



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC
ENGENHARIA CIVIL

Giovanna Salomon de Andrade Souza

ANÁLISE DOS RISCOS GEO-HIDROLÓGICOS NO ESTADO DE ALAGOAS

Maceió-AL
2024



Giovanna Salomon de Andrade Souza

ANÁLISE DOS RISCOS GEO-HIDROLÓGICOS NO ESTADO DE ALAGOAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia
Civil, do Centro de Tecnologia da
Universidade Federal de Alagoas, como
requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Dr. Manoel
Mariano Neto da Silva

Maceió-AL

2024

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Jone Sidney A. de Oliveira – CRB-4 – 1485

S729a Souza, Giovanna Salomon de Andrade.

Análise dos riscos geo-hidrológicos no estado de Alagoas / Giovanna Salomon de Andrade Souza. – 2024.

37 f. : il.

Orientador: Manoel Mariano Neto da Silva.

Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil) –Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2024.

Bibliografia. f. 33-37.

1. Mudanças Climáticas,. 2. Eventos Climáticos Extremos. 3. Indicadores Ambientais. 4. Desastres Naturais - Gestão de Riscos, I. Título.

CDU: 551.5:556.3

Folha de Aprovação

ANÁLISE DOS RISCOS GEO-HIDROLÓGICOS NO ESTADO DE ALAGOAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Professor Dr. Manoel Mariano Neto da Silva

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 MANOEL MARIANO NETO DA SILVA
Data: 03/12/2024 19:27:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador: Professor Dr. Manoel Mariano Neto da Silva
(Universidade Federal de Alagoas)

Documento assinado digitalmente
 WESLEY DOUGLAS OLIVEIRA SILVA
Data: 03/12/2024 21:51:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador Interno: Professor Dr. Wesley Douglas Oliveira Silva
(Universidade Federal de Alagoas)

Documento assinado digitalmente
 EDUARDO LUCENA CAVALCANTE DE AMORIM
Data: 05/12/2024 09:56:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador Interno: Professor Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim
(Universidade Federal de Alagoas)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha mais profunda gratidão, primeiramente, aos meus pais, por todo o investimento em minha educação desde a infância e por me oferecerem todo o suporte ao longo desses seis anos de curso. Espero, de coração, retribuir tudo o que fizeram por mim.

Agradeço também aos amigos que me acompanharam no início da graduação, Arthur, Gabriela, Pedro, Tiago e Yuri; vocês foram fundamentais para que eu chegasse até aqui, e nossas caronas serão sempre lembradas com carinho. Aos amigos do final do curso e sobreviventes nessa jornada, Eduardo, Nicolas, Tiago e Wydem, deixo meu sincero "obrigada" pelos ensinamentos, pela paciência e por todas as risadas compartilhadas durante os trabalhos em grupo, os almoços no Bira, os lanches no COS e tantos momentos inesquecíveis.

Não posso deixar de agradecer ao meu orientador, Profº Manoel Mariano, que apareceu em minha vida já no final do curso, compreendendo minhas necessidades e me oferecendo todo o apoio necessário para o desenvolvimento deste trabalho. Suas contribuições foram essenciais para que este TCC se tornasse realidade.

Aos professores, servidores e colegas de curso, minha gratidão pelo compartilhamento de conhecimento e pelas experiências que tornaram essa caminhada mais rica e colaborativa. E, por fim, mas com igual importância, minha eterna gratidão a Deus, por me conceder o dom da vida, saúde para mim e minha família, e por me guiar com força e sabedoria. Dedico este trabalho a todos que acreditaram no meu potencial e me inspiraram a seguir em frente. Muito obrigado(a)!

RESUMO

Os eventos climáticos extremos, decorrentes das variações do clima, afetam significativamente vidas humanas e os recursos ambientais. Esses eventos caracterizam-se por alagamentos, enxurradas, inundações e movimentos de massa, que condicionam fatores de risco para o ambiente e população. Dessa maneira, indicadores de vulnerabilidade, exposição e perigo, devem ser levantados para identificar a suscetibilidade a um desastre. Portanto, o estudo teve como objetivo geral caracterizar o estado de Alagoas quanto à susceptibilidade aos riscos geo-hidrológicos, e estruturar um novo indicador para riscos geo-hidrológicos combinados. Para tanto, a pesquisa bibliográfica abordou os eventos climáticos geológicos e hidrológicos, destacando suas causas, consequências, os impactos socioeconômicos, os índices e indicadores ambientais, e suas aplicações na avaliação e gestão dos riscos de desastres. Quanto à análise dos riscos hidrológicos e geológicos, foram utilizados os dados fornecidos pelo Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças do Clima. Constatou-se que a distribuição espacial do risco de desastres hidrológicos e geológicos, é justificada principalmente pela ocorrência de chuvas intensas e que a suscetibilidade aos desastres é potencializada por fatores antrópicos e geomorfológicos. O trabalho permitiu identificar os municípios mais propensos aos eventos geo-hidrológicos simultâneos em Alagoas e levantou indícios das principais motivações desses fenômenos. Ressalta-se a necessidade de atenção aos municípios Barra de Santo Antônio, Olho D'águas das Flores, Santana do Ipanema, Campo Alegre, São Luís do Quitunde, Murici e Flexeiras, visto que se encontram em situação crítica quanto aos riscos geo-hidrológicos combinados. Além dessas localidades, merecem destaque com relação ao risco geológico Satuba, Pilar, Delmiro Gouveia e Passo de Camaragibe e, tendo em vista os riscos hidrológicos, Messias, Teotônio Vilela e Novo Lino. Aponta-se a necessidade do correto planejamento do uso do solo; ampliação do monitoramento dos fenômenos extremos; maiores investimentos na gestão de riscos e desastres, infraestrutura e programas sociais.

Palavras-chave: mudanças climáticas, eventos climáticos extremos, indicadores ambientais, gestão de riscos, desastres naturais.

ABSTRACT

Extreme weather events resulting from climate variations significantly impact human lives and environmental resources. These events include flooding, flash floods, inundations, and landslides, which present risk factors to both the environment and the population. Therefore, vulnerability, exposure, and hazard indicators must be identified to determine susceptibility to disasters. The study aimed to characterize the state of Alagoas regarding susceptibility to geo-hydrological risks and to develop a new combined geo-hydrological risk indicator. The bibliographic research addressed geological and hydrological climatic events, highlighting their causes, consequences, socioeconomic impacts, environmental indices, and indicators, along with their applications in disaster risk assessment and management. For analyzing hydrological and geological risks, data from the Climate Change Impact Information and Analysis System were used. The spatial distribution of hydrological and geological disaster risks was found to be primarily influenced by the occurrence of intense rainfall, with susceptibility to disasters being amplified by anthropogenic and geomorphological factors. The study identified the municipalities most prone to simultaneous geo-hydrological events in Alagoas and highlighted the primary drivers of these phenomena. Special attention is needed for the municipalities of Barra de Santo Antônio, Olho D'Água das Flores, Santana do Ipanema, Campo Alegre, São Luís do Quitunde, Murici, and Flexeiras, as they are in critical situations regarding combined geo-hydrological risks. Additionally, Satuba, Pilar, Delmiro Gouveia, and Passo de Camaragibe were noted for geological risks, while Messias, Teotônio Vilela, and Novo Lino were highlighted for hydrological risks. The study underscores the need for proper land use planning, enhanced monitoring of extreme events, increased investment in risk and disaster management, infrastructure, and social programs.

Keywords: climate change, extreme weather events, environmental indicators, risk management, natural disasters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Porcentagem de eventos de cheias por região entre os anos de 2020 a 2022.....	12
Figura 2: Registros de desastres hidrológicos mensal no estado de Alagoas, em 2022.....	13
Figura 3: Mapa de Alagoas - Brasil.....	17
Figura 4: Divisão regional do estado de Alagoas em mesorregiões.....	18
Figura 5: Divisão regional do estado de Alagoas em regiões intermediárias e regiões imediatas.....	19
Figura 6: Esquematização da metodologia.....	20
Figura 7: Classificação das áreas sujeitas à ocorrência de deslizamentos de terra.....	22
Figura 8: Percentual populacional por classe de risco, para fenômenos geológicos.....	23
Figura 9: Classificação das áreas sujeitas à ocorrência de inundações, enxurradas e alagamentos.....	25
Figura 10: Percentual populacional por classe de risco, para fenômenos hidrológicos.....	27
Figura 11: Classificação das áreas sujeitas à ocorrência de deslizamentos de terras, inundações, enxurradas e alagamentos.....	29
Figura 12: Percentual populacional por classe de risco, para fenômenos geo-hidrológicos..	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do índice.....	13
Tabela 2: Resumo da caracterização para fenômenos geológicos.....	23
Tabela 3: Resumo da caracterização para fenômenos hidrológicos.....	26
Tabela 4: Resumo da caracterização para fenômenos geo-hidrológicos.....	29
Tabela 5: Resumo pluviométrico do mês de Junho de 2023 em Alagoas.....	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Tipos de movimentação de massa.....	7
Quadro 2: Agentes e causas dos escorregamentos e processos correlatos.....	9
Quadro 3: Dependência dos índices utilizados pelo Adapta Brasil.....	15

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivo Geral.....	5
2.2. Objetivos Específicos.....	5
3. JUSTIFICATIVA.....	6
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	7
4.1. Eventos geológicos.....	7
4.2. Evento hidrológicos.....	11
4.3. Índices e indicadores ambientais.....	13
5. METODOLOGIA.....	17
5.1. Área de Estudo.....	17
5.2. Procedimentos Metodológicos.....	19
5.2.1. Pesquisa bibliográfica.....	19
5.2.2. Riscos geo-hidrológicos.....	20
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
6.1. Riscos Geológicos.....	22
6.2. Riscos Hidrológicos.....	25
6.3. Riscos Geo-hidrológicos.....	28
7. CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

As alterações climáticas são responsáveis por potencializar os danos ocasionados por eventos climáticos extremos (IPCC, 2014). Neste sentido, a ocorrência de inundações e deslizamentos de terra tem se intensificado de modo a comprometer as condições físicas e sociais, atingindo vidas humanas, propriedades, serviços e recursos ambientais (Carvalho, 2013).

A ocorrência desses desastres está condicionada aos eventos naturais, que atuam como fenômeno disparador. Por consequência, concretiza-se um fenômeno de exposição aos riscos existentes e, uma vez que a situação ambiental nas áreas em que ocorrem é alterada, cria-se novos cenários de exposição aos riscos (Freitas et al., 2014).

Dessa forma, é importante compreender o conceito de risco, definido como sendo a probabilidade de ocorrência de eventos ou tendências perigosas multiplicada por seus impactos (IPCC, 2014). Para Almeida (2014), o risco é um conceito abrangente, motivador e ambíguo, com diferentes dimensões e uma potencialidade especial para: caracterizar ocorrências incertas associadas a desvios relativos a situações de referência; justificar ações como variável de decisão face a potenciais ameaças; incentivar a proteção de pessoas e bens; e construir uma representação simbólica do mundo contemporâneo.

Durante muitos anos o termo risco foi utilizado como sinônimo de perigo, e, atualmente, muitas referências são feitas à palavra vulnerabilidade como se fosse a mesma coisa que risco. É importante ressaltar que se tratam de dois conceitos diferentes. A vulnerabilidade representa o aspecto físico, suscetibilidade ou predisposição econômica, política ou social de uma comunidade a danos (Cardona, 2004).

