



# Expansão urbana e susceptibilidade à inundações e deslizamentos na Região Metropolitana de Aracaju

Urban expansion and susceptibility to flood and landslide in the metropolitan region of Aracaju

F. C. Guerra<sup>1\*</sup>; R. D. Gonçalves<sup>2</sup>; R. C. Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Geografia/Núcleo de Estudos Ambientais e Litorâneos/Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, 13083-855, Campinas-São Paulo, Brasil*

<sup>2</sup>*Departamento de Geologia/Grupo de Pesquisas Hidrogeológicas e Ambientais/Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, 49107-230, São Cristóvão-Sergipe, Brasil*

\* *fran.guerra94@gmail.com*

*(Recebido em 05 de maio de 2024; aceito em 08 de agosto de 2024)*

A concentração da população e o desenvolvimento socioeconômico exercem significativa pressão sobre as zonas costeiras, acentuando os processos naturais e ressaltando a importância de uma gestão integrada que avalie a perigosidade e a vulnerabilidade socioambiental desses ambientes. As atividades humanas, como a urbanização desordenada, a remoção de dunas, a extração de areia e a construção de barragens, contribuem para a fragilidade ambiental dos sistemas costeiros. Neste sentido, o objetivo deste estudo é entender os impulsionadores e os impactos da expansão urbana na Região Metropolitana de Aracaju (RMA), através da análise cartográfica, para avaliar as áreas susceptíveis a inundações e deslizamentos, agravadas pela urbanização desordenada e expansão imobiliária. A integração de dados geoespaciais e análises multidisciplinares é fundamental para identificar áreas críticas e assim subsidiar estratégias de mitigação. Os desafios enfrentados pela RMA refletem uma realidade nacional e global da crescente urbanização e pressão sobre as zonas costeiras. Este estudo revela uma taxa de aumento de cerca de 2,2 km<sup>2</sup>/ano da área urbanizada na RMA, considerando o período de 1985 a 2022, particularmente expressiva em áreas de baixa declividade e susceptíveis à inundação, notadamente nas zonas de expansão em Aracaju e Barra dos Coqueiros. A expansão urbana na região não dá indícios de desaceleração, além de possuir tendência de continuar a ocupar áreas susceptíveis a inundações e, com o crescimento desordenado, aumentar os riscos associados a ocupações em áreas susceptíveis a deslizamentos.

Palavras-chave: urbanização desordenada, inundação, gestão costeira integrada.

The concentration of population and socioeconomic development exert significant pressure on coastal zones, accentuating natural processes and underscoring the importance of integrated management that assesses the hazard and socio-environmental vulnerability of these environments. Human activities, such as unplanned urbanization, dune removal, sand extraction, and dam construction, contribute to the environmental fragility of coastal systems. In this sense, the objective of this study is to understand the drivers and impacts of urban expansion in the Metropolitan Region of Aracaju (MRA), through cartographic analysis, to evaluate areas susceptible to floods and landslides, aggravated by unplanned urbanization and real estate expansion. The integration of geospatial data and multidisciplinary analyses is essential to identify critical areas and thus support mitigation strategies. The challenges faced by the MRA reflect a national and global reality of growing urbanization and pressure on coastal zones. This study reveals an annual increase rate of approximately 2.2 km<sup>2</sup>/year of urbanized area in the MRA, considering the period from 1985 to 2022, particularly significant in low-slope areas and susceptible to flooding, notably in the expansion zones in Aracaju and Barra dos Coqueiros. Urban expansion in the region shows no signs of slowing down, with a tendency to continue occupying flood-prone areas and, due to unplanned growth, increasing the risks associated with settlements in landslide-prone areas.

Keywords: unplanned urbanization, flooding, integrated coastal management.

## 1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras desempenham um papel importante na economia, ecologia e bem-estar humano, constituindo um habitat diversificado para uma ampla gama de ecossistemas e comunidades [1-3]. Contudo, essas regiões têm enfrentado desafios significativos, muitas vezes devido à rápida urbanização e pressão exercida por atividades humanas [3-5].

A rápida urbanização e a pressão imobiliária em áreas costeiras, como é caso da Região Metropolitana de Aracaju (RMA), podem aumentar significativamente os riscos ambientais [6, 7], impactando principalmente grupos menos favorecidos, pois tendem a ocupar áreas mais instáveis em virtude do aumento da especulação imobiliária em áreas centrais e mais privilegiadas [8]. Ademais, também podem ocorrer invasões sobre áreas protegidas ou com capacidade de resiliência baixa [9], sobretudo em áreas litorâneas e nos baixos cursos de rios [10].

O crescimento urbano leva ao aumento de superfícies impermeáveis, alterando os processos naturais hidrológicos e elevando os riscos de inundação [11]. Além disso, o crescimento das áreas urbanas pode afetar a estabilidade das encostas, contribuindo para a ocorrência de deslizamentos de terra. Isso ocorre devido ao redirecionamento do fluxo de água superficial e ao aumento dos cortes em taludes para construção de residências nessas áreas, o que provoca deslizamentos de terra durante os períodos de chuva, expondo os moradores a riscos [12].

A combinação desses fatores, incluindo superfícies impermeáveis e mudanças na cobertura do solo devido à expansão urbana, contribui para a vulnerabilidade das áreas costeiras a inundações e deslizamentos de terra [13, 14]. Os impactos acumulados da migração, impulsionados pelos riscos de inundações, podem “aprisionar” famílias de baixa renda em zonas de alto risco, intensificando o fenômeno da gentrificação climática [15, 16].

Portanto, é fundamental gerenciar a expansão urbana e adotar estratégias eficientes para o manejo de planícies aluviais, a fim de mitigar os elevados riscos de inundações e deslizamentos em regiões costeiras. A implementação de medidas eficazes de redução de risco no gerenciamento costeiro integrado [17] torna-se essencial para diminuir os impactos da urbanização acelerada sobre a ocorrência de inundações e deslizamentos de terra em áreas como a RMA.

A RMA exemplifica esses desafios, o rápido crescimento populacional e a urbanização desordenada têm contribuído para conflitos de uso do solo, degradação ambiental e aumento da vulnerabilidade à eventos naturais, tais como inundações e deslizamentos, destacando a necessidade de uma gestão eficaz dessas regiões costeiras para minimizar situações de risco e vulnerabilidade socioambiental [7, 18-21].

Diversos fatores, como o crescimento demográfico e a especulação imobiliária, impulsionam a expansão urbana desordenada na região, exacerbando os conflitos de uso do solo e comprometendo a qualidade ambiental [22]. Diante desse contexto, é essencial entender a estruturação da gestão costeira e sua eficácia na resolução dos conflitos relacionados aos processos potencialmente perigosos, os quais representam ameaças persistentes para as populações costeiras.

O termo "risco" refere-se à probabilidade de ocorrência de processos potencialmente perigosos, cuja probabilidade temporal e espacial determina a perigosidade e como as características da população e das comunidades (a vulnerabilidade) influenciam seus efeitos sobre a população, através de sua capacidade de resistência e recuperação [23-25].

