

ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DE UM ÍNDICE SUBMUNICIPAL DE VULNERABILIDADE AOS EFEITOS DA MUDANÇA DO CLIMA EM SALVADOR – BA



Figura 1- Aniversário de Salvador - Foto Valter Pontes - AGECOM 3

Produto 4 — Relatório sobre a construção do índice de vulnerabilidade sub-municipal, análise de concentração de vulnerabilidade e seleção de áreas prioritárias

NeoUrbs

Elaborado por:
NeoUrbs

Este documento foi produzido por consultores independentes no âmbito da implementação do Projeto Apoio ao Brasil na Implementação da sua Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (ProAdapta).

O ProAdapta é fruto da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente do Brasil (MMA) e o Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU, sigla em alemão), no contexto da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI, sigla em alemão) e implementado pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ).

Contribui para o alcance dos objetivos deste projeto e para a coordenação técnica, em parceria com a GIZ, do processo de origem deste documento, a Prefeitura Municipal de Salvador (PMS), por meio de sua Secretaria de Sustentabilidade, Inovação e Resiliência (SECIS).

Todas as opiniões aqui expressas são de inteira responsabilidade dos autores, não refletindo necessariamente a posição da GIZ, da Prefeitura Municipal de Salvador e do MMA. Este documento não foi submetido à revisão editorial.

Equipe Técnica - MMA

Secretaria de Relações Internacionais
Departamento de Economia Ambiental e
Acordos Internacionais

Equipe Técnica - GIZ

Ana Carolina Câmara (coordenação)
Dennis Eucker

Equipe Técnica - SECIS/PMS

Adriana Campelo
Daniela Guarieiro

Equipe Técnica – NeoUrbs

Marcel Claudio Sant’Ana

Ministério do Meio Ambiente

Esplanada dos Ministérios, Bloco B, Brasília/DF, CEP 70068-901
Telefone: + 55 61 2028-1206

Prefeitura Municipal de Salvador

Praça Thomé de Souza - Praça Municipal, S/N, Salvador - BA, CEP 40010-020
Telefone: + 55 71 3202-6000

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Sede da GIZ: Bonn e Eschborn
GIZ Agência Brasília
SCN Quadra 01 Bloco C Sala 1501
Ed. Brasília Trade Center 70.711-902 Brasília/DF
T + 55-61-2101-2170
E giz-brasilien@giz.de
www.giz.de/brasil

A encargo de:

Ministério Federal do Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) da Alemanha

BMU Bonn:
Robert-Schuman-Platz 3 53175 Bonn, Alemanha
T +49 (0) 228 99 305-0

Diretora de Projeto:

Ana Carolina Câmara
T: +55 61 9 99 89 71 71
T +55 61 2101 2098
E ana-carolina.camara@giz.de

Brasília, setembro de 2019

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. CONDICIONANTES E LIMITAÇÕES.....	2
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	4
3.1 Subíndice de exposição	5
3.2 Subíndice de Sensibilidade	12
3.3 Subíndice de Capacidade Adaptativa	14
3.4 Índice de Vulnerabilidade.....	15
4. RESULTADOS	15
5. ANEXO 1	23
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

1. INTRODUÇÃO

A presente relatório tem por objetivo apresentar os resultados do Índice de Vulnerabilidade Submunicipal do Município de Salvador e integra as atividades do projeto "Apoio ao Brasil na implantação da sua Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (ProAdapta)", no âmbito da Cooperação Técnica entre o Brasil e a Alemanha. O ProAdapta tem como objetivo contribuir para o aumento da resiliência climática do Brasil por meio da implementação efetiva da Agenda Nacional de Adaptação à Mudança do Clima e toma como uma de suas estratégias o desenvolvimento de capacidades para que políticas públicas, métodos e instrumentos para a transversalização (*mainstreaming*) da adaptação à mudança do clima, bem como medidas replicáveis de adaptação.

O Índice de Vulnerabilidade Submunicipal busca retratar o estado da vulnerabilidade de cada parcela do território do município de Salvador de modo a propiciar a identificação das parcelas territoriais mais vulneráveis à mudança do clima e qualificar o planejamento de ações de adaptação e gestão de risco de desastres naturais. Para isto, o índice se estrutura de modo a retratar a dimensão da exposição, da sensibilidade e da capacidade adaptativa a partir de indicadores e indicadores compostos que são ponderados de modo a gerar um retrato da vulnerabilidade nas unidades territoriais dos setores censitários, de análise censitária.

Este relatório tratará de apresentar em seu Capítulo 2 aspectos gerais condicionantes ou limitadores da plena adaptação do Modelo MMA et al. (2017) e da orientação IPCC (2014) em função da restrição de dados específicos bem como da própria limitação de métodos de *downscaling* ao nível de unidade de bairros ou setores censitários.

No Capítulo 3 apresenta-se a síntese dos procedimentos metodológicos adotados para análise da vulnerabilidade do território a partir da adaptação do método MMA et al. (2017), desagregado nos subíndices de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa, e somando a este método estratégias de análise de estatística espacial (análise de *Hotspots* e *Moran I — Clusters*).

O Capítulo 4 tratará de apresentar o resultado das análises desagregadas nos subíndices que compõem o Índice de Exposição, bem como, tratará de apresentar as análises de distribuições e concentrações espaciais de unidades territoriais de alta vulnerabilidade, por meio das análises de estatística espacial *Hotspot Analysis* e *Moran I*.

2. CONDICIONANTES E LIMITAÇÕES

De modo prévio a apresentação do relatório, tendo em vista a sua compreensão, se faz necessário explicitar os elementos condicionadores e limitadores deste estudo, em especial o que se refere aos elementos: disponibilidade de dados e informações; limites do método; e, objeto da análise.

O estudo estruturou-se no desenho dos cenários de vulnerabilidade dentro do Município de Salvador com base em dados existente e disponíveis quando de sua elaboração, tanto do ponto de vista das características socioeconômicas quanto das características biofísicas do território soteropolitano. Isto significa dizer que o estudo não pretendeu desenvolver novos dados ou informações que pudessem agregar valor às análises. Desta forma, pode ser caracterizado como um estudo de tratamento e interpretação de dados e informações pré-existentes e disponibilizadas.

Tal aspecto merece especial atenção ao abordar os dados pluviométricos de Salvador. Para estes, a limitação de base de dados, com série história significativa ao modelo de análise e cobertura do território municipal, impôs limitação à análise de exposição climática do território e demandou a adaptação do modelo, incluindo nesta adaptação o tratamento e interpretação de dados climáticos de pluviômetros distribuídos no território municipal, mesmo tendo os mesmos um curto intervalo de registro de dados e não cobrindo a *baseline* (1960-1990) recomendada pela metodologia IPCC (2014) e demandadas pelos modelos de referência dos estudos GIZ/MMA. A superação de tal carência passa pelo desenvolvimento de estudos específicos para levantamento de pontos de registros de dados, distribuídos no território e que consigam cobrir o período de *baseline* proposto pelo método (uma estratégia pode ser a construção a partir de dados de reanálise de imagens de satélite ou reconstrução estatística).

Outro aspecto condicionante diz respeito ao próprio limite dos métodos de *downscaling* que alimentariam as análises de exposição. Hoje é comum encontrar estudos sobre o *downscaling* de modelos globais de construção de cenários de mudança do clima em níveis regionais. Não obstante, o avanço destas metodologias, desagregadas ao nível de unidades territoriais submunicipais, como o demandado por este estudo, ainda é questão controversa dada a imprecisão de se afirmar mudanças específicas do clima em parcelas de um território municipal no qual a conformação geomorfológica não chega a condicionar variações climáticas no território, em específico no que se refere à pluviosidade, variável central para as análises de vulnerabilidade hidrogeológica.

Esta incerteza quanto ao método de *downscaling* em nível submunicipal foi constatada pela maior precisão e disponibilidade de dados e informações de cartografias geológicas-geotécnicas sobre riscos de desastres no território municipal, para o qual as informações da prefeitura municipal de Salvador e de outras instituições traçam um desenho muito preciso do risco e da suscetibilidade à desastres naturais no território.