Com isso, para avaliar um risco, deve-se levar em conta o perigo, a exposição e a vulnerabilidade, no entanto, estes elementos são, muitas vezes, difíceis de quantificar e definir (UNDRR, 2022). Daí a necessidade de indicadores capazes de caracterizar o risco sob esses três pilares. Os indicadores, funcionam como um norte para cenários futuros, pois possibilitam a execução de ações preventivas (Santos, 2009)

Dessa maneira, essa pesquisa tem por finalidade caracterizar o estado de Alagoas quanto à suscetibilidade aos riscos geo-hidrológicos, através de índices e indicadores previamente disponibilizados pelo Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças do Clima. A plataforma de dados busca consolidar, integrar e disseminar informações para avançar na análise dos impactos da mudança climática no território nacional, oferecendo suporte às autoridades responsáveis pelas ações de adaptação (Adapta Brasil, 2020).

A delimitação da área de estudo foi determinada pela baixa disponibilidade de informações relacionadas aos riscos geo-hidrológicos e à variabilidade dos eventos climáticos, evidenciada por Marengo (2009). Além disso, o estado tem grande parte de sua população vivendo em condições de vulnerabilidade e seu Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) ocupa a 26ª posição no ranking dos estados brasileiros (IBGE, 2022).

A falta de políticas urbanas e a dinâmica de exclusão das populações mais pobres, faz com que a parcela mais carente da sociedade permaneça vulnerável aos perigos dos desastres (Spink 2014). Logo, controlar o risco por meio de ações de gestão, análise, avaliação, mitigação ou tratamento tornou-se indispensável para uma governança adequada (Almeida, 2014).

Portanto, o presente tem o objetivo de caracterizar o estado de Alagoas quanto à susceptibilidade aos riscos geo-hidrológicos. Dessa forma, poderá fornecer subsídios aos órgãos governamentais para a elaboração de estratégias eficazes de gestão de riscos e desastres, visando antecipar suas ações diante dos eventos climáticos extremos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Caracterizar o estado de Alagoas quanto à susceptibilidade aos riscos geo-hidrológicos, de maneira separada e combinada.

2.2. Objetivos Específicos

- Discutir as relações estabelecidas entre os riscos geo-hidrológicos e as mudanças do clima;
- Analisar o Estado de Alagoas a partir de índices que medem o risco de ocorrência de inundações, enxurradas, alagamentos e deslizamentos de terra, previamente disponibilizados pelo Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças do Clima;
- Estruturar um índice para riscos geo-hidrológicos combinados.

3. JUSTIFICATIVA

Diante da crescente exposição do estado de Alagoas aos riscos geo-hidrológicos, agravados pelas mudanças climáticas, o presente estudo busca suprir uma lacuna na caracterização da suscetibilidade regional a esses riscos. Utilizando-se de índices e indicadores disponibilizados pelo Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças do Clima (Adapta Brasil), o trabalho visa justificar, por meio da literatura e outros estudos, os cenários evidenciados pelos índices dessa plataforma.

Assim, na tentativa de tornar mais clara a compreensão dos cenários construídos pelos índices do Adapta Brasil, a pesquisa aponta motivações para a propensão dos municípios aos desastres geo-hidrológicos. Consequentemente, indica gargalos que podem e devem ser combatidos para mitigação da suscetibilidade a esses eventos. Ao avançar nesse contexto, identificam-se os municípios prioritários para a implementação de políticas públicas que visem não apenas à redução dos impactos de desastres, mas também à promoção da equidade social e à proteção das populações mais vulneráveis.

Dessa forma, o trabalho justifica-se pela baixa disponibilidade e divulgação de informações acerca dos riscos geo-hidrológicos, pela necessidade elucidá-los e por sua potencial contribuição na formulação de estratégias governamentais voltadas para a mitigação de riscos climáticos em Alagoas, apontando agravantes capazes de embasar a antecipação e o planejamento de respostas a eventos extremos.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Eventos geológicos

Os eventos climáticos extremos são entendidos como grandes desvios de um estado climático moderado e possuem alto potencial de geração de danos. Estes eventos são conhecidos por desencadear ou potencializar a ocorrência de desastres naturais, inundações e deslizamentos de terras, com graves impactos sobre as populações humanas e seus sistemas socioeconômicos (Marengo, 2009).

O movimento de massa, também denominado como deslizamento, escorregamento, ruptura de talude, queda de barreiras, entre outros, se refere aos movimentos de descida de solos e rochas sob o efeito da gravidade, geralmente potencializado pela ação da água (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN, 2016). Tendo em vista que são eventos adversos que causam grandes impactos na sociedade, as movimentações de massa são enquadradas como desastres naturais, segundo o Ministério de Desenvolvimento Regional (2012). De acordo com a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE, 2012), podem ser categorizadas conforme o Quadro 1.

Quadro 1: Tipos de movimentação de massa

Tipos	Subtipo	Definição
Quedas, tombamentos e rolamentos	Blocos	Quedas são movimentos em queda livre de fragmentos rochosos (de volumes variáveis) que se desprendem de taludes íngremes.
	Lascas	
	Matacões	Quando um bloco rochoso sofre um movimento de rotação frontal para fora do talude, o movimento de massa é classificado como Tombamento . Rolamentos são movimentos de blocos rochosos ao longo de encostas, que geralmente ocorrem devido aos descalçamentos.
	Lajes	

Quadro 1: Tipos de movimentação de massa

Tipos	Subtipo	Definição
Deslizamentos	Deslizamento de solo e/ou rocha	Movimentos de solo e rocha que ocorrem em superfícies de ruptura. Quando a superfície de ruptura é curvada no sentido superior (em forma de colher) com movimento rotatório em materiais superficiais homogêneos, o movimento de massa é classificado como Deslizamento Rotacional . Quando o escorregamento ocorre em uma superfície relativamente plana e associada a solos mais rasos, é classificado como Deslizamentos Translacionais .
	Solo/Lama	Movimentos de massa extremamente rápidos e desencadeados por um intenso fluxo de água na superfície, em decorrência de chuvas fortes, que liquefaz o material superficial que escoa encosta abaixo em forma de um material viscoso composto por lama e detritos rochosos. Esse tipo de movimento de massa se caracteriza por ter extenso raio de ação e alto poder destrutivo.
Corridas de massa	Rocha/Detrito	
Subsidências e colapsos	-	Movimentos de massa caracterizados por afundamento rápido ou gradual do terreno devido ao colapso de cavidades, redução da porosidade do solo ou deformação de material argiloso.

Fonte: Adaptado de Higland e Bobrowsky (2008).

Os riscos de movimentos de massa estão intimamente ligados ao crescimento urbano e às condicionantes físicas do ambiente, como a geologia, geomorfologia, hidrologia, pedologia e o clima, agindo de forma diferenciada em cada local (Louzeiro et al, 2019). Nesse sentido, para Spink (2014), os riscos devem ser avaliados levando em conta a vulnerabilidade associada ao uso e a ocupação do solo.

Entretanto, ao analisar os agentes e causas das movimentações de massa, Guidicini e Nieble (1983) distinguiram os agentes como: predisponentes e efetivos. O primeiro se refere ao conjunto de condições geológicas, geométricas e ambientais sob as quais os escorregamentos ocorrem. O segundo está relacionado aos elementos diretamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento de

massa, incluindo a ação humana. Logo, Castro (1993), destaca que os principais fatores antrópicos para os escorregamentos são:

- Lançamento de águas servidas;
- Lançamentos concentrados de águas pluviais;
- Vazamento nas redes de abastecimento de água;
- Infiltrações de águas de fossas sanitárias;
- Cortes realizados com declividade e altura excessivas;
- Execução inadequada de aterros;
- Deposição inadequada do lixo;
- Remoção descontrolada da cobertura vegetal.

Por outro lado, de acordo com Augusto Filho (1985), os agentes e causas dos escorregamentos podem ser melhor destrinchados conforme o Quadro 2.

Quadro 2: Agentes e causas dos escorregamentos e processos correlatos.

Agentes	Predisponentes	Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original.	
	Efetivos	Preparatórios	Pluviosidade, erosão pela água e vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível de lagos e mares e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desmatamentos.
		Imediatos	Chuvas intensas, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem.
Causas	Internas	Efeitos das oscilações térmicas; Redução dos parâmetros de resistência por intemperismo.	
	Externas	Mudanças na geometria do sistema; Efeitos de vibrações; Mudanças naturais na inclinação das camadas.	
	Intermediárias	Elevação do nível piezométrico em massas “homogêneas”;	

		Elevação da coluna da água em descontinuidades; Rebaixamento rápido do lençol freático; Erosão subterrânea retrogressiva (<i>piping</i>); Diminuição do efeito de coesão aparente.
--	--	---

Fonte: Augusto Filho (1995).

Diante disso, em relação às causas e consequências dos deslizamentos de terra, Kobiyama et al. (2006) destacam que os desastres são normalmente súbitos e inesperados, de uma gravidade e magnitude capazes de produzir danos e prejuízos diversos, resultando em mortos e feridos. Nessa linha, o IBGE (2019) ressalta que os eventos de deslizamentos têm provocado, quase todos os anos, diversos problemas à sociedade, tais como destruição de edificações e equipamentos urbanos, prejuízos em atividades produtivas, impactos ambientais e perdas de vidas humanas.

No Brasil o histórico de movimentos de massa registra a ocorrência de acontecimentos que vão desde o simples desprendimento de blocos isolados até milhares de escorregamentos simultâneos, afetando áreas com centenas de quilômetros quadrados (Guidicini; Nieble, 1983). O país é considerado muito suscetível aos movimentos de massa, em virtude das chuvas intensas em regiões de grandes maciços montanhosos (Guimarães, 2008). Soma-se ainda a esse cenário uma dinâmica de uso e ocupação da terra muitas vezes desordenada (IBGE, 2019).

Diante desse contexto, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) vem elaborando, desde 2012, Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações nas escalas de 1:25.000 e 1:50.000. Esses documentos fornecem dados para o levantamento da suscetibilidade a deslizamentos em municípios prioritários que estão sujeitos a essas ocorrências (IBGE, 2019).

Nesse contexto, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2024) divulgou que, em 2023, o Brasil atingiu um recorde de desastres hidrológicos e geo-hidrológicos, com 1.161 ocorrências registradas. Desse total, 716 foram relacionadas a eventos hidrológicos, como o transbordamento de rios, enquanto 445 tiveram origem geológica. Em Alagoas, o histórico de enchentes, inundações e deslizamentos de massa, especialmente nas regiões do Médio e Baixo Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, que abrange da Zona da Mata ao Litoral, é alarmante (Fernandes; Lopes, 2021).

4.2. Evento hidrológicos

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2024) ressalta que o ciclo hidrológico está diretamente vinculado às mudanças de temperatura da atmosfera e ao balanço de radiação de energia terrestre. Através do Informe Anual de 2023, é relatado que o Brasil já sofre os impactos dessas mudanças e que isso pode ser observado ao se analisar a ocorrência de fenômenos como inundações e longos períodos de seca. Diante disso, é importante entender e diferenciar alguns dos eventos extremos que atingem o país, como os alagamentos, as inundações urbanas e as enxurradas.

Os alagamentos podem ser entendidos como água pluvial temporalmente acumulada em terrenos com baixa declividade, água que não consegue fluir por causa da planície do solo ou deficiência da rede de drenagem, e tampouco infiltra devido à saturação ou impermeabilização do terreno. Já as inundações urbanas são o extravasamento das águas do leito principal do rio para a planície ribeirinha, que ocorre devido às cheias. E as enxurradas, são compreendidas pelo escoamento pluvial em regiões com grande declividade, de alto poder destrutivo pela sua alta energia e capacidade de arrastre, comum em encostas e morros (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2020).