Ainda, a vulnerabilidade socioambiental [14] está intrinsecamente ligada à propensão da população exposta a sofrer “perdas” ou “danos” diante desses eventos, o que depende das características das populações e suas comunidades, bem como das características naturais, sociais e institucionais do ambiente e da falta de capacidade institucional e pessoal para lidar com a manifestação desses eventos estressores e adaptar-se, enfatizando a importância de abordagens integradas na gestão costeira [26-29].

Nas áreas costeiras, onde se concentram atividades socioeconômicas e grandes populações, os impactos das alterações climáticas têm gerado crescentes desafios, como a erosão costeira e outros processos litorâneos [14, 30]. Neste contexto, políticas públicas e instrumentos legais são essenciais para orientar a gestão integrada desses espaços, tornando a governança e o manejo dos sistemas costeiros fatores importantes no enfrentamento dos problemas emergentes na atualidade [31].

A complexidade dos sistemas costeiros demanda uma abordagem multidisciplinar e multissetorial na gestão costeira, que envolve não apenas instituições governamentais, mas também a sociedade civil [31, 32]. Portanto, a compreensão dos processos naturais e das vulnerabilidades socioambientais nas zonas costeiras é essencial para a formulação de políticas públicas eficazes e para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e adaptação [33].

Neste contexto, é objetivo deste artigo analisar aspectos da correlação entre a área urbanizada e os setores de inundações e deslizamentos na Região Metropolitana de Aracaju. O trabalho visa, ainda, contribuir com a cartografia atual do uso e ocupação do solo e áreas susceptíveis à inundação e deslizamentos na região com destaque na discussão das áreas mais vulneráveis aos processos perigosos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da Área de Estudo

O recorte espacial do estudo compreende os municípios da RMA, definida pela Lei Complementar nº 25/1995 do Governo do Estado de Sergipe (Figura 1). Esta região, de acordo com a Lei supracitada, foi criada para facilitar a organização, o planejamento e a execução de funções públicas de interesse comum, está localizada no litoral central de Sergipe. Compõem a RMA os municípios de Aracaju, Barra dos Coqueiros, Nossa Senhora do Socorro e São Cristóvão, sendo este último a capital do estado até a sua transferência para Aracaju em 17 de março de 1855.

A RMA é a principal área urbana desta região litorânea, reconhecida como um destino turístico atrativo devido à sua diversidade natural, patrimonial, histórica e cultural, e se beneficia economicamente de suas atividades portuárias e pesqueiras. Embora localizada na zona costeira, nem toda a extensão da RMA é afetada pela dinâmica costeira.

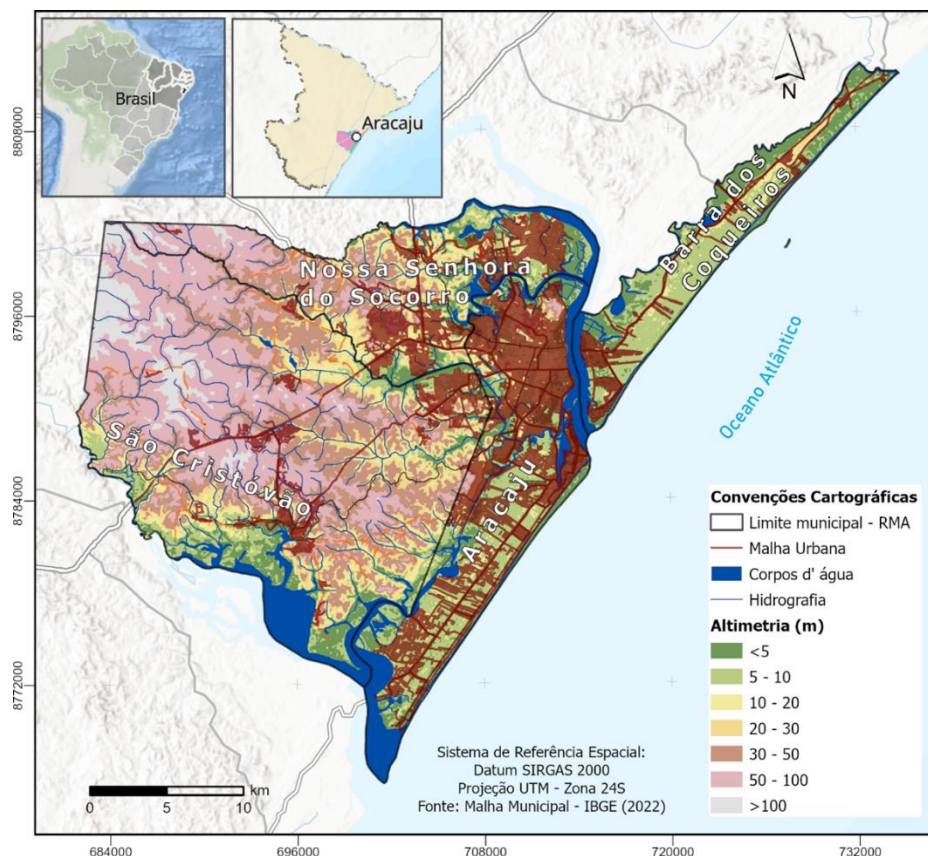


Figura 1: Mapa de localização da Região Metropolitana de Aracaju. Fonte: hipsometria extraída do TopoData – INPE/SRTM.

É importante ressaltar que, em termos populacionais, dentre as regiões metropolitanas das capitais estaduais a RMA representa a quarta maior densidade demográfica, menor apenas que as regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro e Recife, de acordo com os dados censo do

IBGE (2022) [34]. Tendo em comum a extensão territorial herdada de uma divisão política do território brasileiro que remonta ao período colonial, esses estados litorâneos delineiam a visão característica do povoamento brasileiro, exibindo uma densidade demográfica mais alta em suas áreas costeiras em comparação com o interior do país [34].

A RMA apresenta 932.210 habitantes em 2022, representando um crescimento de 11% em relação a 2010 [35], distribuídos por uma área total de cerca de 865,8 km<sup>2</sup> nos quatro municípios. A região possui, assim, densidade demográfica de cerca de 1.074,29 hab/km<sup>2</sup> e concentra mais de 40% da população do estado [34]. A capital Aracaju, isoladamente, abriga 55% da população da Região Metropolitana, detendo o maior contingente populacional da área, seguida pelo município de Nossa Senhora do Socorro, que possui 21% da população total da RMA.

A problemática principal relaciona-se com a urbanização sobre os terrenos “planos” e inconsistentes, que está associada a uma planície costeira do tipo progradacional, composta por antigas cristas de praias (cordões litorâneos), formada basicamente por depósitos que datam do Período Quaternário, mais especificamente da época do Holoceno [20]. A análise geológica e geomorfológica da área de estudo, realizada por Bittencourt et al. (1983) [36] e Cunha (1980) [37], identificou a presença de diversos depósitos e formações. Estes incluem depósitos marinhos, depósitos de mangue relacionados às planícies de marés, depósitos eólicos associados às dunas e depósitos fluvio-lagunares vinculados aos baixos úmidos e lagoas.