Tal quantidade de dados e informações das cartografias geológicas-geotécnicas acabou por fortalecer a perspectiva de atendimento ao objeto central desta análise, que se volta para a identificação de áreas de maior vulnerabilidade a ocorrência de desastres hidrogeológicos nas unidades do territoriais submunicipais de Salvador. Tendo em vista o histórico de desastres, o acumulado de perdas materiais e de vidas humanas em decorrências dos desastres hidrogeológicos, esta análise de vulnerabilidade se concentra no entendimento deste fenômeno, tendo por objetivo principal entender sua distribuição no território em função das variáveis climáticas, socioeconômicas e morfologia urbana.

Um último aspecto que cabe consideração diz respeito a avaliação da capacidade adaptativa. Ao fim das análises, restam muitas dúvidas quanto à efetiva capacidade adaptativa da população em relação às ameaças em foco nesta análise. Hoje, no Brasil, os desastres de movimento de massa e as inundações são caracterizados como principais responsáveis pela perda de vidas humanas e perdas materiais, a adaptação ou prevenção dos impactos derivados demanda em grande medida a implementação de contramedidas estruturais de infraestrutura urbana ou soluções de engenharia de construção civil nas edificações.

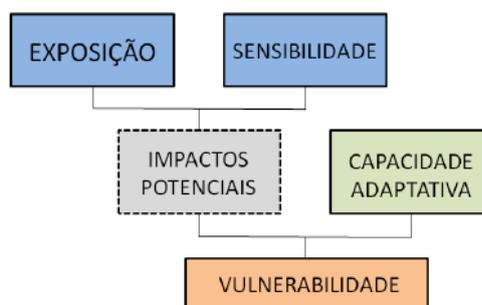
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Avançar na descrição dos processos metodológicos e nos resultados da análise requer recuperar a orientação metodológica adotada para este estudo. A análise parte da orientação do IPCC (2014), na qual a vulnerabilidade deve ser entendida enquanto “propensão de sofrer danos” e pode ser definida pela interação entre a exposição, a sensibilidade e a capacidade adaptativa, conforme a DIAGRAMA 1.

Neste estudo, a metodologia terá por foco a caracterização da Exposição, da Sensibilidade e da Capacidade Adaptativa. Tais dimensões serão abordadas ao nível de qualificação das unidades territoriais dos setores censitários urbanos e poderão

futuramente serem agregadas nas unidades dos bairros ou das subprefeituras de Salvador.

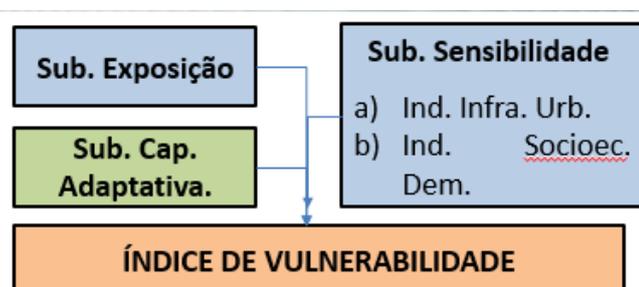
DIAGRAMA 1. Estrutura do conceito de vulnerabilidade.



Fonte: IPCC, 2013 *apud* MMA *et. al.*, 2017.

Com esta orientação e tendo em vista a particularidade das características da análise desenvolvida, propõem-se a conformação do Índice de Vulnerabilidade com estrutura conforme detalhado no Diagrama 2.

DIAGRAMA 2. Estrutura do Índice de Vulnerabilidade.



3.1 Subíndice de exposição

Para aferição da exposição a análise estrutura o índice de exposição na busca da identificação de setores censitários mais expostos a eventos pluviométricos críticos e caracterização de riscos no território (especificamente os riscos de movimento de massa, deslizamentos, e hidrológicos, inundações). Estes dois fatores atuam como principais fenômenos para deflagração dos desastres naturais no país, na perspectiva das características naturais do território (IPT, 2007; LEE, 2004, MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2018).

Basicamente o subíndice busca captar o fenômeno da exposição nas unidades territoriais do Município de Salvador dado seu nível de exposição à eventos pluviométricos, frequência e quantidade (CHANG e FREITAS, 2015), correlacionando tais eventos às características da conformação do risco no território soteropolitano, variáveis que serão aferidas a partir das cartografias geológicas-geotécnicas elaboradas pela Defesas Civil de Salvador e (CODESAL) e Serviço Geológico do Brasil (CPRM)

Para verificação do comportamento pluviométrico foram aferidos dados de Pluviômetros junto ao Centro Nacional de Monitoramento de Desastres Naturais (CEMADEM) e das estações ONDINA (INMET) e Aeroporto (INFRERO), para o período 2014–2018, período no qual a cobertura de dados permitiu um retrato, para o momento atual, do comportamento pluviométrico ao longo de todo território de Salvador.

A leitura do fenômeno pluviométrico no território de Salvador será instituída a partir de análise com ferramentas de geoestatística, em específico, a análise de krigagem. A análise por krigagem será um recurso a ser utilizado dada existência de poucos pontos de coleta de dados pluviométricos em Salvador, fato que demanda o uso de técnicas de interpolação para mapeamento do comportamento pluviométrico no território municipal (ver Carvalho & Assad, 2005; Viola et al., 2010; Carvalho et al., 2012 sobre uso de krigagem para mapeamento de dados pluviométricos).

O estudo centrou-se na análise dos dados dos meses de maiores precipitações e historicamente críticas para os desastres de movimento de massa e inundações (abril, a julho) e toma por base os pontos de coleta de dados disponíveis para consulta. A partir da análise destes dados foi realizada a caracterização do comportamento pluviométrico (frequência e quantidade) no território municipal.

Para caracterização do risco a movimento de massa (deslizamentos rotacionais e planares, queda de bloco e corrida de detritos, entre outros) e inundações, o subíndice de exposição afere dados de cartografias geológicas-geotécnicas com base na cobertura dos seguintes elementos: cobertura territorial, escala de detalhe, caracterização do risco. Desta forma foram selecionados os Mapas de Suscetibilidade (i) e de Setorização de Risco (ii) da CPRM, e o mapeamento de Área de Risco (iii) da CODESAL, dadas as seguintes características:

- i) Mapa de Suscetibilidade: As **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações** indicam áreas suscetíveis a fenômenos e processos do meio físico cuja dinâmica pode gerar desastres naturais. Elaboradas em escala 1:25.000, para todo o território municipal, o mapa de

susceptibilidade pode ser considerado um instrumento básico para leitura de áreas sujeitas a risco de desastres no território municipal, por identificar, em aspectos gerais, os processos do meio físico, tais como movimentos gravitacionais de massa (deslizamentos; rastejos; quedas, tombamentos, deslocamentos e rolamentos de rochas; e corridas de massa) e de processos hidrológicos (inundações e enxurradas) (ver Cartas de Suscetibilidade a movimentos gravitacionais e inundações – 1:25.000. Nota Técnica Explicativa-CPRM. Brasília-Df, 2014).

- ii) **Setorização de Risco:** Conforme orientação da CPRM, a **Setorização de Áreas de Risco Geológico** corresponde a documentos cartográficos que representam as áreas sob situação de perigo, perda ou dano, ao homem e suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de processos geológicos, induzidos ou não. As áreas de risco geológico se restringem às regiões atualmente ocupadas e, portanto, são constituídas por uma ou mais edificações propensas a serem atingidas e danificadas por um dado evento geológico, seja ele natural ou induzido por ações humanas. Distintamente das cartas de susceptibilidade, a setorização de risco é feita em escala de detalhe (podendo chegar até 1:2.000 ou de maior detalhe), a partir da avaliação de áreas que apresentam potencial ou histórico de ocorrência de desastres.

- iii) **Mapeamento de Áreas de Risco:** O mapeamento das **Áreas de Risco**, segundo manual do Ministério das Cidades (ver: Mapeamento de riscos em Encostas e Margens de Rios. Ministério das Cidades e Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT. Brasília, 2007), é voltado para a identificação dos riscos, objetivando reconhecer mais detalhadamente o cenário presente em um determinado espaço físico com ocupação urbana, de acordo com os diferentes tipos de processos previamente reconhecidos. O mapeamento destas áreas envolve as seguintes etapas: Zoneamento ou setorização das áreas; quantificação relativa ou absoluta do risco; Cadastramento de risco; Carta de risco; Hierarquização de risco e Avaliação de possíveis cenários de acidentes.

