades vulneráveis. *REPAAE - Revista de Ensino e Pesquisa em Administração e Engenharia*, v. 7, n. 1, p. 37–58, 2021. DOI: <https://doi.org/10.51923/repae.v7i1.238> .legrou

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (orgs.). *Inundações Urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: *Associação Brasileira de Recursos Hídricos*, 2003. Disponível em: <http://www.eclac.cl/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23335/InBr02803.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2023.

UFSC. *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais: 1991 a 2012*. 2. ed. Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. Disponível em: <https://www.cepel.ufsc.br/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais-1991-a-2012/> . Acesso em 19 jul. 2024.

UN-HABITAT. *Urban Regeneration as a tool for Inclusive and Sustainable Recovery*. 2022. Disponível em: <https://unhabitat.org/urban-regeneration-as-a-tool-for-inclusive-and-sustainable-recovery> . Acesso em: 29 jul. 2024.

VALENTINI, D. R.; REGO, A. Q. S. F. Fragmentação como padrão da expansão urbana no século XXI: o caso de Chapecó (Santa Catarina). *Oculum Ensaios*, v. 20, 2023. DOI: <https://doi.org/10.24220/2318-0919v20e2023a5254>