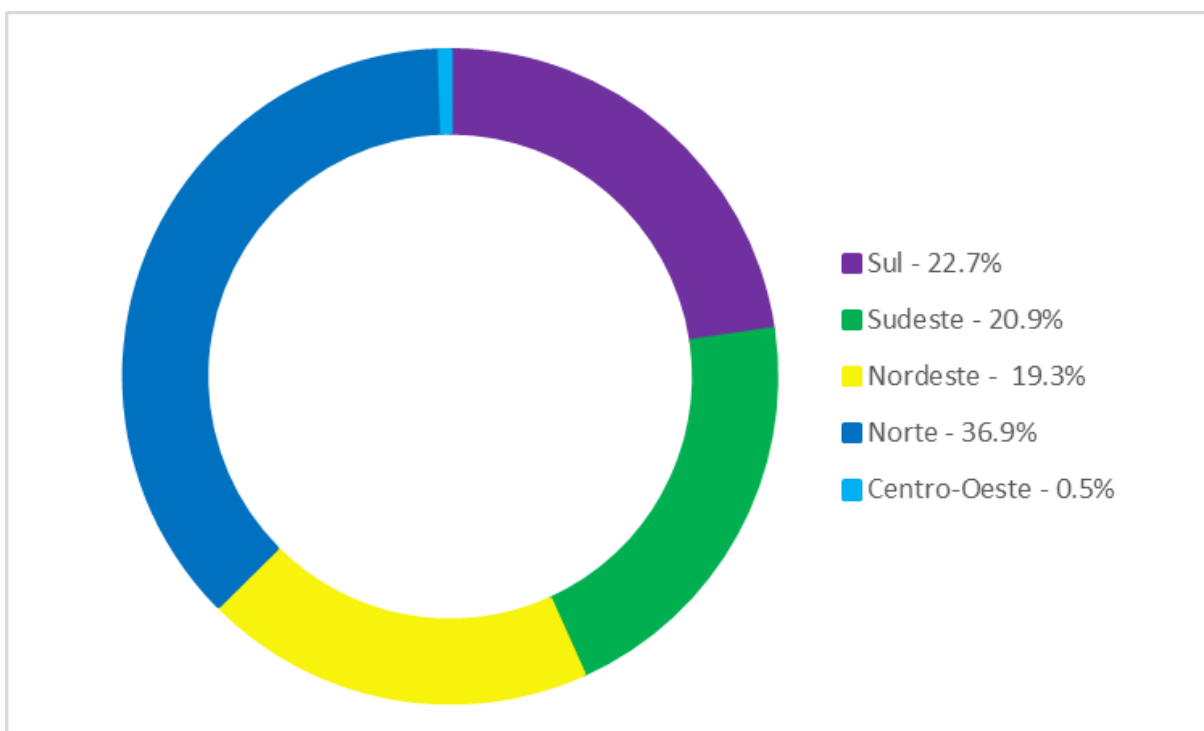
Dentre as consequências mais significativas para as atividades humanas, estão aquelas provenientes dos eventos extremos a curto prazo (relacionados à meteorologia) e a médio prazo (relacionados ao clima). Tais eventos são um aspecto integrante da variabilidade climática e, historicamente, causam impactos negativos sobre a população, aumentando a mortalidade e a morbidade nas áreas afetadas, ressalta Marengo (2009).

A magnitude e a taxa de alterações e variações climáticas, são medidas em função do caráter a que um sistema está exposto, a sua sensibilidade e a sua capacidade adaptativa (Coulibaly et al., 2015). Por outro lado, Narváez, Lavell e Ortega. (2009) propõem que o foco da gestão do risco de desastres deve estar, em princípio, nos mecanismos que a sociedade dispõe para o planejamento, proteção e mitigação desse tipo de acontecimento.

Contudo, o panorama brasileiro associado aos fenômenos hidrológicos extremos é refletido em mais de 1,5 milhão de pessoas afetadas por cheias, alagamentos, enxurradas e inundações no ano de 2022, segundo o Ministério da

Integração e Desenvolvimento Regional (MIDR, 2023). Desse modo, a Figura 1 apresenta a porcentagem de eventos de cheias em cada região do país, no ano de 2022.

Figura 1: Porcentagem de eventos de cheias por região entre os anos de 2020 a 2022.



Fonte: Adaptado de ANA, 2024.

Em Alagoas, no ano de 2022, foram registradas 87 ocorrências de desastres hidrológicos (MIDR, 2023). O Atlas de desastres disponibiliza a distribuição dos registros ao longo dos meses, com destaque para o intervalo entre maio e julho, com o maior número de incidências (Figura 2). No mesmo ano, esse foi o trimestre que mais choveu, conforme o boletim anual de Precipitação de 2023, fornecido pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos - Semarh/AL (2023).

Figura 2: Registros de desastres hidrológicos mensal no estado de Alagoas, em 2022.



Fonte: MIDR, 2023.

Com isso, o estado de Alagoas se caracteriza como uma localidade propícia às ocorrências de desastres de cheias. Além disso, outra variável que facilita catástrofes hidrometeorológicas é a urbanização, visto que cidades são mal projetadas e não possuem um estudo maior sobre áreas vulneráveis (Fernandes; Lopes; 2021). De acordo com Oliveira, Souza e Júnior (2014), a ocorrência de cheias no estado são agravadas pela ocupação indevida das margens dos rios.

4.3. Índices e indicadores ambientais

Um Indicador é uma forma sucinta de representar informações, que possui cunho científico, fácil compreensão e, uma vez que se apresentam de maneira qualitativa ou quantitativa, são usados nos processos de decisão em todos os níveis da sociedade. São úteis como ferramentas de avaliação de determinados fenômenos, apresentando suas tendências e progressos que se alteram ao longo do tempo (Brasil, 2017).

Nesse sentido, Santos (2009) também ressalta que os indicadores são fundamentais para tomadores de decisão e para sociedade, pois permitem tanto criar cenários sobre o estado do meio, quanto aferir e acompanhar os resultados de

uma decisão tomada. Bons indicadores devem ter a capacidade de gerar modelos que representem a sociedade.

Este tipo de ferramenta metodológica permite transmitir a informação técnica de forma sintética, preservando o significado original dos dados, utilizando apenas as variáveis que melhor espelham os objetivos em causa, e não todas as que podem ser medidas e/ou analisadas (Ramos, 1997). De forma geral, um indicador é capaz de resumir um conjunto de informações a uma variável.

Em princípio, um indicador pode ser uma variável qualitativa (nominal), de classificação (ordinal) ou quantitativa (Gallopín, 1996). Quando se apresenta na forma nominal, representa a presença ou ausência de determinado fato; na escala ordinal, vem acompanhado de uma posição em relação a uma série de números; e na forma cardinal, apresenta-se como um valor absoluto, que define quantitativamente um atributo (Santos, 2009).

Os índices, por sua vez, derivam do agrupamento de indicadores, que podem apresentar ordens e unidades de medidas distintas. Nesse sentido, faz-se necessário compatibilizar as escalas para que possam ser comparadas. Essa compatibilização pode ocorrer de diversas maneiras, uma delas é atribuir valores (1 a n) dentro de uma escala fixa para todas as categorias avaliadas (Santos, 2009).

Esse é o método utilizado pelo AdaptaBrasil, plataforma de coleta de dados utilizada no presente trabalho, na qual os índices são quantificados em uma escala de 0 a 1, com 5 intervalos iguais, classificando o grau em muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação do índice

Nível de Risco	
Muito Baixo	0,00 - 0,19
Baixo	0,20 - 0,39
Médio	0,40 - 0,59
Alto	0,60 - 0,79
Muito Alto	0,80 - 1,00

Fonte: Adaptado pela autora, 2024.

Os índices de risco, tanto para as inundações, enxurradas e alagamentos quanto para os deslizamentos de terra, são construídos com base em três dimensões críticas: vulnerabilidade, exposição e ameaça, que por conseguinte são provenientes de outros índices, conforme o Quadro 3.

Quadro 3: Dependência dos índices utilizados pelo Adapta Brasil

Índice de Vulnerabilidade	Capacidade Adaptativa	Política Urbana	Uso e ocupação do solo
			Governança em meio ambiente
			Governança em habitação
			Governança em transporte
			Estabelecimentos de saúde
			Plano municipal de saneamento básico
		Capacidade econômica municipal	Investimento em políticas de adaptação
			Gestão Fiscal
			Emprego e Renda
			Produto Interno Bruto por área
		Gestão de risco	Programa Cidades Resilientes
			Instituições para gestão de riscos
			Gestão de resíduos e limpeza pública
			Gestão de ocupação urbana em áreas de risco
			Ações adaptativas para redução de risco
			Sistemas de alerta antecipado
			Plano de contingência
	Sensibilidade	População	População com demandas especiais
			Jovens sem ensino
			Desigualdade de renda
			Domicílios inadequados
		Infraestrutura	Falta de mobilidade urbana
			Inacessibilidade às cidades
			Saneamento básico
			Drenagem

Quadro 3: Dependência dos índices utilizados pelo Adapta Brasil

Índice de Exposição	Moradias em ambiente de risco	Domicílios em área de risco	-
	Densidade demográfica	Densidade da população urbana	-
Índice de Ameaça	-		-

Fonte: Adaptado pela autora, 2024..

A dimensão da vulnerabilidade permite identificar grupos que podem apresentar dificuldades para responder, lidar e se recuperar de desastres naturais. Esse aspecto é crucial para o planejamento, resposta, mitigação e recuperação de emergências (Cutter; Finch, 2018).

A exposição quantifica pessoas, casas, lotes ou quadras situados no local afetado pelo desastre (De Andrade; Souza Andrade; Bezzera, 2017). Para o *Disaster Risk index* (DRI), o que define a magnitude de um risco é a exposição e a vulnerabilidade. Assim, uma condição necessária para o risco de desastre existir, é que as pessoas, a infraestrutura e as atividades econômicas devem estar localizadas em uma área onde ocorre um determinado desastre, ou seja, sem exposição não há risco à vida humana (Givisiez; Oliveira, 2017).