A área de investigação está localizada na unidade geotectônica da Bacia Sedimentar Sergipe/Alagoas e apresenta litologias relacionadas ao Grupo Barreiras e às Formações Superficiais Cenozóicas, originadas de variações do nível do mar e eventos de regressão e transgressão marinha, conforme observado por Bittencourt et al. (1983) [36]. A geomorfologia da área é predominantemente caracterizada pelas unidades da Planície Costeira, incluindo terraços marinhos holocênicos, depósitos de mangue e depósitos eólicos, além dos Tabuleiros Costeiros, os quais se caracterizam por solos profundos de baixa fertilidade [38].

No contexto da área de estudo, em 2011, foi realizado o mapeamento de 15 diferentes tipos de uso do solo, alguns tipos mais encontrados estão áreas de pastagem em vertentes, manguezal, vegetação de restinga fixando as areias das dunas, cultivo de coco, área de floresta Ombrófila encontrada dentro da APA do Morro do Urubu. Entre esses, destacam-se aspectos fitogeográficos, incluindo a presença da Floresta Ombrófila, uma formação vegetal típica de climas úmidos associada às altitudes do Grupo Barreiras; a Floresta Estacional, caracterizada por vegetação adaptada a variações sazonais; o Mangue, cuja vegetação se desenvolve em ambientes costeiros sujeitos a fortes oscilações de marés; e a Vegetação de Restinga, composta por espécies que recebem influência direta do ambiente marinho e são capazes de colonizar areias despidas, fixando-as de forma sólida [39]. Esses elementos desempenham um papel significativo na paisagem da área estudada [40].

A área de estudo é influenciada e abastecida pelos cursos d'água das bacias hidrográficas do rio Sergipe e do rio Vaza-Barris, atualmente com nove pontos de captação. Ainda, o controle das chuvas é assegurado pela barragem do Poxim-Açu, situada na bacia do rio Sergipe, e pelo rio Paramopama, um afluente do rio Vaza-Barris [39]. Situada no baixo curso da bacia hidrográfica do Rio Sergipe, a área de estudo apresenta um relevo predominantemente suave e pouco acidentado, caracterizado por superfícies de aplainamento e dissecação em certos trechos. Esta região está vulnerável a inundações e alagamentos, especialmente durante períodos de chuvas intensas, exacerbados pela impermeabilização do solo devido à crescente urbanização.

No que diz respeito ao clima, a área de estudo apresenta um clima predominantemente quente e úmido, com temperatura média anual de 27°C [41]. A precipitação pluviométrica média anual é de cerca de 1.600 mm [41], com uma concentração significativa de chuvas nos meses de março a agosto.

A região é caracterizada por sua riqueza e diversidade de ecossistemas costeiros, abrigando diversas espécies de animais e vegetais, incluindo aves migratórias, tartarugas marinhas, peixes, crustáceos e moluscos. No entanto, a zona costeira da RMA enfrenta desafios significativos, como a poluição da água, a degradação dos ecossistemas costeiros, a erosão costeira, a urbanização desordenada e a ocupação irregular do solo, que ameaçam a qualidade de vida da população local e a sustentabilidade ambiental da região. Além da questão do saneamento básico e da gestão de

resíduos, torna-se evidente que os problemas socioambientais são profundos, especialmente no que diz respeito à contaminação de recursos hídricos, solos e ar [20, 42].

Em análise da área de estudo, nota-se que a paisagem passou por uma transformação não somente pelas alterações do ambiente natural provenientes das novas relações socioeconômicas, mas também para a mudança na percepção do risco pela sociedade e apresenta níveis alarmantes de impactos que comprometem o regular funcionamento dos sistemas ambientais. Trata-se, portanto, de uma área com complexa dinâmica de funcionamento sistêmico de grande concentração populacional [20, 42].

Em síntese, a Região Metropolitana de Aracaju vem sofrendo uma considerável transformação física e socioeconômica nas últimas décadas, resultado de processos de urbanização frequentemente desordenados. No início da década de 1950, a maioria das áreas costeiras permanecia inalterada, mas atualmente são caracterizadas por uma alta densidade populacional, grandes hotéis e uma infraestrutura turística densa [43, 44].

## 2.2 Procedimentos de Análise

Este estudo apresenta uma compilação e cartografia da RMA no que diz respeito ao uso e ocupação do solo, hipsometria, declividade e susceptibilidade à eventos de inundação e deslizamentos. Foi organizado um banco de dados regionais na escala de 1:50.000 e geoprocessados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), através do uso do software ArcGIS Pro 3.1®, da Esri. Por conseguinte, foram gerados os produtos cartográficos padronizados na escala da RMA, para análise geoespacial e interpretações geográficas.

A fonte de dados empregada na distribuição espacial do uso e ocupação na RMA foi o MapBiomas, versão Beta, relativa ao ano de 2022, escolhida por ser a mais recente e com melhor resolução espacial. Quanto à análise da expansão urbana na RMA, foram utilizadas as coleções referentes aos anos de 1985, 2000, 2010 e 2022 do MapBiomas. Para a análise de hipsometria e declividade da região foram empregados os produtos do TopoData, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a partir de processamento de dados do modelo digital de elevação da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Na análise cartográfica das áreas susceptíveis às inundações e deslizamentos na RMA, foram utilizadas as cartas de susceptibilidade do Serviço Geológico do Brasil (SGB), relativas ao ano de 2022 [45].

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A área de estudo passou pela transformação física e socioeconômica principalmente nas últimas duas décadas, resultado do impacto significativo do crescimento da população e instalação de empreendimentos que desencadearam a criação de novos aglomerados urbanos a partir de 2001 na RMA. Este processo foi intensificado em 2009 com a implementação do Programa Minha Casa, Minha Vida. Conforme apontado em Nascimento (2017) [18], as aglomerações habitacionais na RMA vigoraram sob a lógica do segundo e terceiro momentos da política habitacional nacional.

O mapa de uso e ocupação do solo relativo à 2022 (Figura 2) apresenta claramente o predomínio das áreas urbanizadas na região costeira e entorno do rio Sergipe, com destaque para a capital Aracaju. Áreas de mangue podem ainda ser vistas às margens dos rios principais, enquanto atividades agropecuárias se intensificam sentido interior, intercalando-se com alguma vegetação nativa. A análise do uso e ocupação do solo na região revela diversas formas, incluindo quatro Unidades de Conservação – a APA Morro do Urubu em Aracaju, o Parque Municipal Ecológico do Tramandaí em Aracaju, a Paisagem Natural Notável em Aracaju/Barra dos Coqueiros e a Floresta Nacional do Ibura (FLONAI) em N.S. Socorro, descritas em Valenzuela et al. (2019) [42]. Além disso, a área conta com o Parque Eólico de Barra dos Coqueiros, composto por vinte e três unidades aerogeradoras, perfazendo 34,5 MW de capacidade instalada, bem como onze indústrias de extração e manipulação mineral e uma comunidade quilombola urbana conhecida como “A Maloca” [39].