A estrutura de indicadores do Subíndice de Exposição encontra-se descrita a partir destes indicadores, cuja estrutura encontra-se detalhada no QUADRO 1,

Quadro 1. Descrição e peso dos Indicadores

Indicador	Descrição	Classe	Nota	Peso	
i. Pluviosidade acumulada* (CEMADEN - INMET/INFRAERO)	Área com média de dias de chuva forte por ano. (> 50mm/dia)	< 3,2	0,5	1	
		3,3 - 3,8	1		
		3,9 - 4,4	2		
		4,5 - 5,2	3		
		5,3 >	3,5		
ii. Pluviosidade Média (CEMADEN - INMET/INFRAERO)	Média de chuva nos meses de pluviosidade crítica à ocorrência de desastres naturais. (mm)	< 708	0,5	1	
		709 - 780	1		
		781 - 865	2		
		866 - 977	3		
		978 >	3,5		
iii. Suscetibilidade (CPRM)	Área suscetível a ocorrência de movimento de massa	alta	3,5	1	
		média	2,5		
		baixa	1		
	Área suscetível a ocorrência de inundações e alagamentos	alta	1,5		1
		média	1		
iv. Setorização de risco (CPRM)	Área de risco de inundações e movimento de massa	baixa	0,5	2	
		muito alta	7		
		alta	3		
		muito alta	1,5		
		Área de risco de inundação	alta		1
iv. Área de Risco (CODESAL)	Área de risco de inundações e movimento de massa	média	0,5	3	
		muito alta	4		
		alta	2		
		média	1		
		v. Inundações Marítimas (curvas de níveis CPRM)**	Área sujeita inundações e influência marítima		< 1 m
1,1 - 2 m	3				
2,1 - 3 m	2				
3,1 - 5 m	1				

Fonte: Adaptado de Chang e Freitas, 2015*; CIESIN, 2012**

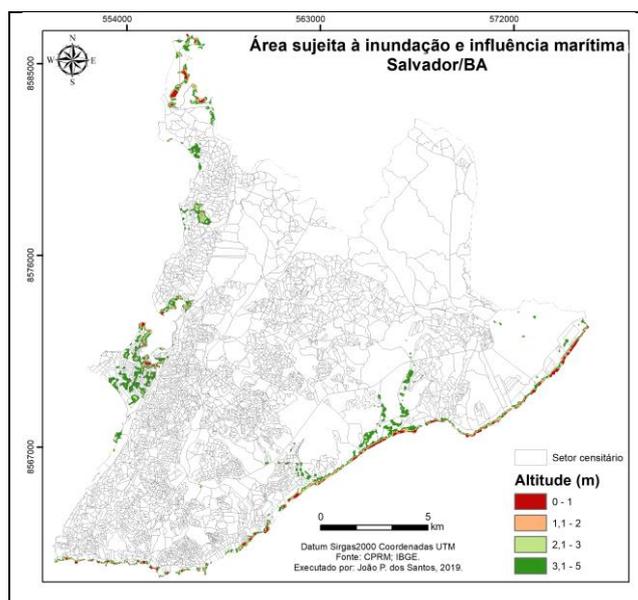
Procedimentos metodológicos e caracterização do território

Para obter o Índice de Exposição foram utilizadas ferramentas e procedimentos inseridos no Sistema de Informação Geográfica (SIG). Para obtenção do mapa de exposição foi utilizada a álgebra de mapas, que é uma técnica de superposição de mapas, sendo que o produto obtido é oriundo de um cálculo realizado entre diferentes camadas atribuindo os pesos e notas de cada atributo.

Para tanto, foi utilizado o programa ArcGis 10.4.1 para executar as seguintes etapas:

- i) **Influência Marítima:** Geração do modelo digital de elevação (MDE) com imagens SRTM, que possui 30m de resolução espacial, para classificar as áreas sujeitas à inundação e influência marítima (adaptação de metodologia CIESIN-2012). Assim, foram consideradas as altitudes menores que 5m (FIGURA 1);

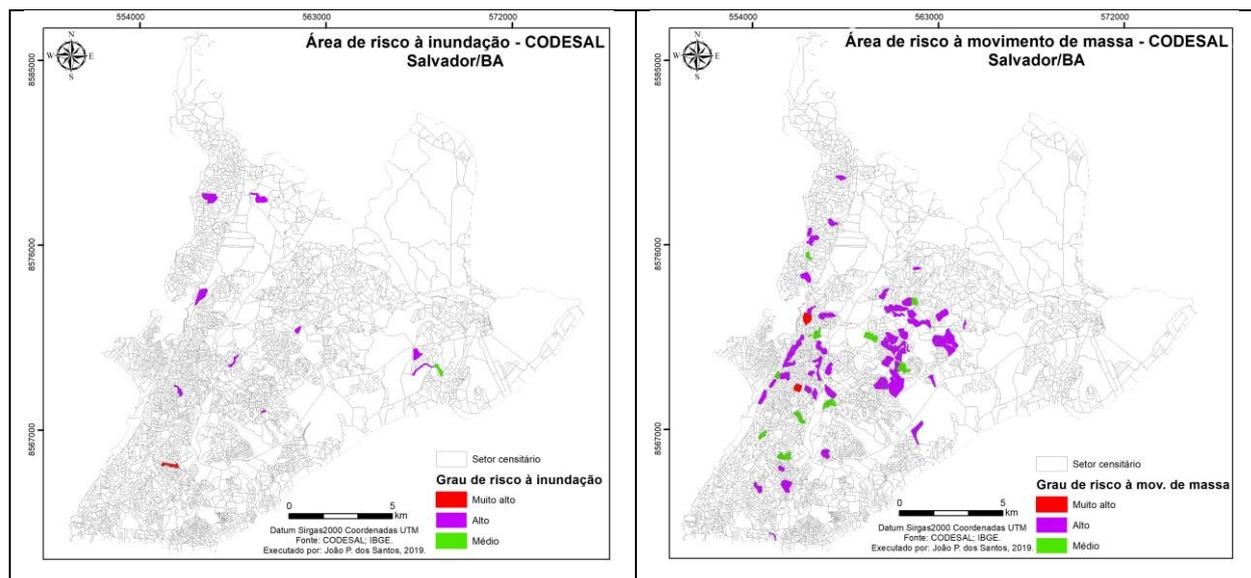
Figura 1. Influência Marítima



- ii) **Área de Risco:** para análise e categorização das áreas de riscos foram analisadas e classificadas peças de cartografia geológico-geotécnica produzidas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Defesa Civil de Salvador (CODESAL). Assim, três procedimentos foram adotados:

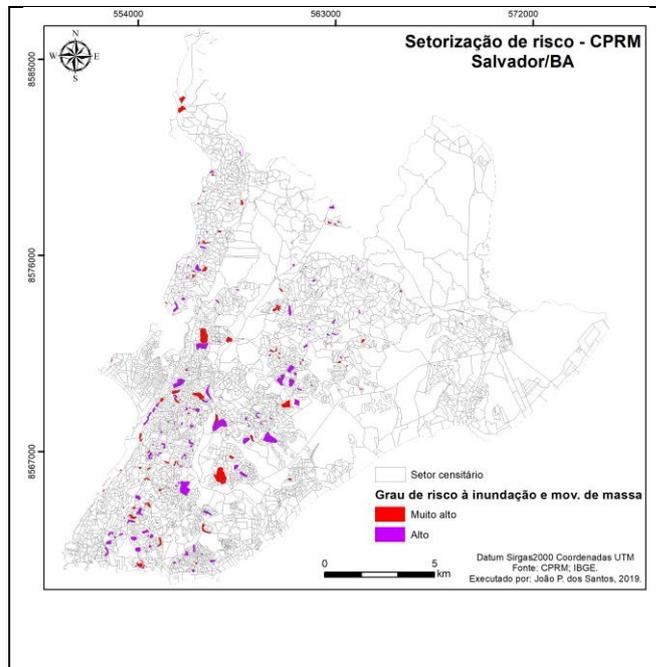
- Reclassificação das áreas de riscos a alagamento e deslizamento obtidas junto à CODESAL quanto ao grau (FIGURA 2)