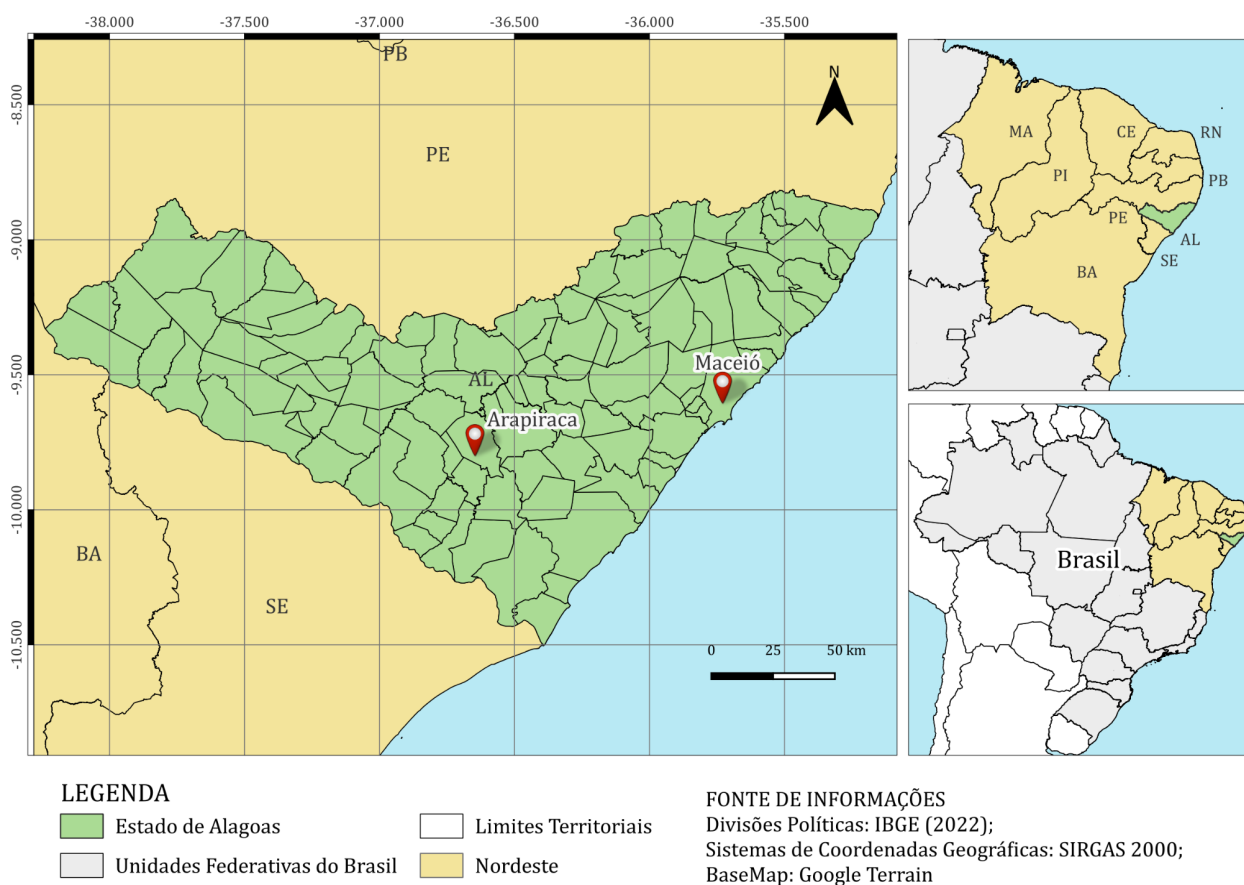
Quanto ao conceito de ameaça, é usado para se referir a um perigo latente ou fator de risco externo no qual um sistema ou um sujeito está exposto (Cardona, 2004). Para o programa Adapta Brasil (2020), a ameaça é modelada considerando as características topográficas (altitude, declividade, aspecto, curvatura vertical, curvatura horizontal, acúmulo de fluxo), geológicas (tipo de solo, distância dos rios), fatores humanos (cobertura e uso do solo) e as características meteorológicas.

5. METODOLOGIA

5.1. Área de Estudo

O presente trabalho teve como área de estudo o estado de Alagoas, localizado no Nordeste do Brasil. Alagoas possui 27.830,661 km² de extensão territorial e aproximadamente 3,2 milhões de habitantes, distribuídos em 102 municípios (IBGE, 2022). A Figura 3, ilustra a localização e a divisão do espaço geográfico de Alagoas.

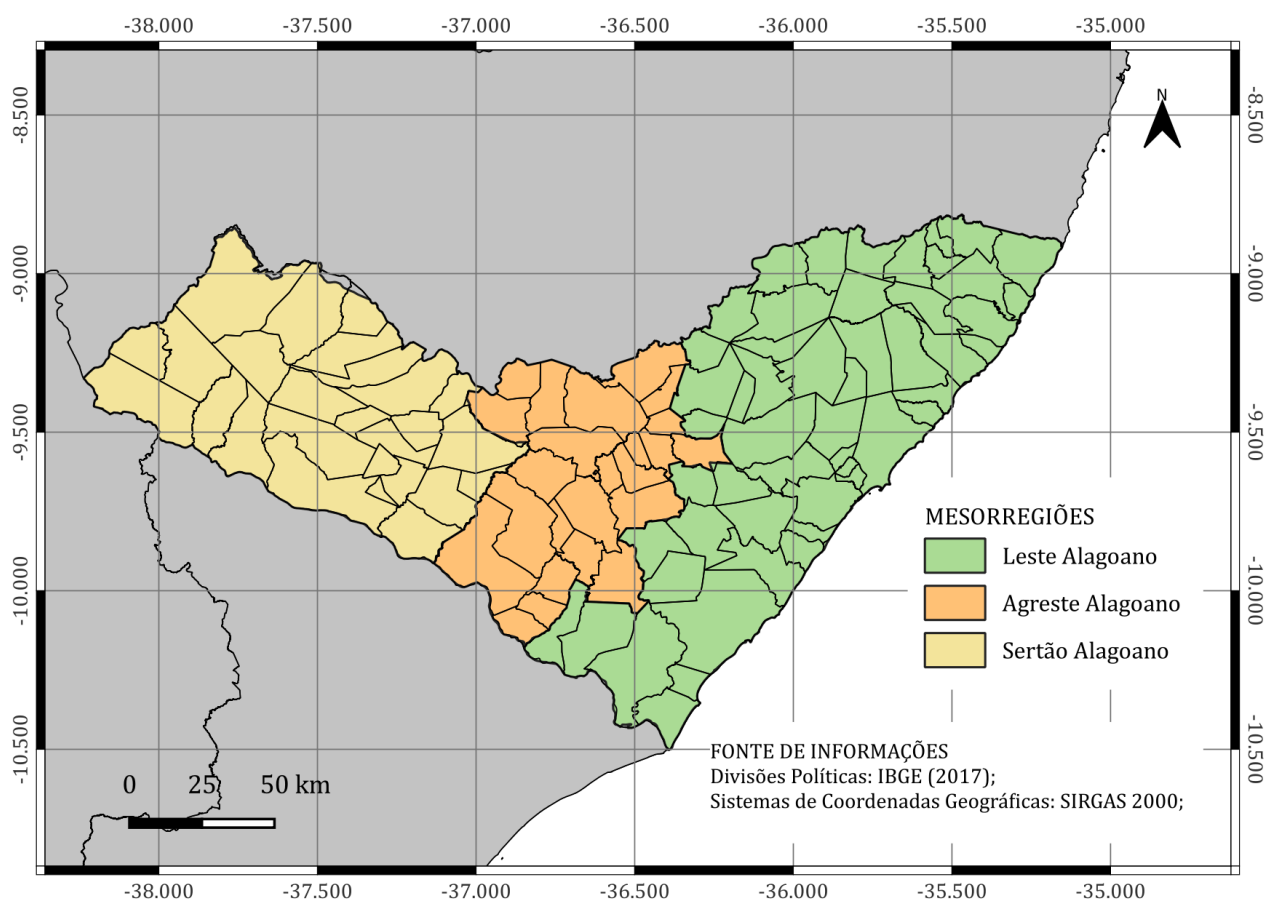
Figura 3: Mapa de Alagoas - Brasil.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

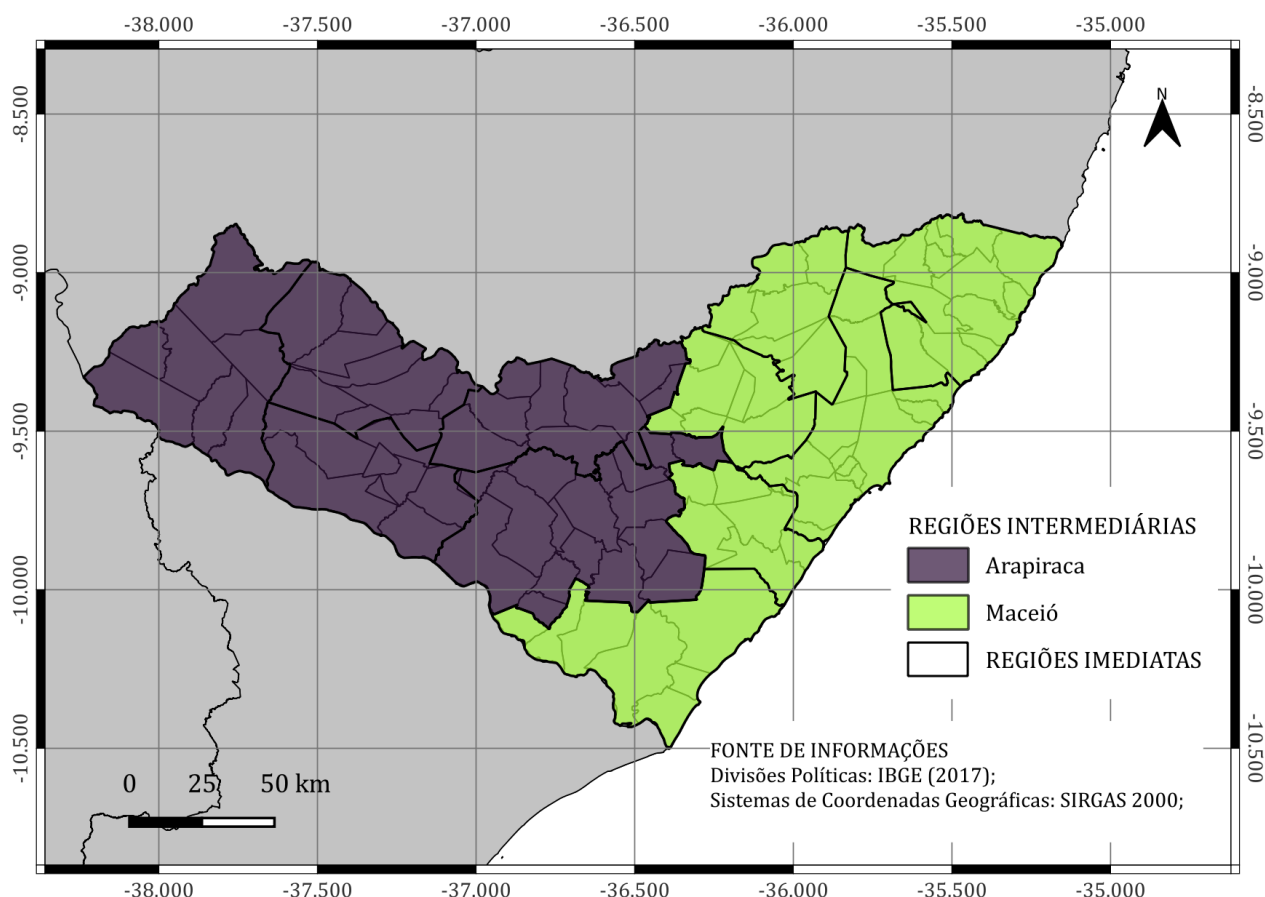
Como forma de organização através de características geográficas, sociais, econômicas e culturais semelhantes, em 1980, o estado teve seu território dividido em 3 mesorregiões: Leste, Agreste e Sertão, conforme a Figura 4 (IBGE, 2017). Contudo, em virtude do aumento na diferenciação interna do território brasileiro, em 2017, o espaço geográfico alagoano foi redistribuído em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias (Figura 5).

Figura 4: Divisão regional do estado de Alagoas em mesorregiões.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Figura 5: Divisão regional do estado de Alagoas em regiões intermediárias e regiões imediatas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Alagoas, em função de sua localização, tem como principais características climáticas irregularidades da precipitação pluviométrica. A proximidade da linha do Equador proporciona longos períodos de incidência solar e, consequentemente, índices acentuados de evapotranspiração. Assim, o regime de chuvas no estado está diretamente relacionado com as configurações da circulação atmosférica (Empresa brasileira de pesquisa - EMPRABA, 2012).