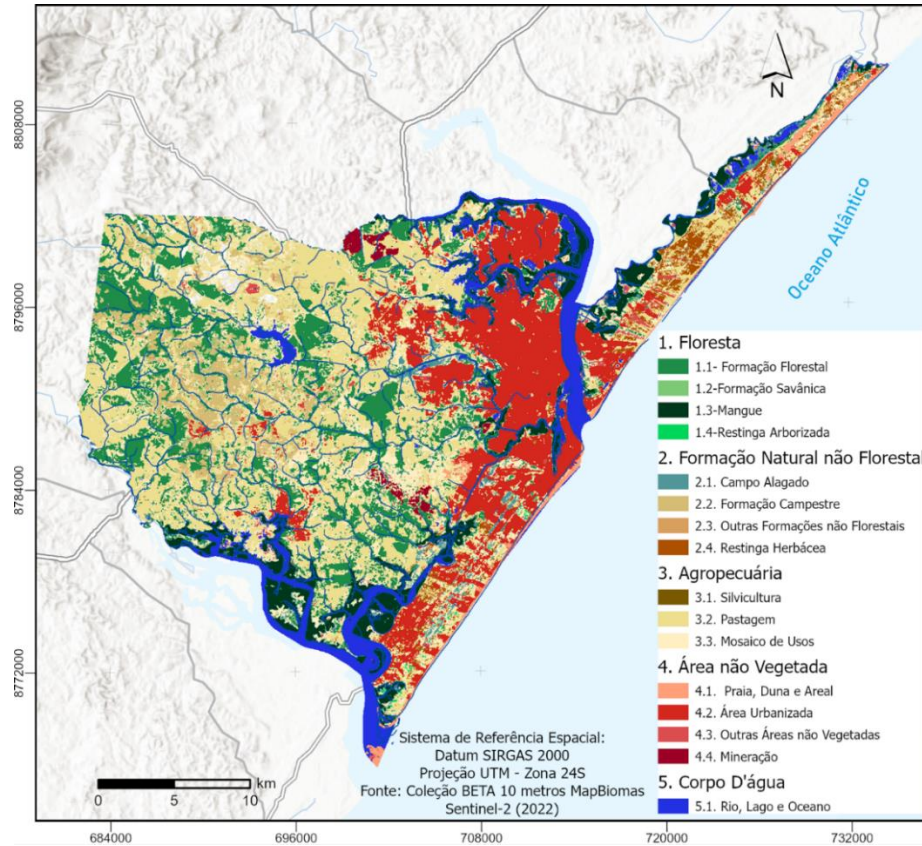


Figura 2: Mapa de uso e ocupação do solo na Região Metropolitana de Aracaju, em 2022.

Esse conjunto biofísico, caracterizado pela fragilidade de suas unidades naturais, tem testemunhado o crescimento da região, passando por transformações significativas na zona costeira. Conforme visto no gráfico de evolução da área urbanizada na RMA (Figura 3), a tendência ascendente indica um aumento consistente na urbanização ao longo do período de 1985 a 2022.

Na análise do crescimento da área urbanizada em cada intervalo de tempo, nota-se que entre 1985 e 2000 a área urbanizada quase dobrou, passando de aproximadamente 40 km<sup>2</sup> para 74 km<sup>2</sup>. Este aumento de cerca de 34 km<sup>2</sup> em 15 anos indica um crescimento urbano robusto, refletindo uma combinação de fatores, como o desenvolvimento econômico, aumento populacional e expansão de infraestrutura, como já mencionados. O crescimento anual médio nesse período foi de 2,27 km<sup>2</sup> por ano.

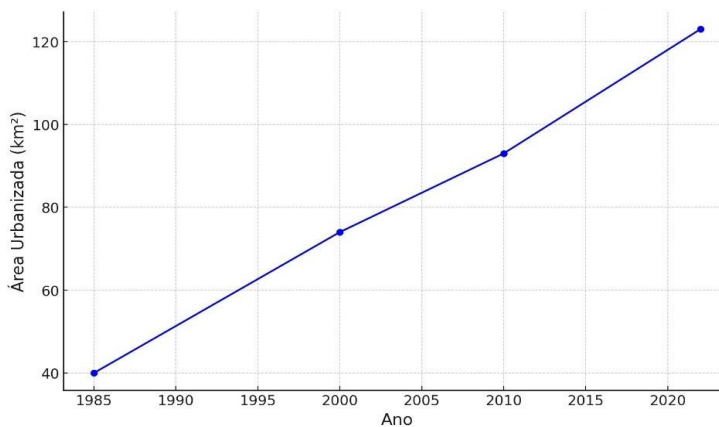


Figura 3: Expansão urbana da Região Metropolitana de Aracaju de 1985 a 2022. Fonte dos dados: coleções MapBiomias; elaboração dos autores.

No período de 2000 a 2010 houve um aumento de aproximadamente 19 km<sup>2</sup>, com a área urbanizada alcançando cerca de 93 km<sup>2</sup>. Embora o crescimento absoluto tenha sido menor do que no período anterior, ainda assim representa uma tendência contínua de urbanização. A taxa de crescimento anual diminuiu ligeiramente para 1,9 km<sup>2</sup> por ano. De 2010 a 2022, a área urbanizada expandiu-se em aproximadamente 30 km<sup>2</sup>, perfazendo cerca de 123 km<sup>2</sup>. Isso indica que a tendência de crescimento urbano não apenas continuou, mas acelerou quando comparado ao período de 2000 a 2010, com um aumento médio anual de aproximadamente 2,14 km<sup>2</sup> por ano, similar à tendência vista de 1985 a 2000.

O crescimento constante da área urbanizada ao longo desses 37 anos, praticamente linear em 2,2 km<sup>2</sup>/ano na RMA, pode ser atribuído a vários fatores, como o aumento da migração para áreas urbanas e políticas de expansão urbana. O crescimento urbano contínuo tem implicações significativas para a gestão de recursos naturais, serviços públicos, mobilidade urbana e qualidade de vida dos habitantes.

As implicações ambientais desse crescimento incluem o potencial para aumento da poluição, redução de áreas verdes e habitats naturais, além de alterações nos padrões de drenagem e hidrologia, que podem exacerbar os riscos de inundações e deslizamentos. Em contrapartida, o crescimento econômico associado à urbanização pode trazer melhorias na infraestrutura e no acesso a serviços.

A Figura 4 apresenta a distribuição das classes de declividade na região. Áreas com baixa declividade (verde claro) tendem a acumular água, aumentando o risco de inundações, o que se correlaciona com as zonas de inundação. Por outro lado, áreas com maior declividade (tons de amarelo a vermelho) geralmente permitem um escoamento mais eficiente da água, podendo reduzir o risco de inundações desde que haja um sistema de drenagem adequado, todavia são áreas mais susceptíveis a movimentos de massa.