Figura 2. Mapeamento de Área de Risco - CODESAL



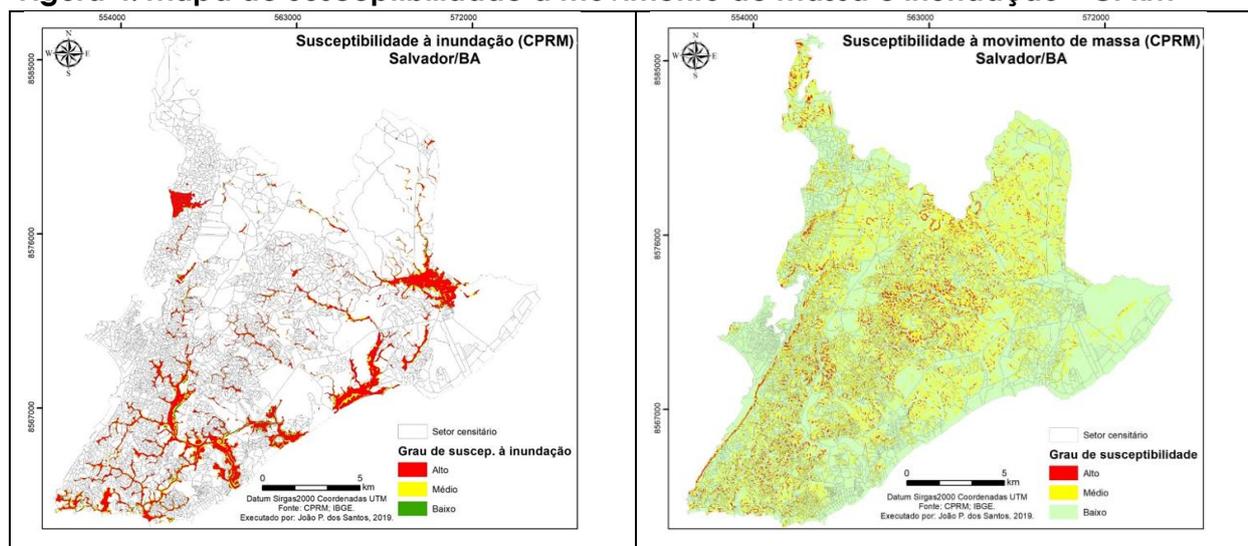
- Reclassificação da setorização de riscos a alagamento e deslizamento da CPRM (FIGURA 3);

Figura 3. Setorização de Risco - CPRM



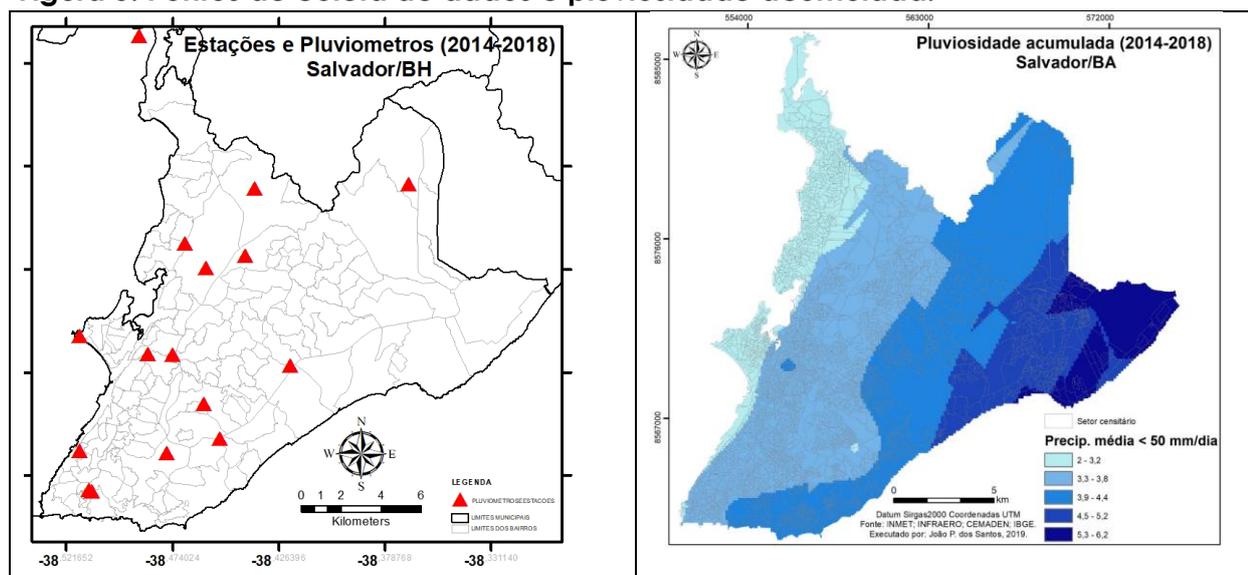
- Reclassificação das áreas susceptíveis à inundação e movimento de massa da CPRM (Figura 4);

Figura 4. Mapa de Susceptibilidade a movimento de massa e inundação - CPRM



- iii) Caracterização pluviométrica: Interpolação da pluviosidade média anual e a pluviosidade acumulada (ver FIGURA 1) obtidas dos pluviômetros (CEMADEN) e das estações meteorológicas automáticas (INMET e INFRAERO) presentes na cidade de Salvador, para o mesmo período do recorte temporal. Para a interpolação foi utilizado o método Krigagem ordinária com o semivariograma esférico, como recomenda Viola et al. (2010) para estudos como esse. Foram sistematizados dados das Estações Ondina e Aeroporto de Salvador e dos pluviômetros: BATRE-São Cristovão; BNA-Paripe; Caminho das Árvores; Federação; EBASA-Águas Claras; EMBASA-Alto peru; EMBASA-Cabula; EMBASA- Alto do Pituaçu; EMBASA Brotas; EMBASA- Gomeia; EMBASA-Pirajá; EMBASA- Rio Sena; EMBASA- Valéria; MAS-Dois de Julho; Monte Serrat, Rua Prof. Aristides Novis (Ver FIGURA 5).

Figura 5. Pontos de coleta de dados e pluviosidade acumulada.



- iv) Os indicadores foram reclassificados em categorias de impacto para execução da álgebra de mapas conforme as notas e os pesos (Quadro 2). Para este quadro adotou-se a prática de maior peso para os indicadores de mapeamento de risco, e nestes, consequentemente, para as cartografias de maior precisão quanto a risco efetivo;
- v) A partir do mapa de exposição gerado na álgebra de mapas, os valores foram igualmente divididos entre muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto quanto ao grau de exposição e essa informação foi incluída na camada "setor censitário". Assim, cada setor censitário foi classificado conforme o grau de exposição mais alto que o intersecciona, gerando assim o Subíndice de Exposição.

3.2 Subíndice de Sensibilidade

Estrutura do índice

A estruturação do subíndice de sensibilidade busca aferir a sensibilidade dos indivíduos em função de suas características sociais, demográficas e da infraestrutura residencial e urbana. Com o foco direcionado para a sensibilidade aos desastres hidrogeológicos, movimento de massa e inundações, os indicadores foram selecionados de modo a capturar esta sensibilidade específica.

Desta forma o subíndice de sensibilidade se estrutura em dois eixos de indicadores compostos: **i) Indicador de Infraestrutura Urbana;** **ii) Indicador Socioeconômico e Demográfico.**

Os índices compostos do Subíndice de Sensibilidade foram aferidos e padronizados para cada um dos 3592 (três mil quinhentos e noventa e dois) setores censitários, a partir de dados e da base cartográfica do IBGE (2010). Para que este índice composto se relacione com os demais componentes do cálculo do Subíndice de Sensibilidade, os valores de seus componentes foram padronizados pela tabela a seguir, com variação de 0,00 a 1,00:

Concentração	Valores
< 20%	até 0,2
de 21% a 40%	de 0,21 a 0,4
de 41 a 60%	de 0,41 a 0,6
de 61% a 80%	de 0,61 a 0,8
> de 80%	de 81 a 1,00

Desta forma, por exemplo, se determinado indicar apresenta 60% de concentração no setor censitário em análise, sua pontuação será de 0,6 do valor total caso a concentração fosse de 100% do setor.