5.2. Procedimentos Metodológicos

5.2.1. Pesquisa bibliográfica

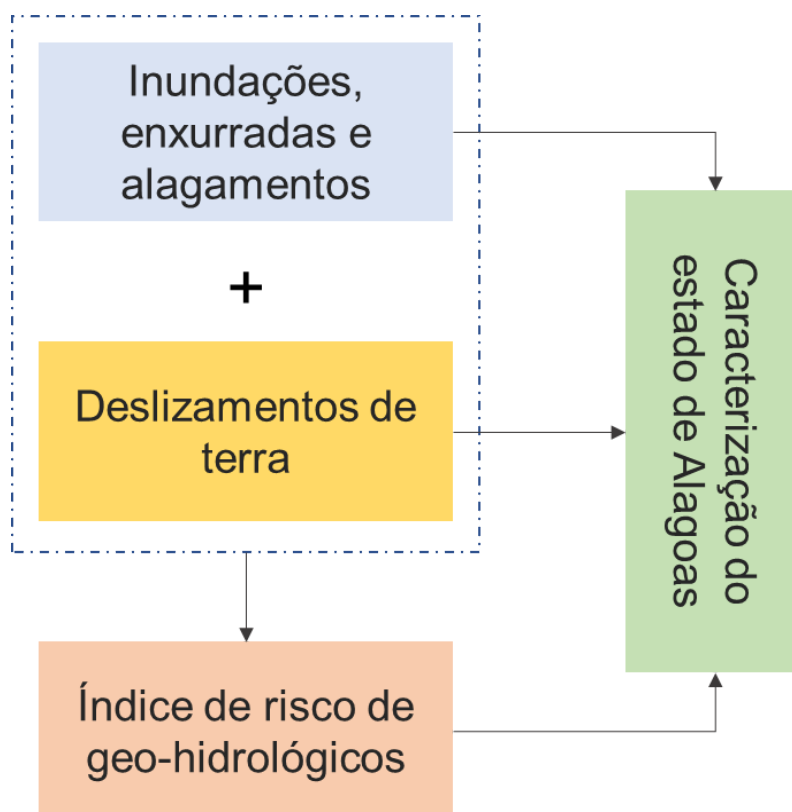
A pesquisa bibliográfica possibilitou discutir as principais temáticas pertinentes ao estudo: eventos geológicos e hidrológicos; índices e indicadores ambientais. Foi realizada a partir do levantamento de referências teóricas, como

livros e artigos científicos, conforme recomendações de Fonseca (2022). Também foram utilizados relatórios e outros documentos pertinentes, emitidos por órgãos governamentais.

5.2.2. Riscos geo-hidrológicos

O estudo foi conduzido em duas etapas: a primeira consiste na caracterização dos riscos geológicos e hidrológicos, separadamente. A segunda, resulta da combinação desses dados para propor um índice de riscos geo-hidrológicos (Figura 6).

Figura 6: Esquematização da metodologia.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024

Para caracterizar o Estado de Alagoas quanto aos riscos hidrológicos e geológicos, separadamente, foram utilizados os índices fornecidos pelo Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças do Clima (AdaptaBrasil, 2020). Os índices são computados a nível municipal, ou seja, o município tem seu grau de risco classificado em Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto ou Muito Alto.

O programa busca consolidar, integrar e disseminar informações para avançar na análise dos impactos da mudança climática no território nacional, oferecendo suporte às autoridades responsáveis pelas ações de adaptação (Adapta Brasil, 2020).

Posteriormente, os índices geológicos e hidrológicos foram combinados de acordo com a Equação 01, de modo a permitir mensurar os riscos geo-hidrológicos de maneira simultânea.

$$I_{GH} = \frac{I_G + I_H}{2}$$

Equação 1

Em que:

I_G é o índice de riscos para deslizamentos de terra;

I_H é o índice de riscos para inundações, enxurradas e alagamentos;

I_{GH} é o índice de riscos para deslizamentos de terra, inundações, enxurradas e alagamentos.

Para caracterização do cenário estadual foram consideradas a quantidade de municípios e os montantes populacionais relacionados a cada classe de risco. Para tanto, utilizou-se dos dados da população residente, levantados no Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2022). Todos os dados utilizados no estudo foram tabulados no *Software Microsoft Excel 365* e especializados geograficamente com auxílio do *Software QGIS* versão 3.32.

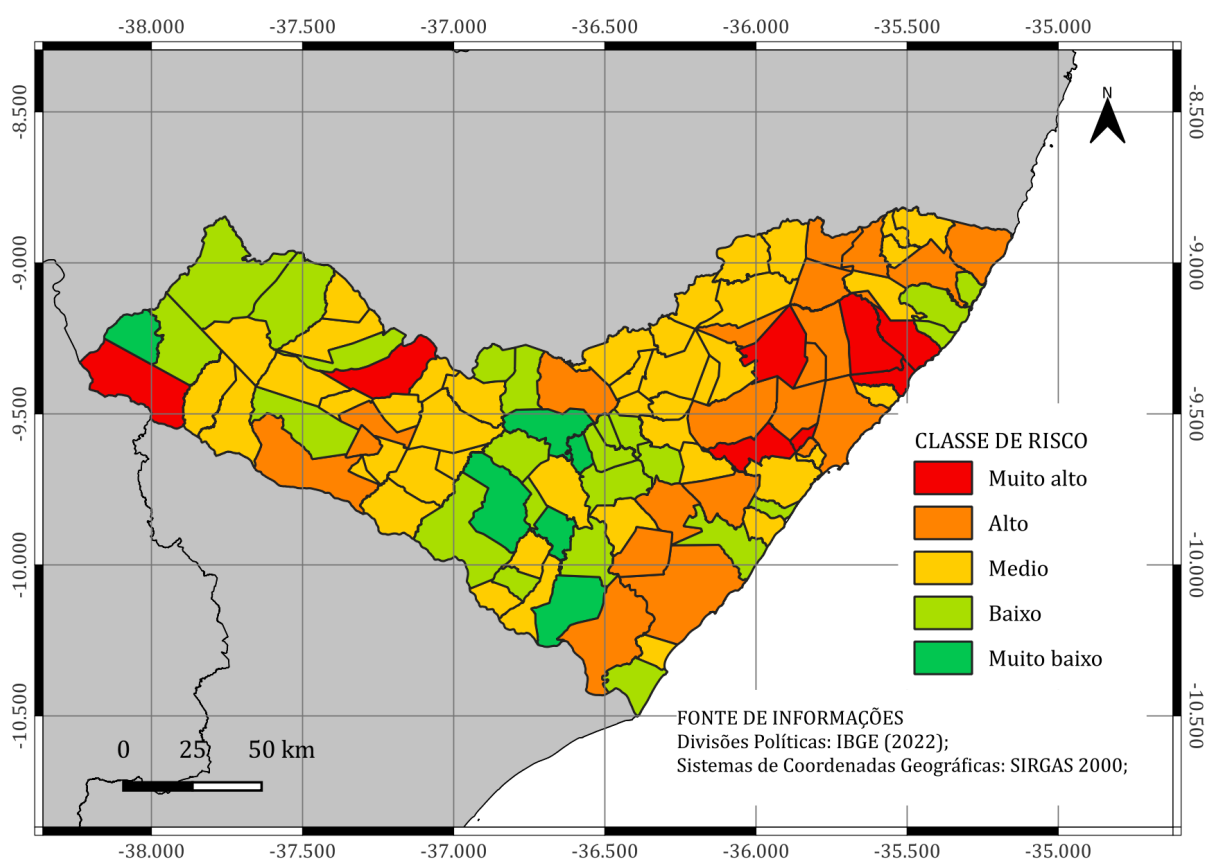
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para que fosse possível caracterizar o Estado de Alagoas foi necessário levantar hipóteses que indicassem a suscetibilidade aos eventos geo-hidrológicos. Assim, verificou-se o comportamento do estado quanto à geomorfologia, ao clima e alguns aspectos socioeconômicos.

6.1. Riscos Geológicos

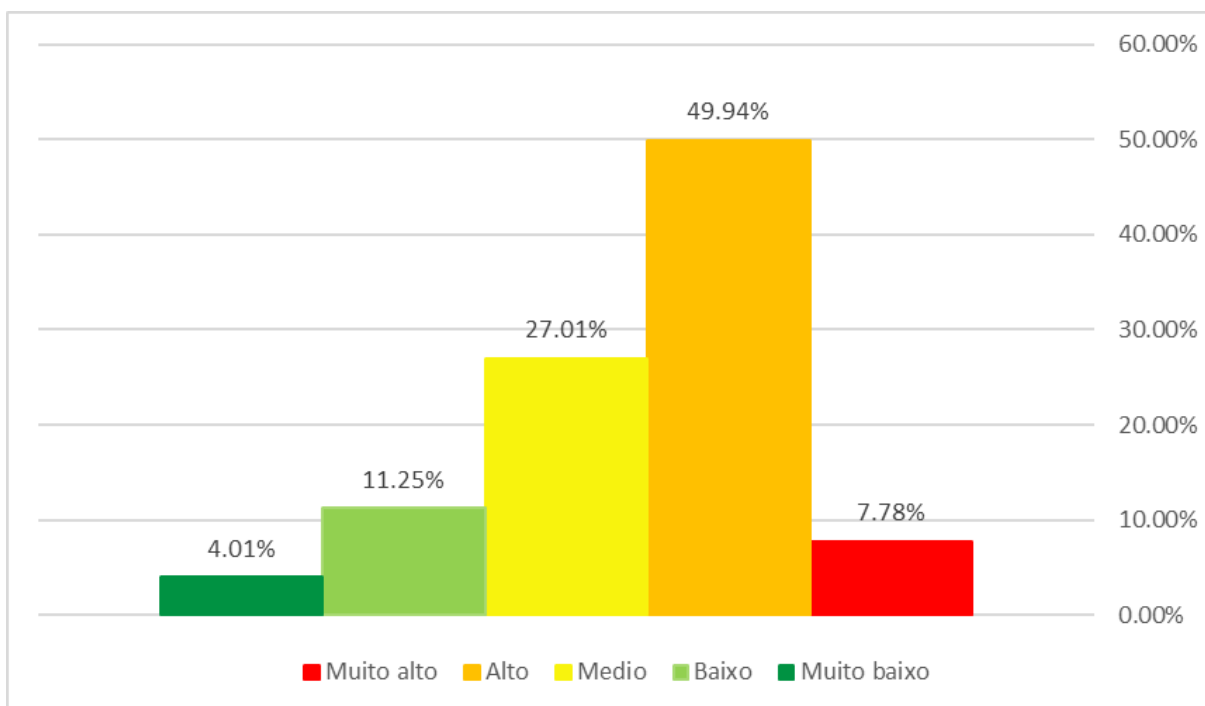
Os riscos aos desastres de origem geológica podem ser observados na Figura 7. Dos 102 municípios, 21 são classificados com risco alto e 8 com muito alto, juntos acomodam mais de 57% da população (Figura 8). A maior concentração de risco se dá no nordeste do Estado e próximo ao litoral.

Figura 7: Classificação das áreas sujeitas à ocorrência de deslizamentos de terra



Fonte: Elaborado pela autora, 2024

Figura 8: Percentual populacional por classe de risco, para fenômenos geológicos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

O Estado não é marcado por grandes altitudes, apenas 1% do território alagoano fica acima de 600 metros. A distribuição do relevo se dá entre a porção leste, onde tem-se os tabuleiros costeiros; o norte com os planaltos e na região central a depressão (Amorim et al, 2008). Essa geomorfologia, sugere que a concentração de áreas com maior e menor risco, em geral, pertençam a regiões mais altas (planalto) e baixas (depressão), respectivamente

No entanto, em Alagoas assim como nas outras regiões do Brasil, o desenvolvimento ocorreu do litoral para o interior, ao longo de corpos hídricos e de forma desordenada. Assim, apesar de ser um local que não tem suscetibilidade natural tão elevada, a alta taxa de ocupação, sem infraestrutura de contenção de encostas adequada, eleva o risco de deslizamentos (CEPED UFSC, 2013; CEMADEN, 2022).