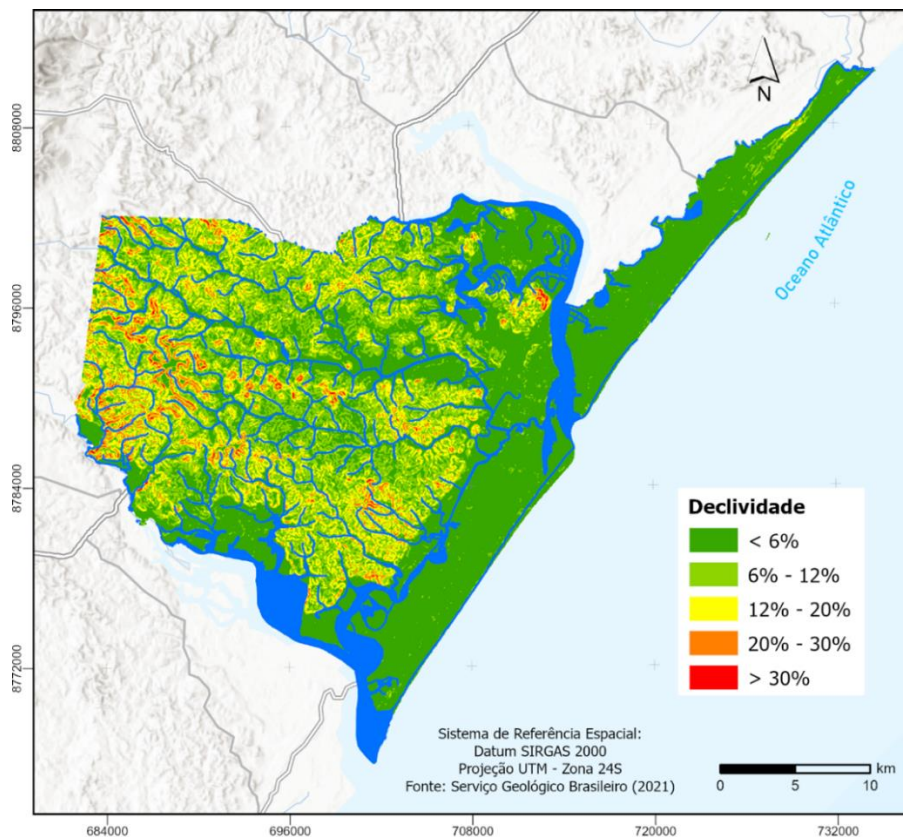


Figura 4: Mapa de declividade na Região Metropolitana de Aracaju.

Como resultado da crescente valorização e especulação imobiliária, especialmente na zona de expansão de Aracaju e Barra dos Coqueiros, tem acarretado alterações substanciais nas principais

características naturais, levando a problemas como alagamentos e erosão costeira, entre outros. Haja vista a relação às áreas mapeadas como susceptíveis à inundação (Figura 5). Na Figura 5 é apresentado o mapa de susceptibilidade à eventos de inundação na RMA, conforme o mapeamento realizado pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) em 2022 [45].

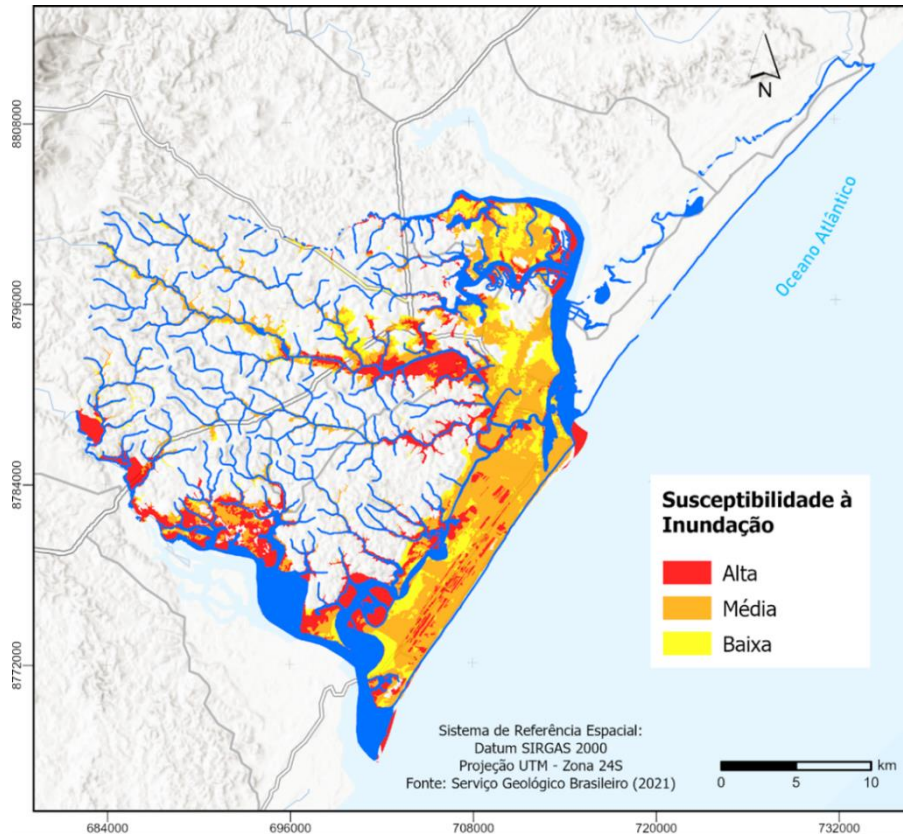


Figura 5: Carta de susceptibilidade à inundação na Região Metropolitana de Aracaju, em 2022. SBG [45].

As inundações e deslizamentos têm intensificado a necessidade de investigações críticas nas zonas costeiras. Não se trata apenas de problemas contemporâneos, mas sim de desafios que têm sido exacerbados pela magnitude do uso do solo e pelas dinâmicas climáticas no cenário atual, impondo uma nova ordem de funcionamento dos sistemas e resultando em impactos significativos. As linhas costeiras, mesmo que estejam localizadas dentro de um único continente, apresentam características morfológicas bastante distintas, podendo estar inseridas em relevos de baixa altitude, geralmente planos, com extensas e retas praias associadas a campos dunares, ou em relevos elevados.

Um fator impactante para as regiões litorâneas é a elevação do nível do mar e a previsão da sua continuação durante mais algumas dezenas de anos. Estima-se que o nível médio global dos mares (*Global Mean Sea Level - GMSL*) pode aumentar em aproximadamente 80 cm no século XXI [27], além do aumento na frequência de formações ciclônicas, responsáveis pela sobre-elevação do nível do mar de índole meteorológica (em inglês: *storm surge*). De acordo com um estudo realizado pelo Banco Mundial em 2014, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) alertou para os riscos decorrentes do aumento do nível do mar. Essa elevação pode resultar na inundação não apenas de rodovias costeiras, mas também de extensas áreas urbanas, causando danos significativos em estruturas como pontes, viadutos, calçadões e passarelas. Estima-se que esses eventos possam acarretar prejuízos econômicos anuais de até US\$ 940 milhões em 22 das principais cidades costeiras da América Latina.