Com este arranjo de composição de indicadores, o subíndice busca superar uma parcela dos desafios à adaptação à mudança do clima que reside no entendimento da sensibilidade dos sistemas sociais de cada parcela do território municipal e a sensibilidade a um tipo de ameaça específica, dados que um mesmo sistema social reage de forma distinta a distintas ameaças.

Em especial, este desafio pode ser representado pela fragilidade das metodologias de identificação das vulnerabilidades em medir o amplo espectro da sensibilidade social que se expressa em termos da pessoa, de seu domicílio e da localidade do domicílio, bem como quanto à ameaça específica. Diante deste desafio, estrutura-se um Subíndice de Sensibilidade que analisa e pondera uma série de variáveis de informações sobre aspectos socioeconômicos, demográficos e do ambiente urbano que qualificam a população e o território de Salvador quanto a sua sensibilidade climática, em especial tendo em vista o recorde dado para a questão da adaptação à mudança do clima com foco nos desastres de movimento de massa e desastres hidrológicos (ver QUADRO 4).

Quadro 4. Descrição e peso dos Indicadores

Indicador	Descrição	Peso
i. Atendimento por Rede de Esgoto	Proporção de pessoas residentes atendidas por sistemas de esgotamento sanitário	0,1
ii. Atendimento por Rede de Abastecimento de água	Proporção de pessoas residentes atendidas por sistemas de esgotamento sanitário	0,1
iii. Densidade Habitacional	Número médio de habitantes por domicílio	0,1
iv. Faixas etárias de maior sensibilidade	Proporção de idosos e crianças residentes no setor censitário	0,2
v. Domicílios precários	Proporção de domicílios no setor censitários que enquadram nas categorias de moradia semiadequada e inadequada do Censo 2010	0,1 0,1
vi. Domicílio de baixa renda	Proporção de domicílios no setor censitário que integram as classes D e E, com renda de até 2 SM.	0,2
vii. Idosos responsáveis pelo domicílio	Proporção de idosos responsáveis por domicílio no setor censitário	0,1

3.3 Subíndice de Capacidade Adaptativa

Para a construção do subíndice de capacidade adaptativa a análise se estrutura em indicadores que buscam captar aspectos da capacidade da população residente na cidade de Salvador, desagregada em setores censitários, em se adaptar aos impactos derivados da mudança do clima, especificamente se adaptar às chuvas críticas e frequências de chuva que caracterizam a deflagração de desastres de movimento de massa e desastres hidrológicos.

O subíndice de capacidade adaptativa adota indicadores alimentados pelos resultados do Censo 2010 (IBGE, 2010), a saber: Tipologia habitacional, renda e faixa etária da população residente. A composição do Subíndice de Capacidade Adaptativa encontra-se descrita no Quadro 5. Neste quadro também temos o detalhamento de cada indicador bem como seu respectivo peso.

Quadro 5. Descrição e peso dos Indicadores

Indicador	Descrição	Peso
iv. Tipologia Habitacional.	Proporção de domicílios enquadrados na tipologia apartamento.	0,45
v. Renda nominal Média do domicílio	Proporção de domicílios pertencentes à classe A e B.	0,35
vi. População Adulta	Proporção de população adulta (> de 18 anos e < de 65) residente do setor censitário	0,20

3.4 Índice de Vulnerabilidade

A etapa seguinte à aferição dos subíndices de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa será a ponderação dos mesmos a partir da equação ajustada (adaptado de MMA 2017), na qual a capacidade adaptativa foi limitada em 20% (dada existência de dúvidas sobre efetiva capacidade de se adaptar as ameaças e impactos derivados que são alvo desta análise):

$$ISMV = \left(\frac{(SE \times 3,5) + (SS \times 1,5)}{5} \right) \times \left(0,2 - \frac{(1 - SCA)}{2} \right)$$

Seguindo o mesmo modelo dos subíndices, o índice de vulnerabilidade será dividido em 5 classes (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta), a partir do intervalo 0,00 a 1,00, para o qual, quanto mais próximo ao índice um, maior será a vulnerabilidade.

O entendimento sobre a distribuição e concentração das ocorrências de alta e muito alta vulnerabilidade no território foram realizadas a partir da aplicação de ferramentas de geoestatística, análise de conformação de *Clusters* e *Hotspots*. As ferramentas de análise espacial são superiores a simples identificação visual em mapas para analisar a distribuição e concentração espacial de dados disponíveis para caracterização de um fenômeno em uma área, testando hipóteses sobre o padrão observado quanto a aleatoriedade, a aglomeração e a regularidade da sua distribuição. Distintamente das técnicas tradicionais de análise estatística, as ferramentas e instrumentais de estatística espacial envolvem na análise variáveis espaciais, como: distância, área, orientação (ver SCOTT e GETIS, 2008)

A ferramenta *Hot Spot Analysis* e *MORAN (Clusters)* disponível no software ArcMap 10.4 funciona num contexto de análise da relação de vizinhança, o que permite verificar se a ocorrência de alta vulnerabilidade nos setores censitários apresenta agrupamento com significados estatístico. Para estes testes de hipóteses da relação entre vizinhança serão testadas distâncias de 250, 500 e 1000 metros (Fixed Band).

4. RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados da ponderação dos indicadores e indicadores compostos que integram os Subíndices de Exposição,

Sensibilidade e Capacidade Adaptativa, e conformam o Índice de Vulnerabilidade no território do Município de Salvador. A partir da conformação do Índice de Vulnerabilidade serão realizados dois testes geoestatístico (*Hotspot* e *Clusters*) para compreender o comportamento da distribuição territorial da vulnerabilidade, e possibilitar o planejamento de ações de adaptação aos desastres hidrogeológicos.

Os Subíndices de Exposição, Sensibilidade e Capacidade Adaptativa, bem como o Índice de Vulnerabilidade, serão estruturados a partir de 5 classes, variando de 0,00 a 1,00 (ver QUADRO 6). Para efeito da análise interessa entender a distribuição ou ocorrência de índices de alta e muita alta exposição no território de Salvador, com exceção do Subíndice de Capacidade Adaptativa para qual o indicador funciona oposto aos demais e o destaque deve ser dado para as parcelas territoriais de menor valor, ou de muita baixa ou baixa capacidade adaptativa.

Quadro 6. Classe e valores dos indicadores

Classe	Valores
Muito Baixa	< 0,2
Baixa	0,21 – 0,4
Média	0,41 – 0,6
Alta	0,61 – 0,8
Muito Alta	0,81 >

A Figura 6 apresenta a conformação do Subíndice de Exposição, resultado da ponderação de indicadores que compõem o índice. Com o foco voltado para a identificação de ocorrências de alta e muito alta exposição no território, verifica-se a dispersão acentuada de tais tipos de ocorrência na região central e eixo nordeste-sudoeste (concentrado principalmente nos eixos das prefeituras-bairros de Cabula, Tancredo Neves e Pau da Lima e Liberdade-São Caetano) e ao longo do litoral norte da Baía de todos os Santos (prefeitura-bairro de Subúrbio). Paralelamente, não se verifica significativa ocorrência de alta e muito alta exposição ao longo da orla atlântica e parcela norte do território que faz divisa com o município Lauro de Freitas, conformando assim como áreas de menor exposição as unidades territoriais das prefeituras-bairros de Barra-Pituba e Itapuã- Ipitanga.

Embora seja verificada dispersão de ocorrências para os valores de alta e muito alta exposição, tal conformação da distribuição territorial seguem certa proximidade em termos de distribuição territorial quando comparadas às áreas de risco mapeadas

pela CODESAL (Ver FIGURA 2), se posicionando principalmente a oeste da Falha do Iguatemi (ver FIGURA 7).