Nesse sentido, nas cidades da Zona da Mata os eventos excepcionais de chuva deflagram deslizamentos e escorregamentos devido, entre outros fatores, à ocupação irregular dos terrenos urbanos, especialmente por habitações da população mais pobre, situadas nas encostas dos tabuleiros e colinas de litologia sedimentar da Formação Barreiras (Moura et al., 2016).

Dessa maneira, a precipitação pluvial é outro fator determinante para caracterização desse cenário, tendo em vista que influencia várias atividades. A variabilidade do número de dias de chuva em Alagoas indica que no período anual, a mesorregião do Leste alagoano tem o maior número de dias de chuva, em seguida vem o Agreste e por último o Sertão (Pereira et al, 2012).

Contudo, somente compreender os processos de deflagração dos movimentos de massa e sua relação com a chuva, não é suficiente para obtenção e construção de limiares de desastres. Esses limites que servem de parâmetro para sistemas de alerta tornam-se ainda mais complexos com a componente antrópica (CEMADEN, 2022). Por isso, a importância de caracterizar como se dá o uso e a ocupação do solo e as condições de vulnerabilidade social da população.

O índice de vulnerabilidade social (IVS), disponibilizado pelo IPEA (2024) e construído com base em 3 pilares: Infraestrutura, capital humano, renda e trabalho, mostra que em 2010, o panorama de Alagoas era constituído por 61,77% de seus municípios com vulnerabilidade maior que 0,5 numa escala crescente de 0 a 1. Dentre eles estão Barra de Santo Antônio, Murici, São Luís do Quitunde e Passo de Camaragibe, enquadradas também com risco Muito Alto aos eventos geológicos.

A Tabela 2 mostra a relação entre quantidade de municípios e o montante populacional. Pode-se inferir que o fator demográfico tem grande peso na avaliação do risco aos eventos geológicos, visto que o percentual populacional não é proporcional ao número de municípios.

Tabela 2: Resumo da caracterização para fenômenos geológicos.

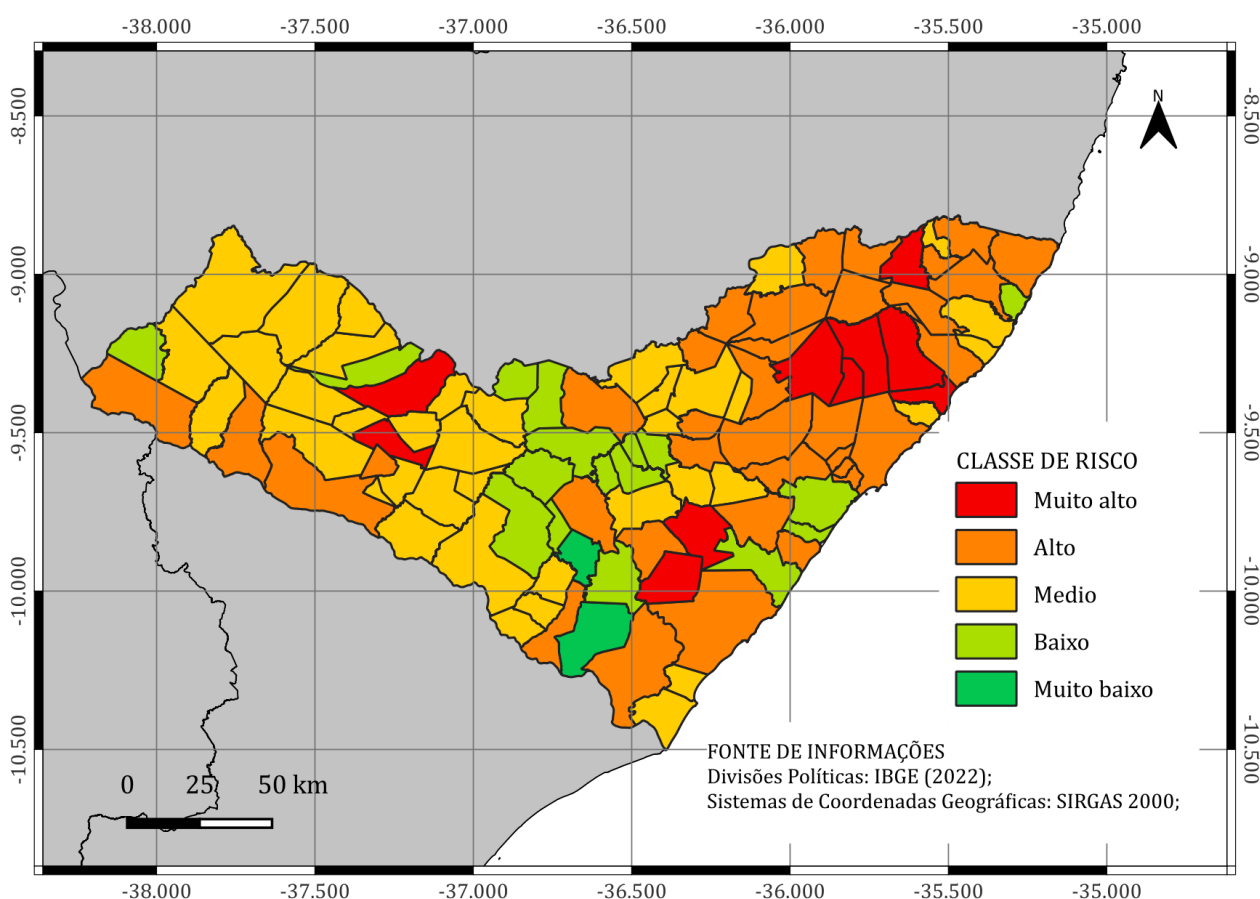
Classe de risco	Quantidade de municípios	Percentual de municípios	População	Percentual de população
Muito alto	8	7.84%	243415	7.78%
Alto	21	20.59%	1561980	49.94%
Médio	44	43.14%	844808	27.01%
Baixo	23	22.55%	351916	11.25%
Muito baixo	6	5.88%	125564	4.01%
TOTAL	102	100.00%	3127683	100.00%

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

6.2. Riscos Hidrológicos

O cenário para os desastres de origem hidrológica é ilustrado na Figura 9. É possível perceber que os municípios situados no Litoral e a Zona da Mata são acometidos com classes de risco mais elevadas. Além disso, ao comparar as Figuras 7 e 9, percebe-se que o risco aos fenômenos hidrológicos ocorrem de forma mais ampla no Estado.

Figura 9: Classificação das áreas sujeitas à ocorrência de inundações, enxurradas e alagamentos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Uma justificativa para o que foi evidenciado é que as áreas costeiras de Alagoas, incluindo a cidade de Maceió e sua região metropolitana, tendem a ter uma precipitação anual mais alta devido à influência das massas de ar úmido provenientes do Oceano Atlântico. A região da Zona da Mata, que se estende um pouco mais para o interior a partir da costa, ainda experimenta uma precipitação

significativa, embora geralmente um pouco menor do que no litoral. A precipitação anual nessa região pode variar entre 1.500 mm e 2.000 mm, com um padrão similar de distribuição das chuvas ao longo do ano (EMBRAPA, 2012).

Contudo, no Agreste e Sertão a baixa precipitação e a irregularidade das chuvas aumentam o risco de seca e desertificação. A escassez de água pode impactar a agricultura e o abastecimento de água para as populações locais. Além disso, a falta de chuva pode levar a problemas com a qualidade da água e a necessidade de estratégias de armazenamento e conservação mais eficientes (EMBRAPA, 2012).

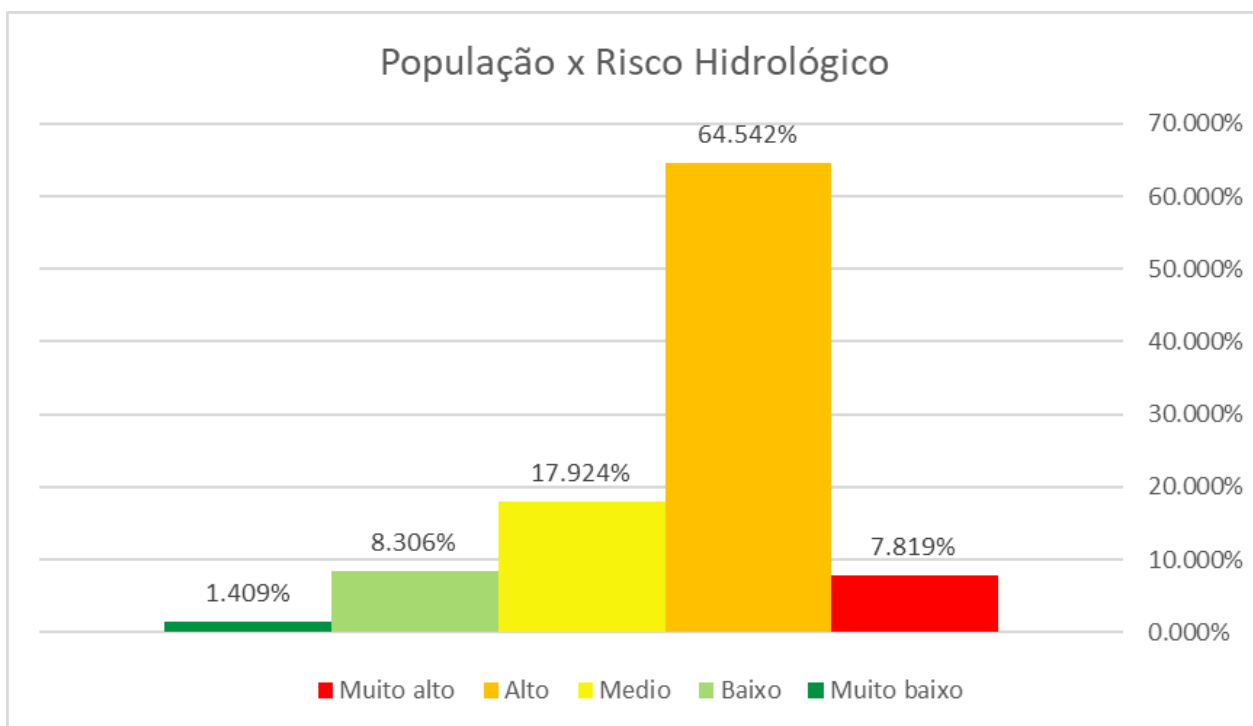
Por outro lado, o nordeste de Alagoas possui as maiores taxas de declividade do estado, sobre as quais ocorrem intensas precipitações, tornando-o ainda mais propício para a ocorrência de enxurradas. Além disso, a presença de micro e pequenas bacias hidrográficas, aumentam a velocidade de escoamento das águas e, como consequência, a elevação do nível dos rios acontece rapidamente (CEPED UFSC, 2013).

As regiões hidrográficas de Alagoas desaguam em dois corpos hídricos receptores principais, o Oceano Atlântico e o Rio São Francisco, onde são encontrados médios e altos índices de riscos hidrológicos. Segundo Nascimento e Oliveira (2022) os ecossistemas estuarinos e de manguezal são naturalmente propícios à inundação e ao alagamento quando essas áreas são urbanizadas. Para Vila Nova, Torres e Coelho (2015), as alterações na vegetação nativa, assim como o avanço das atividades agrícolas, o turismo, a urbanização e o assoreamento de rios têm impacto negativo sobre a região do baixo São Francisco.