Em análise geoespacial do mapa de uso e ocupação do solo, notamos uma significativa expansão de áreas urbanizadas (Figura 3) próximas a hidrografia e/ou sobrepostas a zonas



marcadas como de alta suscetibilidade a inundações (Figura 5). Essa sobreposição indica que a área urbanizada está eminentemente susceptível ao risco de inundações e enchentes, sendo estes, processos derivados de fenômenos naturais de caráter hidrometeorológico e/ou hidrológico.

A ocorrência de inundações é um problema geoambiental que está diretamente ligado à quantidade e à intensidade das chuvas, bem como à magnitude da taxa de infiltração de água no solo. Trata-se de um fenômeno intensificado por alterações antrópicas, especialmente pelo modelo de urbanização que inclui a ocupação de áreas de planície suscetíveis a inundações. Essa ocupação desafia a natureza, mesmo em cidades com topografia relativamente plana, onde a infiltração seria naturalmente favorecida. Como é o caso da RMA, vistos também por Duarte et al. (2021) [19], onde o desenvolvimento não acompanha a implementação adequada de infraestrutura de drenagem ou onde a impermeabilização do solo impede a absorção natural de água, estudos como.

Os manguezais (indicados em verde-escuro no mapa de uso do solo, Figura 3) estão frequentemente localizados em regiões com alta e média suscetibilidade a inundações, o que reforça a importância desses ecossistemas na proteção contra inundações. Manguezais agem como barreiras naturais, absorvendo o excesso de água de marés e chuvas e reduzindo a velocidade do escoamento superficial.

Ao analisar a correlação entre as cartografias, podemos notar que a urbanização desordenada em áreas de baixa declividade e setores de alta suscetibilidade a inundações colocam pessoas e moradias em situações de risco.

Similarmente, observam-se na Figura 6 as áreas mapeadas como susceptíveis à situação de risco à movimentação de massa, no caso a carta de suscetibilidade a eventos de deslizamento. Quando comparamos o mapa de deslizamento com os dados de uso do solo e áreas de inundação previamente analisados, podemos estabelecer uma relação entre o grau de urbanização e os riscos de deslizamentos. As áreas urbanizadas situadas em zonas de risco de deslizamento, especialmente em Aracaju, suscitam preocupações com a segurança estrutural das construções e a necessidade de medidas de mitigação, como aventado por Franco et al. (2021) [13].

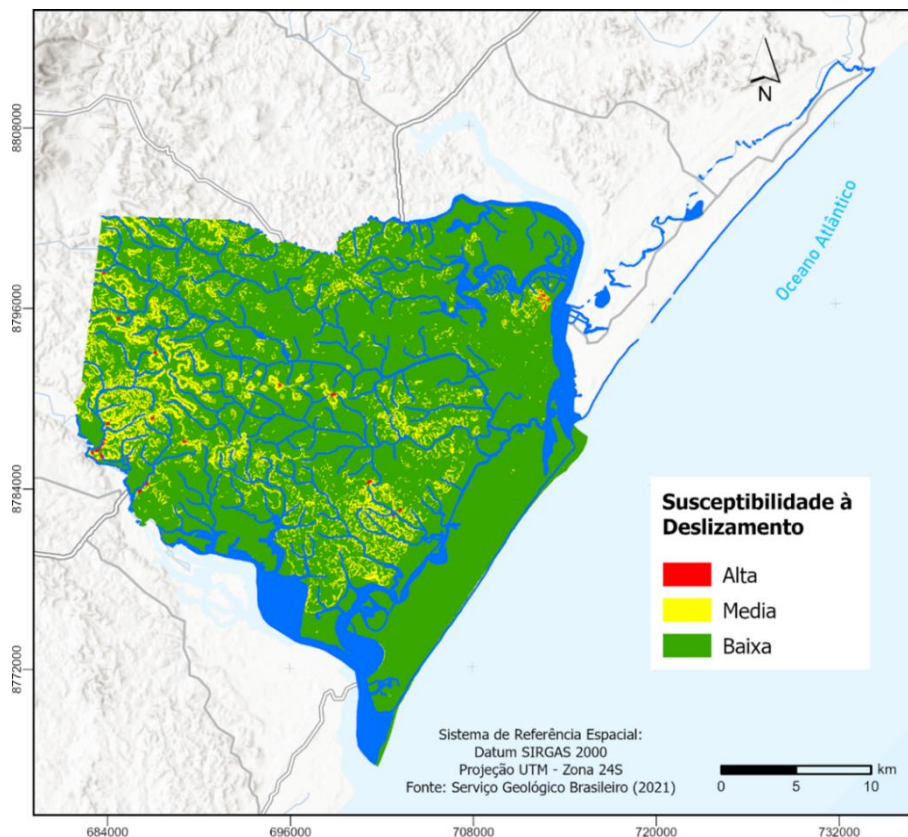


Figura 6: Carta de suscetibilidade a deslizamentos na Região Metropolitana de Aracaju, em 2022 [45].

Áreas com alta urbanização geralmente sofrem alterações na drenagem natural e no escoamento de água superficial, o que pode aumentar a susceptibilidade tanto a inundações quanto a deslizamentos. Estruturas de concreto e asfalto aumentam o escoamento superficial, reduzindo a infiltração de água no solo, sobrecarregando a drenagem urbana. Isto não apenas contribui para o risco de inundação, mas também pode aumentar a pressão hidrostática sobre as encostas, levando a deslizamentos.

Áreas com vegetação densa, como as florestas e áreas de mangue, muitas vezes apresentam menor risco de deslizamento devido ao papel das raízes das plantas na estabilização do solo. Isso sugere que a manutenção ou restauração de vegetação natural pode ser uma estratégia eficaz para mitigar os riscos de deslizamentos, além de oferecer benefícios em termos de mitigação de inundações.

O risco de deslizamentos tende a ser mais elevado em áreas com maior declividade. Portanto, a análise integrada dos mapas de declividade e de risco de deslizamento fornece dados cruciais para o planejamento do uso do solo e o gerenciamento na Região Metropolitana de Aracaju (RMA). Essas informações são essenciais para elaborar estratégias eficazes de prevenção e mitigação de deslizamentos.

Estes resultados e discussões ressaltam a necessidade de uma gestão integrada que considere os aspectos da geografia física, uso e ocupação do solo, interações socioambientais e sistemas costeiros. As áreas de alto risco de deslizamento deve ser cuidadosamente geridas para evitar a urbanização densa, além disso, carecem ser alvo de estratégias específicas de mitigação, como muros de contenção, drenagem adequada e reflorestamento, decisões necessárias para reduzir a susceptibilidade aos riscos.