Tal tipo de concentração de ocorrências podem encontrar respaldo também nos estudos realizados por Santos (2014) e Barbosa et al., (2005); Cruz (2005), apud Santos (2014), que destacam as seguintes características e fragilidades geomorfológicas em Salvador: (i) no Alto de Salvador a presença de uma grande diversidade de litotipos metamórficos de alto e médio grau. (ii) a Parte oeste do Alto Salvador, caracterizada por terrenos que possuem um relevo mais acidentado, onde a altitude média é superior a 60 metros, ocorrem granulitos; (iii) Na parte leste, onde o relevo é mais baixo, com altitudes inferiores a 30 metros, são encontradas rochas da fácies anfíbolito; (iv) A Formação Barreiras “compõe-se de sedimentos areno-argilosos que se acumulam na forma de tabuleiros sobre o embasamento cristalino, geralmente em cotas superiores a 70 metros” (PREFEITURA MUNICIPAL DE SALVADOR, 2009, p. 34, apud SANTOS, 2014).

Figura 6. Subíndice de Exposição.

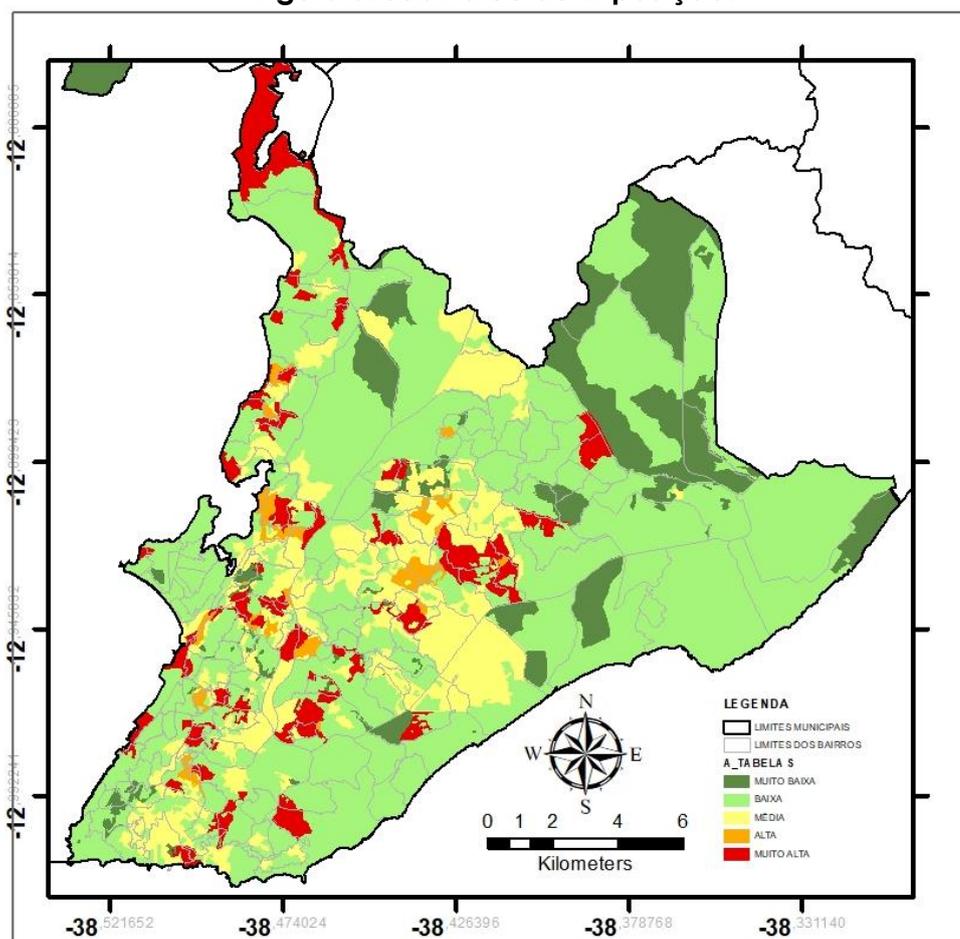
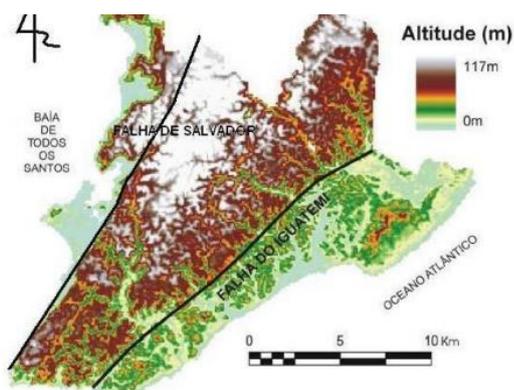


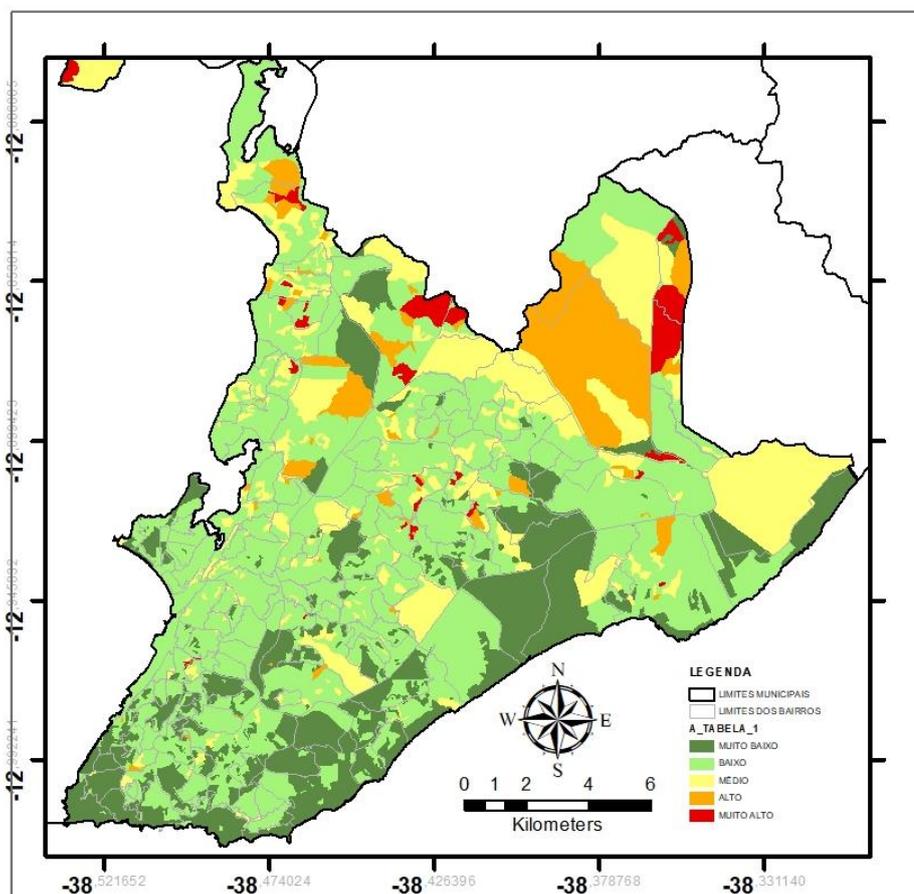
Figura 7. Altimetria do Município de Salvador



Fonte: Cruz (2005 apud SANTOS, 2014, p. 38)