Diante do que foi exposto, um planejamento adequado do uso do solo, juntamente com o conhecimento hidrometeorológico das características da bacia e do comportamento dos fluxos dos rios, associado a medidas não estruturais, podem ajudar a diminuir a ocorrência de desastres e, assim, reduzir os danos humanos e materiais causados por enxurradas (CEPED UFSC, 2013).

A Figura 10 e a Tabela 3 mostram os percentuais populacionais para cada classe de risco e revelam um panorama efetivo do Estado.

Figura 10: Percentual populacional por classe de risco, para fenômenos hidrológicos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Tabela 3: Resumo da caracterização para fenômenos hidrológicos.

Classe de risco	Quantidade de municípios	Percentual de municípios	População	Percentual de população
Muito alto	10	9.80%	244542	7.819%
Alto	35	34.31%	2018665	64.542%
Médio	38	37.25%	560618	17.924%
Baixo	17	16.67%	259774	8.306%
Muito baixo	2	1.96%	44084	1.409%
TOTAL	102	100.00%	3127683	100.000%

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Nota-se que 72.36% da população alagoana, distribuída em 45 municípios, está inserida nas 2 maiores classes de riscos. Tendo em vista, a maneira com que os dados foram processados pelo Adapta Brasil, pode-se afirmar que este contexto é reflexo de um cenário de exposição composto por moradias em ambiente de riscos aliadas à densidade demográfica.

Os episódios de inundação, em geral, são recorrentes nas áreas urbanas, principalmente quando essas áreas apresentam ocupação desordenada em planícies de inundação (CEPED UFSC, 2013). Em Alagoas, de acordo com o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD) entre os anos de 2004 a 2011 foram registrados 76 ocorrências de enxurradas e inundações, através de decretos de Situação de Emergência (SE) ou de Estado de Calamidade Pública (ECP).

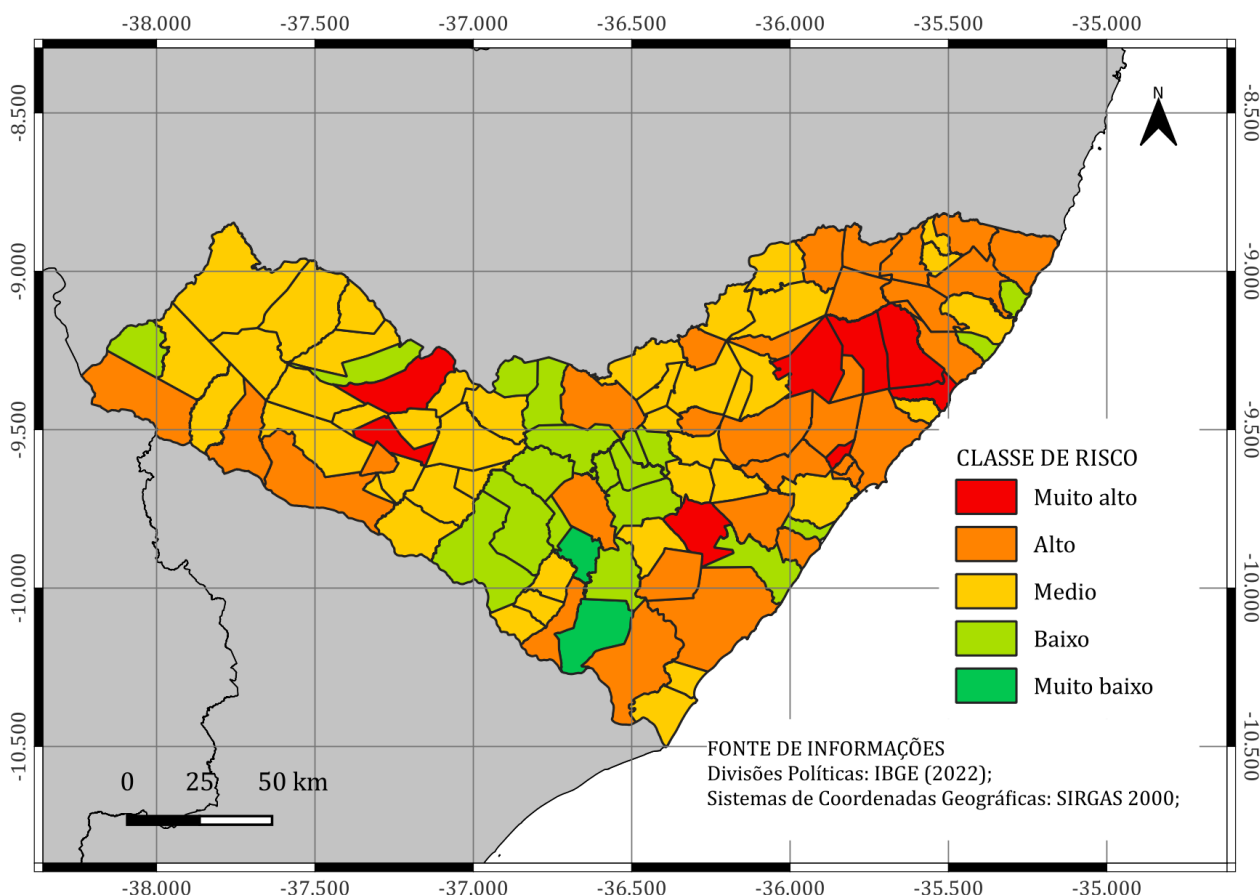
Entre 2009 e 2011, algumas cidades com nível de risco hidrológico muito alto decretaram alerta, são elas Messias, Murici, Novo Lino, Santana do Ipanema e São Luís do Quitunde. Contudo, vale ressaltar que as seguintes cidades: Teotônio Vilela, Barra de Santo Antônio, Olho d'água das Flores, Campo Alegre e Flexeiras que também se enquadram no mais alto nível de risco, não registraram ocorrências no referido período (S2iD MIDR, 2024). Logo, deve-se destacar que o índice aos riscos hidrológicos é composto também por alagamentos e não somente enxurradas e inundações.

6.3. Riscos Geo-hidrológicos

A combinação dos índices anteriores, permite analisar um novo cenário para o Estado (Figura 11). Nessa nova perspectiva, são 31 municípios caracterizados com classe Alta e 8 com Muito Alta, o que representa mais de 68% da população alagoana. As cidades menos suscetíveis ao risco combinado são Igreja Nova e Feira Grande, que permaneceram com risco muito baixo em todos os 3 índices analisados e que juntas constituem 1,41% dos alagoanos.

Em contrapartida, as áreas que se encontram na condição de risco muito alto para o índice combinado, sofreram influência principalmente do item 6.2 (Riscos Hidrológicos), uma vez que este possui valores maiores para esses municípios. Contudo, merecem destaque Barra de Santo Antônio, Murici, Santana do Ipanema e São Luís do Quitunde, em virtude de serem altamente suscetíveis a todos os índices de risco avaliados.

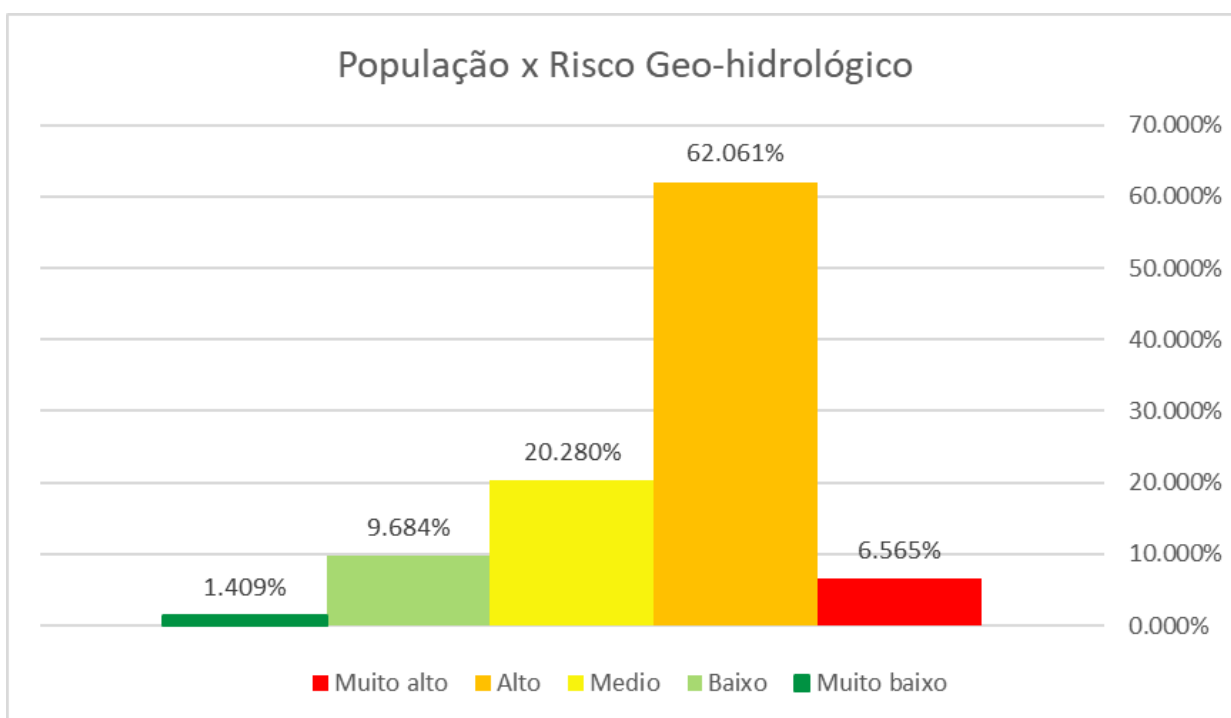
Figura 11: Classificação das áreas sujeitas à ocorrência de deslizamentos de terras, inundações, enxurradas e alagamentos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Com relação aos montantes populacionais, a Figura 12, quando comparada com a Figura 10, mostra que o percentual de pessoas suscetíveis a níveis de risco alto e muito alto diminuíram, ou seja, mais pessoas estão expostas a riscos relacionados a eventos somente hidrológicos do que a geo-hidrológicos. Isso deve-se ao fato de que para que um evento de origem geológica ocorra, além das condições predisponentes, é necessário um agente efetivo disparador, sendo a água da chuva o principal deles. Nesse sentido, a Tabela 4 destrincha as informações contidas na Figura 12.

Figura 12: Percentual populacional por classe de risco, para fenômenos geo-hidrológicos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Tabela 4: Resumo da caracterização para fenômenos geo-hidrológicos.

Classe de risco	Quantidade de municípios	Percentual de municípios	População	Percentual de população
Muito alto	8	7.84%	205342	6.565%
Alto	31	30.39%	1941076	62.061%
Médio	42	41.18%	634299	20.280%
Baixo	19	18.63%	302882	9.684%
Muito baixo	2	1.96%	44084	1.409%
TOTAL	102	100.00%	3127683	100.000%

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Com isso, a fim de entender melhor a situação das cidades mais suscetíveis ao risco geo-hidrológico combinado, optou-se por analisar o nível de ameaça a esse risco. O nível de ameaça é construído de maneira diferente para os riscos

geológicos e hidrológicos, dessa forma, é o fator responsável pela criação dos cenários evidenciados pelas Figuras 7 e 9. Contudo, em ambos os casos a determinação da ameaça envolve a ocorrência de chuvas intensas e características geográficas.

Assim, com base na pluviometria de junho de 2023, mês com maior acúmulo de chuvas do ano, disponibilizada pela SEMARH/AL, construiu-se a Tabela 5, que apresenta a média mensal das estações pluviométricas do Litoral, Zona da Mata, Agreste, Baixo São Francisco, Sertão São Francisco e Sertão.