A análise indica que é necessário um planejamento urbano que leve em consideração os riscos de inundações e a capacidade do terreno para lidar com o escoamento das águas pluviais. Além disso, evidencia a necessidade de preservar áreas naturais, como manguezais, que oferecem serviços ecossistêmicos essenciais, inclusive a proteção contra eventos extremos de inundações. Os dados apresentados reforçam a importância de uma abordagem integrada na gestão costeira considerando todas as variáveis geográficas e socioambientais para garantir o desenvolvimento sustentável da região metropolitana de Aracaju frente aos desafios das alterações climáticas.

A área ainda carece de estudos das políticas de gestão costeira integrada, particularmente sobre o viés da vulnerabilidade socioambiental aos processos potencialmente perigosos. Dada a complexidade da gestão costeira no Brasil, marcada por desafios de integração e execução eficaz, torna-se imperativo o investimento em pesquisa para entender melhor as dinâmicas costeiras e o impacto das atividades humanas, bem como para desenvolver métodos de gestão adaptativa.

#### **4. CONCLUSÃO**

A cartografia das áreas susceptíveis à inundação e deslizamentos ressalta a importância de uma gestão eficaz da região, considerando a exposição aos riscos e a vulnerabilidade socioambiental dos setores. A integração de dados geoespaciais e análises multidisciplinares é fundamental para identificar áreas críticas e assim subsidiar estratégias de mitigação. Os desafios enfrentados pela Região Metropolitana de Aracaju refletem uma realidade nacional e global da crescente urbanização e pressão sobre as zonas costeiras.

Este estudo revela uma taxa de aumento de cerca de 2,2 km<sup>2</sup>/ano da área urbanizada na RMA, considerando o período de 1985 a 2022, particularmente expressiva em áreas de baixa declividade e susceptíveis à inundação, notadamente nas zonas de expansão em Aracaju e Barra dos Coqueiros. A expansão urbana na região não dá indícios de desaceleração, além de possuir tendência de continuar a ocupar áreas susceptíveis a inundações e, com o crescimento desordenado, aumentar os riscos associados a ocupações em áreas susceptíveis a deslizamentos.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores agradecem ao

Programa de Pós-Graduação junto à Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) pelo suporte dado para o desenvolvimento da pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nicolodi JL, Scherer MEG, de Camargo JM, Corraini NR, Moreira J. A gestão da zona costeira do Brasil e a economia azul. In: Santos T, Beirão AP, Filho MC de A, Carvalho AB, editors. *Economia azul: vetor para o desenvolvimento do Brasil*. São Paulo: Essencial Idea Editora; 2022.
2. Muehe D, Lins-de-Barros FM, Pinheiro LS, editores. *Geografia Marinha: Oceanos e costas na perspectiva de geógrafos*. 1. ed. Rio de Janeiro: Caroline Fontelles Ternes; 2020.
3. Vikou SV, de Paz OLS, Pilatti DM, de Paula EV. Análise da pressão antrópica sobre manguezais urbanos: Subsídios à proteção ambiental e ao ordenamento territorial. *Sociedade e Natureza*. 2023 Apr 25;35(1):1-15. doi: 10.14393/SN-v35-2023-67515
4. Schmidt L, Prista FDSP, Saraiva T, Gomes C. Alterações climáticas, sociais e políticas em Portugal: processos de governança num litoral em risco. *Ambient e Sociedade*. 2012;XV:23-40. doi: 10.1590/S1414-753X2012000100003
5. Passos AS, Deus LAB, Santos PRA, Dias FF. Modeling of occupation and land use in the coastal zone of the municipality of Mangaratiba-RJ and its implications using the LCM tool and orbital images. *Anuário do Inst Geociências - UFRJ*. 2020 Mar;43(1):346-54. doi: 10.11137/2020\_1\_346\_354
6. Carriço JM, Pinho RML. A urbanização na zona costeira e os impactos ambientais – O caso da RMBS no Estado de São Paulo. *Leopoldianum*. 2021;47(131):21-39. doi: 10.58422/releo2021.e1117
7. Santos Oliveira Mota L, Melo e Souza R. Cenários ambientais prospectivos para a gestão da paisagem costeira urbana em Aracaju/SE. *Sociedade e Natureza*. 2021;33:e56305. doi: 10.14393/SN-v33-2021-56305
8. de Brito AGM, de Almeida LQ, de Medeiros MD, Farias JF. Áreas de vulnerabilidade em Natal/RN, Brasil: Análise da zona de proteção ambiental (ZPA 9). *Caminhos Geogr*. 2019 Dec 23;20(72):433-53. doi: 10.14393/RCG207246613
9. Oliveira LN, Cunha LJS, Cruz MLB, Pereira EC. Índice De resiliência natural em bacias hidrográficas: O caso do baixo curso do Rio Poti. *Caminhos Geogr*. 2020;21(75):185-200. doi: 10.14393/RCG217551190
10. Rocha CS, Vasconcelos FP, Amaral DN, Casemiro MB, Barra OAOL. Vulnerabilidade socioambiental como base para a gestão costeira no município de Paracuru – Ceará. *Rev Brasileira de Geografia Física*. 2020;13:2820-39. doi: 10.26848/rbgf.v13.6.p2820-2839
11. Mansano AP, Serrano ROP. Mapeamento da área de inundação da bacia do Igarapé São Francisco – AC em março de 2023 no contexto Agenda 2030. *Rev Tecnol Gestão Sustentável*. 2023;2(March):202-15. doi: 10.17271/rtgs.v2i6.4315
12. Sutrisno D, Rahadiati A, Rudiastruti AW, Dewi RS, Munawaroh. Urban coastal flood-prone mapping under the combined impact of tidal wave and heavy rainfall: A proposal to the existing national standard. *ISPRS Int J Geo-Information*. 2020 Sep;9(9):525. doi: 10.3390/ijgi9090525
13. Franco LS, Figueiredo FT, Gomes PVO, Araújo IBA. Análises hierárquica e de regressão linear aplicadas aos mapeamentos de suscetibilidade e de risco aos movimentos de massa (Bairro Cidade Nova, Aracaju – SE, Brasil). *Geologia USP Série Científica*. 2021 Oct;21(3):85-107. doi: 10.11606/issn.2316-9095.v21-183696
14. Santos MRS, Vitorino MI, Pereira LCC, Pimentel MAS, Quintão AF. Socioenvironmental vulnerability to climate change: Conditions of coastal municipalities in Pará State. *Ambiente Sociedade* 2021;24:1-22. doi: 10.1590/1809-4422asoc20200167r1vu2021L3AO
15. de Koning K, Filatova T. Repetitive floods intensify outmigration and climate gentrification in coastal cities. *Environ Res Lett*. 2020 Mar;15(3):034008. doi: 10.1088/1748-9326/ab6668
16. Keenan JM, Hill T, Gumber A. Climate gentrification: from theory to empiricism in Miami-Dade County, Florida. *Environ Res Lett*. 2018 May;13(5):054001. doi: 10.1088/1748-9326/aabb32
17. Pinheiro GDS, Tupiassu L, Reymão AEN. Coastal management in Brazil from the perspective of the public policy cycle: Analysis of the “multiscale management” proposed in the National Coastal Management Plan. *Cambridge Prism Coast Futur*. 2023;1:1-10. doi: 10.1017/cft.2023.28
18. do Nascimento MMP, de Araújo HM. Ocupação habitacional na Região Metropolitana de Aracaju/SE: Relações com o ambiente e condições de infraestrutura urbana. *Rev Bras Geogr Fís*. 2017;10:160-75. doi: 10.5935/1984-2295.20170008
19. Duarte TLS, Santos GC, Castelhana FJ. Eventos de chuvas extremas associados aos riscos de inundações e de alagamentos em Aracaju/SE. *Geosaberes*. 2021;12:256-73. doi: 10.26895/geosaberes.v12i0.1089