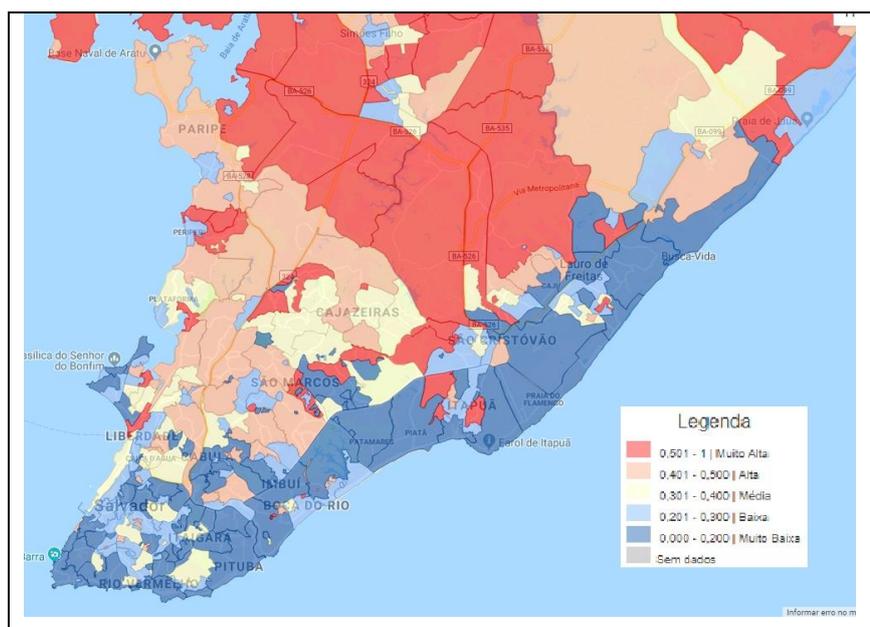
Em relação ao subíndice de Sensibilidade verifica-se uma concentração de valores de média, alta e muito alta sensibilidade na porção norte do território, ao longo da área que faz divisa com os municípios de Lauro de Freitas e Simões Filho (ver FIGURA 8). Em oposição, os territórios de menor sensibilidade se concentram nas prefeituras-bairros de Barra-Pituba e Itapuã- Ipitanga.

Figura 8. Subíndice de Sensibilidade.



Tal distribuição está em acordo com a configuração urbana do município de Salvador, no qual vemos a concentração da população de maior renda na orla atlântica e região sul do município. Tais regiões também apresentam os melhores resultados quanto à indicadores de atendimento por serviços de infraestrutura urbana (ver FIGURA 9, IVS-IPEA, 2015).

FIGURA 9. Índice de Vulnerabilidade Social — Infraestrutura Urbana.



Fonte: Adaptado a partir de IVS (IPEA-2015)

A Figura 10 apresenta o resultado para o Subíndice de Capacidade Adaptativa. Como explanado, o desenho do subíndice buscou fugir de modelos genéricos e busca identificar a distribuição territorial de parcela da população mais resiliente à especificidade de eventuais impactos derivados de desastres de movimento de massa e inundações. Para isto foram elencados indicadores de tipologia habitacional, de faixa etária e nível de renda. Com este arranjo identificou-se a área da prefeitura-bairro de Barra-Pituba como de muito alta, alta e média capacidade adaptativa, se distinguindo por consequência do restante do território municipal onde praticamente temos a ocorrência de um território homogêneo de baixa e muito baixa capacidade adaptativa.

A partir da ponderação entre os Subíndices de Exposição, de Sensibilidade e Capacidade Adaptativa constrói-se o Índice de Vulnerabilidade (ver FIGURA 11). Para efeito da identificação das parcelas territoriais mais vulneráveis, interessa ao estudo a identificação dos setores censitários de alta e muito alta vulnerabilidade. Com este

objetivo é possível caracterizar a área central da Falha do Iguatemi (ver FIGURA 7) e a área litorânea norte da Baía de Todos os Santos como de alta e muito alta vulnerabilidade.

Para fins de facilitar o entendimento da localização destas áreas de alta e muita alta vulnerabilidade, o estudo efetivou o cruzamento destas áreas com os limites territoriais dos bairros de Salvador, desta forma vemos no ANEXO I a descrição dos bairros de Salvador por nível de alta e muito alta exposição.

Figura 10. Subíndice de Capacidade Adaptativa.

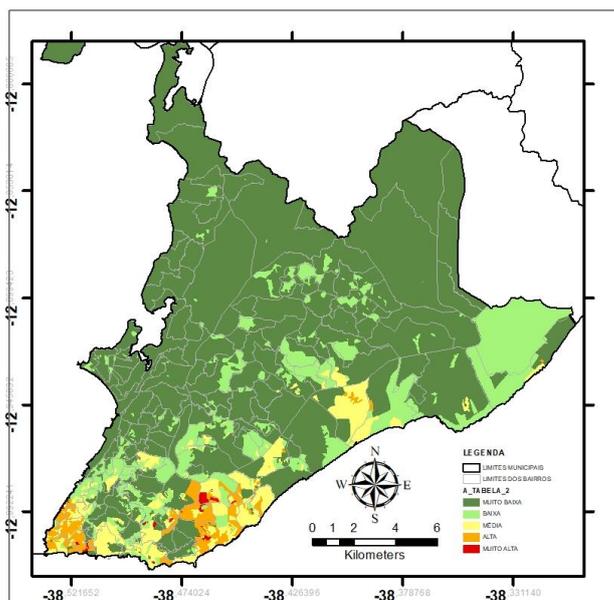
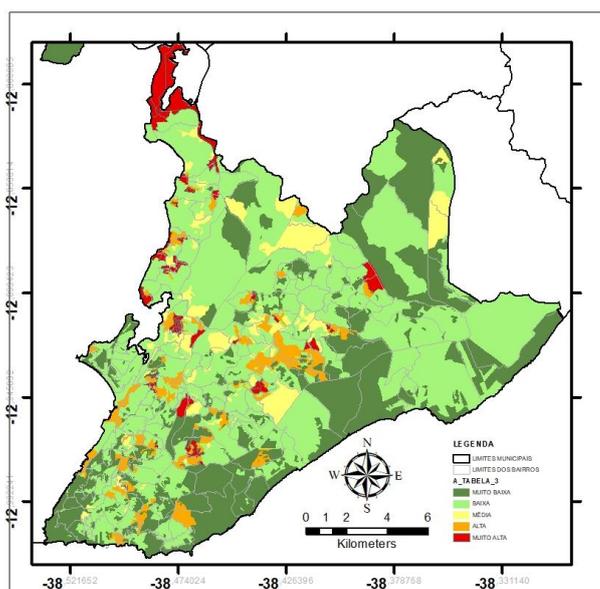


Figura 11. Índice de Vulnerabilidade



de maior grau de exposição encontrada no território, independente do percentual da área de vulnerabilidade.

Tanto pela análise da distribuição da vulnerabilidade por setores censitários quanto por bairros de Salvador verifica-se a dispersão deste fenômeno no território, fato que dificulta a perspectiva do estudo em subsidiar a adoção de estratégias de planejamento de ações ou de políticas públicas para promoção de medidas de adaptação ou de prevenção de riscos de desastres naturais.

As análises de *Hotspots* e *Clusters*, executadas a partir de teste de relação de vizinhança e 1000m, 500m e 250m para as análises de *Hotspots* (FIGURA 12) e 1000m e 500m para as análises de *Clusters* (FIGURA 13).