Tabela 5: Resumo pluviométrico do mês de Junho de 2023 em Alagoas.

Regiões Pluviométricas	Precipitação de Junho/2023
Litoral	378,5 mm
Zona da Mata	291,5 mm
Agreste	227,3 mm
Baixo São Francisco	426,2 mm
Sertão São Francisco	107,7 mm
Sertão	173,4 mm

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Em concordância com a Tabela 5, o Boletim Mensal de Previsão Climática da Secretaria de Recursos Hídricos de Alagoas, mostra que no trimestre de Abril, Maio e Junho do ano em questão, choveu acima da média histórica no Litoral (1029,2 mm), Zona da Mata (802,6 mm) e Baixo São Francisco (784,2 mm). Nas demais regiões de Alagoas, os acumulados ficaram abaixo da média. Essas circunstâncias esclarecem os panoramas das Figuras 7, 9 e 11, em virtude dos riscos de desastres estarem associados aos índices de precipitação.

7. CONCLUSÃO

Diante do que foi exposto, conclui-se que para compreender a origem dos eventos geo-hidrológicos extremos, em um contexto de mudanças climáticas, é necessário uma análise macro que envolve clima, relevo, ocupação do solo, e os aspectos sociodemográficos. De forma que quanto mais aspectos sociais e ambientais incluídos, mais robusta será a análise.

Constatou-se que a distribuição espacial do risco de desastres hidrológicos e geológicos, é justificada principalmente pela ocorrência de chuvas intensas e que a suscetibilidade aos desastres é potencializada por fatores antrópicos e geomorfológicos. De maneira que na faixa que se estende do Litoral para o interior do Estado os riscos hidrológicos são mais acentuados e, conseqüentemente, os geo-hidrológicos também.

O trabalho permitiu mapear geograficamente quais municípios estão mais propensos aos eventos geo-hidrológicos simultâneos em Alagoas e levantou indícios das principais motivações desses fenômenos. Este fator é de grande relevância, uma vez que pode alertar a população e entidades governamentais dos municípios com risco elevado.

Dessa forma, ressalta-se a necessidade de atenção aos municípios Barra de Santo Antônio, Olho D'águas das Flores, Santana do Ipanema, Campo Alegre, São Luís do Quitunde, Murici e Flexeiras, visto que se encontram em situação crítica aos riscos geo-hidrológicos combinados. Além dessas cidades, merecem destaque com relação ao risco geológico Satuba, Pilar, Delmiro Gouveia e Passo de Camaragibe e, tendo em vista os riscos hidrológicos Messias, Teotônio Vilela e Novo Lino.

Por fim, aponta-se a necessidade do correto planejamento do uso do solo, do monitoramento dos fenômenos extremos, do investimento em gestão de risco ao desastre, em infraestrutura e programas sociais, pois compreender essas características é essencial para desenvolver estratégias eficazes para prevenir e enfrentar os desastres geo-hidrológicos.

REFERÊNCIAS

ADAPTA BRASIL. **Sobre o AdptaBrasil**. Disponível em:

<https://adaptabrasil.mcti.gov.br/sobre>. Acesso em: 15 fev. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023**: informe anual / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 2024.

ALAGOAS. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas. **Pluviometria em Alagoas**. Maceió, 2023.

ALMEIDA, A. B. de. Gestão do risco e da incerteza, conceitos e filosofia subjacente. *in*: AUTOR. **Realidades e Desafios na Gestão dos Riscos. Diálogos entre Ciência e Utilizadores**. Coimbra: NCIF, 2014. p. 19-22.

AMORIM, R. C. F. de; RIBEIRO, A.; LEITE, C. C.; LEAL, B. G.; SILVA, J. B. G. Avaliação do desempenho de dois métodos de espacialização da precipitação pluvial para o Estado de Alagoas. **Acta Sci. Technol.**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 87-91, 2008.

AUGUSTO FILHO, O. Escorregamentos em encostas naturais e ocupadas: análise e controle. *In* BITAR (coord.). **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: ABGE, 1995. p. 77-100.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Guia de orientações para elaboração de exercícios simulados de preparação para os desastres**. Florianópolis: CEPED, 2011.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria de Nacional de Proteção e Defesa Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. **Atlas Digital de Desastres no Brasil**. Brasília: MIDR, 2023.

BRASIL. Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres**. Brasília: MIDR, 2023.

BRASIL. Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres**. Brasília: MIDR, 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Indicadores Ambientais**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/informacoes-ambientais/indicadores-ambientais.html>. Acesso em: 25 fev. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Guia de preparação e resposta à emergência em saúde pública por inundação**. Brasília: Ministério da Saúde, 2017.

CARDONA, O. D. The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. *In*: BANKOFF, G.; FRERKS, G.; HILHORST, D. **Mapping Vulnerability, Disasters, Development and People**. London: Earthscan, 2004. p. 37-51.

CARVALHO, D. W. de. As mudanças climáticas e a formação do direito dos desastres. **Revista NEJ - Eletrônica**, v. 18, n. 3, p. 397-415 / set-dez 2013.

CASTRO, A. L. C. de. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília: SEDEC, MIR, 1993.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Apresentação**. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/apresentacao/#:~:text=S%C3%A3o%20significativos%20C%20no%20Brasil,nos%20governos%20e%20na%20sociedade>. Acesso em: 18 de fev. 2024.

CEMADEN - Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Aspectos técnicos dos extremos geo-hidrológicos no país e as diferenças regionais**. São José dos Campos, SP: CEMADEN, 2022. Disponível em: Acesso em: <http://repositorio.enap.gov.br/handle/1/7682> .01 de Set. 2024.

CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013..

CUTTER, S. L.; FINCH, C.I. Temporal and spacial changes in social vulnerability to natural hazards. *In*: **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. 1. ed. Estado Unidos: National Academy os Sciences, 2018, p. 2301-2311.

COULIBALY, J. Y.; MBOW, C.; SILESHI, G. W.; BEEDY, T.; KUNDHLANDE, G.; MUSAU, J. Mapping Vulnerability to Climate Change in Malawi: Spatial and Social Differentiation in the Shire River Basin. **American Journal of Climate Change**, Ano 4, p 282-294, 2015.

DE ANDRADE, M. M. N. de; ANDRADE, A. S.; BEZERRA, P. E. S. Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais no estado do Pará (Brasil). **Revista DELOS**. Málaga, Out. 2017. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/issue/view/36>. Acesso em 20 fev. 2024.

EMBRAPA. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**. Recife: 2012.

FERNANDES, E. dos S.; LOPES, J. L. de S. Desastres naturais no estado de Alagoas, região nordeste do Brasil - advindos dos eventos climáticos de La Niña. **International Journal Semiarid**, Ano 4, p. 21 – 37, 2021.

FREITAS, C.M. de; SILVA, D. R. X.; SENA, A. R. M. de; SILVA, E. L.; SALES, L. B. F.; CARVALHO, M. L. de; MAZOTO, M. L.; BARCELLOS, C.; COSTA, A. M. Desastres naturais e saúde: uma análise da situação do Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.19, n.9, p. 3645-3656, 2014.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.

GALLOPIN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. *In: Environmental Modeling and Assessment*. Cali: Baltzer Science Publishers BV, 1996. p. 101-117.

GIVISIEZ, G. H. N.; OLIVEIRA, E. L. de. Risco e vulnerabilidade social a desastres naturais no Brasil: proposta de um arcabouço para indicadores multiescalares. *In: I Congresso Nacional de Geografia Física*, 2017, Campinas. Campinas: Unicamp, 2017. p.4107-4118.

GUIMARÃES, R. F. et al. Movimentos de Massa. *In: FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, p. 159 – 184.

GUIDICINI, G. NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: Edgard Blucher, 1983.

HIGLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. The landslide handbook - A guide to understanding landslides. *In: U.S. Geological Survey (USGS)*. Reston, Virginia, 2008, p. 129p. 2008.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área territorial brasileira 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al.html>. Acesso em: 25 fev. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Programa das Nações Unidas para o desenvolvimento – PNUD**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/al.html>. Acesso em: 25 fev. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil**: primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Controle de enchentes**. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/231-controle-de-enchentes>. Acesso em: 23 fev. 2024.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Índice de vulnerabilidade social**. Disponível em: <https://ivs.ipea.gov.br/#/.Acesso> em: 05 Set. 2024.

IPCC - PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS. **Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade**. Genebra, Suíça: Organização Meteorológica Mundial (WMO), 2014.

KOBIYAMA, M.; MENDOÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S.; RUDORFF, F. de M. **Prevenção de Desastres Naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006.

LOUZEIRO, A. S.; SALES, C. B. de; MENDES, D. L. M.; LIMA, P. H. G. Risco de movimento de massa: conceitos, metodologias e aplicações. **Revista Casa da Geografia de Sobral**, Sobral/CE, v. 21, n. 2, p.1234-1253, 2019.

MARENGO, J. A. Mudanças climáticas, condições meteorológicas extremas e eventos climáticos no Brasil. *In: Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil*. Rio de Janeiro: LLOYD'S, 2009. p. 4-19.

MOURA, M. de O.; CUNICO, C.; NÓBREGA, R. S.; DUARTE, C. C. Desastres hidrometeorológicos na região Nordeste do Brasil: distribuição espaço-temporal dos reconhecimentos de Estado de Calamidade Pública. **Caderno de Geografia**, v.26, número especial 2, 2016.

NARVÁEZ, L.; LAVELL, A.; ORTEGA, G. P. **La Gestión del Riesgo de Desastres: Un enfoque basado en procesos**. Lima: Secretaría General de la Comunidad Andina, 2009.

NASCIMENTO, P. S. DE R., & OLIVEIRA, K. S. (2022). Análise Espaço-Temporal Da Ocorrência De Alagamentos Em Área Intensamente Urbanizada. **Revista Contexto Geográfico**, 7(14), 01–15. <https://doi.org/10.28998/contegeo.7i14.13407>

OLIVEIRA, D. L.; SOUZA, V. C. B. de; JUNIOR, C. R. F. Análise hidrológica da cheia excepcional ocorrida em junho de 2010 nas bacias dos rios Mundaú e Paraíba do Meio em Alagoas e Pernambuco. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.19, n.3, p. 279-293, Jul/Set 2014.

PEREIRA, E. R. R.; FREITAS, J. C. de; ANDRADE, A. R. S. de; MACEDO, M. L. A. de M.; NETO, M. F. da S. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.7-26, 2012.

RAMOS, T. B. Sistemas de indicadores e índices ambientais. *In: 4º Congresso Nacional dos Engenheiros do Ambiente*. Faro: 1997. p. IV33 - IV43

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos. 2009.

SGB - SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO – CPRM. **Alagoas:** Serviço Geológico do Brasil identifica 206 áreas de risco alto e muito alto em todo o estado. Disponível em:

<https://www.sgb.gov.br/publique/Noticias/Alagoas:-Servico-Geologico-do-Brasil-identifica-206-areas-de-risco-alto-e-muito-alto-em-todo-o-estado-8003.html>. Acesso em: 25 fev. 2024.

SPINK, M. J. Viver em áreas de risco: tensões entre gestão de desastres ambientais e os sentidos de risco no cotidiano. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, n. 9, p. 3743-3754, 2014.

UNDRR - UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER REDUCTION. **Global assessment report on disaster risk reduction**. ONU, 2022.

VILA NOVA, F. V. P.; TORRES, M. F. A.; COELHO, M. P. Uso e ocupação da terra e indicadores ambientais de impactos negativos: baixo curso do Rio São Francisco, Estado de Alagoas, Brasil. **Boletim de Geografia**, v. 33, n. 1, p. 1 - 14, 6 dez. 2015.