20. Mota LSO, Souza RM. Produção de cenários de riscos ambientais: O caso da planície costeira de Aracaju/Sergipe. *Caminhos Geogr.* 2022;23(87):206-23. doi: 10.14393/RCG238759193
21. Nascimento M, de Araújo HM. A urbanização extensiva de Aracaju e a formação de novos aglomerados habitacionais: avaliação a partir da desagregação de dados dos CENSOS-IBGE. *Caderno Geogr.* 2018 Feb;28(52):166-96. doi: 10.5752/p.2318-2962.2018v28n52p166
22. Valencio N. Dos riscos emergentes aos desastres recorrentes: Os desafios de segurança ontológica ante uma gestão pública obtusa. In: Mendonça F, editor. *Riscos híbridos: Concepções e perspectivas socioambientais*. São Paulo: Oficina de Textos; 2021. p. 112-42.
23. Cardona OD. 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, editors. *Mapping vulnerability: Disasters, development, and people*. London: Earthscan; 2004. p. 37-51.
24. Buffon EAM, Mendonça F. Riscos híbridos. In: Mendonça F, editor. *Riscos híbridos: Concepções e perspectivas socioambientais*. 1st ed. São Paulo: Oficina de Textos; 2021. p. 24-9.
25. Cutter SL, Boruff BJ, Shirley WL. Social vulnerability to environmental hazards. *Soc Sci Q.* 2003 Jun;84(2):242-61. doi: 10.1111/1540-6237.8402002
26. UNISDR. Terminology on disaster risk reduction. In: *Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives*. Geneva: United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR); 2009.
27. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva (CH): IPCC; 2014. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_wcover.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf)
28. Rocha C, Antunes C, Catita C. Coastal vulnerability assessment due to sea level rise: The case study of the Atlantic coast of Mainland Portugal. *Water.* 2020;12(2):2-25. doi: 10.3390/rs15235592
29. Cutter SL. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. *Rev Crit Cienc Sociais.* 2011 Jun;(93):59-69. doi: 10.4000/rccs.165
30. Sulaiman SN. *GIRD+10: Caderno técnico de gestão integrada de riscos e desastres*. 1st ed. Brasília (DF): Ministério do Desenvolvimento Regional Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil - SEDEC; 2021.
31. Polette M. Gestão e governança costeira e marinha. In: Muehe D, Lins-De-Barros FM, Pinheiro LS, organizadores. *Geografia Marinha: Oceanos e costas na perspectiva de geógrafos*. Rio de Janeiro: PGGM; 2020. p. 292-340.
32. Sorensen J. National and international efforts at integrated coastal management: definitions, achievements, and lessons. *Coastal Manag.* 1997;25:3-41. doi: 10.1080/08920759709362308
33. Bio A, Gonçalves JA, Pinho JLS, Vieira L, Vieira JMP, Smirnov G, et al. Indicadores de vulnerabilidade de erosão costeira: Um estudo de caso no Norte de Portugal. *Rev Gestão Costeira Integr.* 2020 Sep;20(3):197-209. doi: 10.5894/rgci-n337
34. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Censo demográfico 2022: População e domicílios (primeiros resultados)*. Rio de Janeiro (RJ): Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; 2023.
35. França SLA, Almeida VLJ, Melo CCS. Os dados preliminares do Censo 2022 na Região Metropolitana de Aracaju apontam novas tendências? [Internet]. *Observatório das Metrôpoles*; 22 set 2023 [acesso em 24 abr 2024]. Disponível em: <https://www.observatoriodasmetrosoles.net.br/os-dados-preliminares-do-censo-2022-na-regiao-metropolitana-de-aracaju-apontam-novas-tendencias/>
36. Bittencourt ACSP, Martin L, Dominguez JML, Ferreira YA. Evolução paleogeográfica quaternária da costa do estado de Sergipe e da costa sul do estado de Alagoas. *Rev Bras Geociências.* 1983 Jun;13(2):93-7. doi: 10.25249/0375-7536.19831329397
37. Cunha FM. Aspectos morfológicos da costa de Sergipe ao sul de Aracaju. *Bol Tec Petrobrás.* Rio de Janeiro (RJ): Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobrás; 1980.
38. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). *Delimitação da área de atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros*. OS No 09/2014. Relatório Final. Aracaju (SE): EMBRAPA Tabuleiros Costeiros; 2014.
39. Sergipe. Secretaria de Estado do Planejamento da Ciência e da Tecnologia. *Atlas digital sobre os recursos hídricos de Sergipe*. Sergipe: SEPLANTEC/SRH; 2011.
40. Brasil. Projeto RADAMBRASIL: Folha SC.24/25 Aracaju/Recife: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro (RJ): Departamento Nacional de Produção Mineral; 1983. Reimpresso em 2006.
41. Sergipe. Superintendência de Recursos Hídricos (SRH) [Internet]; 2016 [acesso em 24 abr 2024]. Disponível em: [https://portais.semec.se.gov.br/portalsrecursos\\_hidricos/index.php](https://portais.semec.se.gov.br/portalsrecursos_hidricos/index.php)



42. Valenzuela GB, Gonçalves RM, Sousa PHGO, Queiroz HAA. Fragmentação da paisagem na região metropolitana de Aracaju-SE, Brasil. *Rev Bras Cartogr.* 2019;71(3):647-78. doi: 10.14393/rbcv71n3-46623
43. Birkmann J, von Teichman K, Welle T, González M, Olabarrieta M. O risco não percebido para as zonas costeiras da Europa: Os tsunamis e a vulnerabilidade de Cádiz, Espanha. 2011;93:129-65. doi: 10.4000/rccs.1368
44. Strauss BH, Kulp SA, Rasmussen DJ, Levermann A. Unprecedented threats to cities from multi-century sea level rise. *Environ Res Lett.* 2021 Nov;16(11):114015. doi: 10.1088/1748-9326/ac2e6b
45. Lopes ND, Dias R. Serviço Geológico do Brasil (SGB). Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação da região de Aracaju. Sergipe: SGB; 2022. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22663>