Figura 12. Análise de Hotspots de Vulnerabilidade

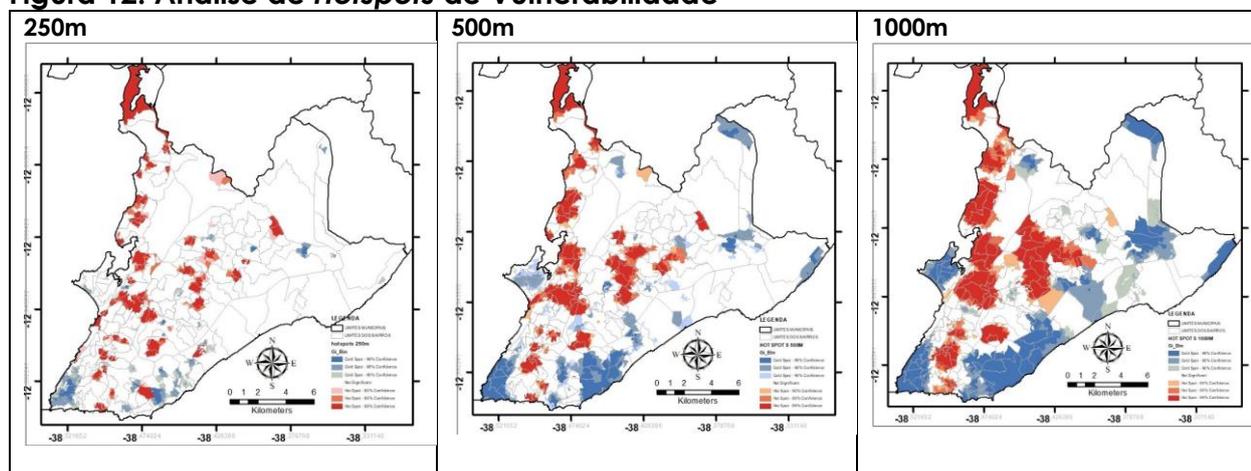
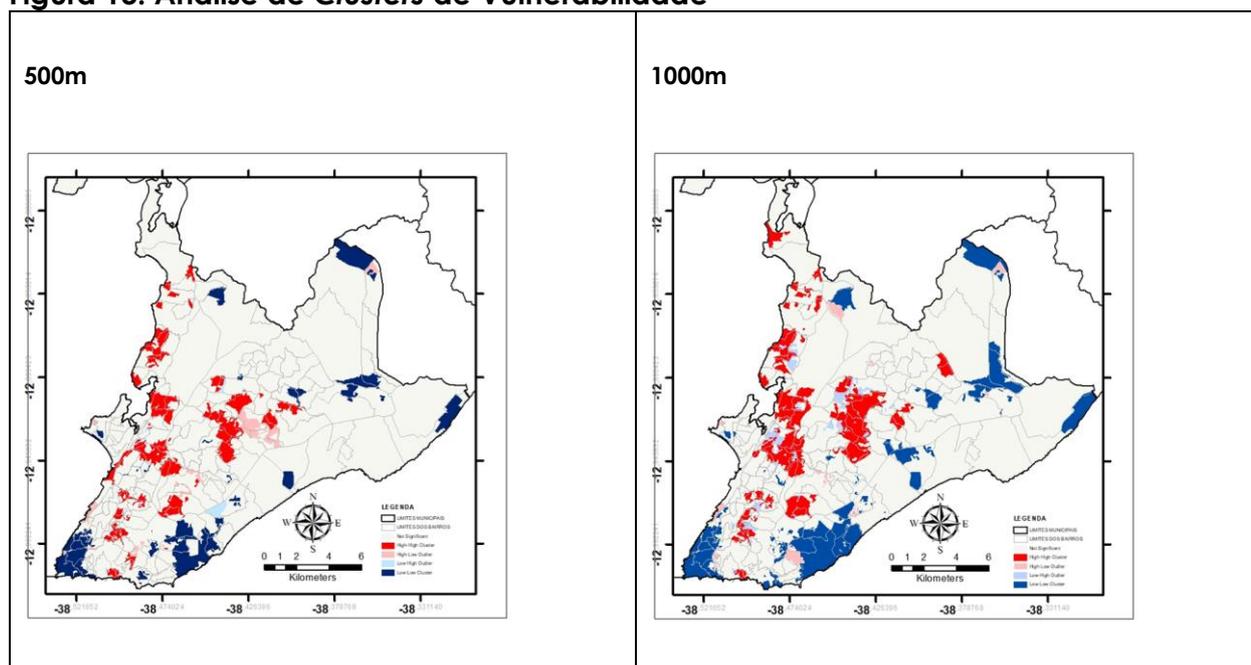


Figura 13. Análise de Clusters de Vulnerabilidade



Tanto para as análises de *Hotspots* quanto para as análises de formação de *Clusters*, os testes com distância fixa de 1000m, para a relação de vizinhança, permitem a priorização de territórios vulneráveis estratégicos para a conformação de ações de adaptação ou de prevenção de riscos de desastres naturais. As análises identificam um conjunto de aglomerados de bairros que seriam prioritários para intervenções de adaptação: i) Grupamento formado pelos bairros de Novo Horizonte, São Caetano, Águas Claras, Pau da Lima e vizinhança; ii) Grupamento formado pelos bairros de Fazenda Grande do Retiro, Arraial do Retiro, Lobato, alto do Cabrito e vizinhança; iii) Grupamento formado pelos bairros de Alto da Terezinha, Plataforma, Periperi, Itacaranha e vizinhança; iv) Grupamento formado pelos bairros de Coutos, Fazenda de Coutos, São Tomé e vizinhança.

5. ANEXO 1

Bairros com Alta e Muito Alta Vulnerabilidade

BAIRRO	VULNERABILIDADE	BAIRRO	VULNERABILIDADE
Baixa de Quintas	Alta	Alto da Terezinha	Muito alta
Beiru/Trancredo Neves	Alta	Alto do Cabrito	Muito alta
Bom Juá	Alta	Boa Vista de Brotas	Muito alta
Brotas	Alta	Boca da Mata	Muito alta
Cabula	Alta	Cajazeiras VII	Muito Alta
Cidade Alta	Alta	Campinas de Pirajá	Muito alta
Comércio	Alta	Canabrava	Muito alta
Dom Avelar	Alta	Castelo Branco	Muito Alta
Engenho Velho de Brotas	Alta	Coutos	Muito alta
Imbuí	Alta	Fazenda Grande II	Muito alta
Itaigara	Alta	Fazenda Grande Retiro	Muito alta
Lapinha	Alta	Itacaranha	Muito alta
Liberdade	Alta	Jardim Cajazeira	Muito alta
Lobato	Alta	Nova Brasslia	Muito alta
Matatu	Alta	Nova Constituinte	Muito alta
Monte Serrat	Alta	Novo Horizonte	Muito Alta
Ondina	Alta	Paripe	Muito alta
Palestina	Alta	Periperi	Muito alta
Pau da Lima	Alta	Pernambués	Muito alta
Pau Lima	Alta	Plataforma	Muito alta
Pituba	Alta	Praia grande	Muito alta
Rio Vermelho	Alta	Retiro	Muito alta
Santo Agostinho	Alta	São Caetano	Muito Alta
São Marcos	Alta	São Gonçalo	Muito alta
São Rafael	Alta	São Tomé	Muito alta
Saramandaia	Alta		
Sussuarana	Alta		
Vale dos Lagos	Alta		
Vila Canbria	Alta		

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MARENGO, J. A *et.alii*. **Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system**. Int. J. Climatol, 2009. Disponível em www.interscience.wiley.com. Acesso em: 15 de Nov. 2018.

RIFFEL, E.S et al. **Desastres associados a movimentos de massa: uma revisão de Literatura**. Geogr. (Online). Goiânia, v. 36, n. 2, p. 285-101, mai./jul. 2016.

UNISDR, 2014. **Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Revealing Risk, Redefining**. Disponível em: <http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2014/en/home/index.html>. Acesso em: 15 fev. 2019

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). **Censo Demográfico**. recuperado de:<<http://cidades.ibge.gov.br/painel/populacao.php?codmun=330340>>.

MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2018. **Manual Técnico para redução de Riscos de Desastres Plicado ao Planejamento Urbano**.

Druck, S.; Carvalho, M.S.; Câmara, G.; Monteiro, A.V.M. (eds) "**Análise Espacial de Dados Geográficos**". Brasília, EMBRAPA, 2004. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br>. Acesso em 17/02/2019.

RIBAS, U.; LANGA, R. **Implementation of school catchments network for water resources management of the Upper Negro River region, southern Brazil**. From Headwaters to the Ocean: Hydrological Change and Watershed Management. London: Taylor & Francis Group, p. 151-157, 2009.

MMA; MI; WWF-BRASIL. **Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto da mudança do clima**. Brasília, DF: MMA, 2017.

NOBRE, C.A. **Estudo 1- Vulnerabilidade, Impactos e Adaptação à Mudança do Clima Estudo Consolidado**. CPTEC/INPE. Disponível em <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/mc20_1254.pdf/da525b60-5e3b-4c12-8939-3d1e11d0ff90?version=1.0>. Visitado em 10/12/2018.

PBMC. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.

SANTOS, D. A.C. **Análise espaço-temporal das ocorrências de deslizamento de terras registradas entre jan/2009 a dez/2013 na área do “miolo” da cidade de Salvador – Bahia**. Salvador, 2014

SCOTT, L.; GETIS, A. Spatial statistics. In: KEMP, K. (Ed.) **Encyclopedia of geographic informations**. Sage, Thousand Oaks, CA. 2008.

