

ÍNDICE DE EXPOSIÇÃO FÍSICA À INUNDAÇÃO EM ÁREA PRIORITÁRIA NO RIACHO DO ANGELIM – SÃO LUÍS, MA

INDEX OF PHYSICAL EXPOSURE TO FLOODING IN A PRIORITY AREA IN ANGELIM CREEK -
SÃO LUÍS, MA

Danyella Vale Barros França¹
Ricardo Gonçalves Santana²
Débora Frazão Ferreira³
Andreza dos Santos Louzeiro⁴
Luiz Carlos Araújo dos Santos⁵

RESUMO

As inundações são fenômenos naturais que em ambientes urbanizados podem tornar-se desastrosos. Atualmente, constituem um dos eventos hidrogeomorfológicos mais frequentes no Brasil. Por isso, compreender as etapas que compõem uma situação de risco é fundamental para as pesquisas que subsidiarão políticas públicas de resposta a estes eventos. Por essa razão, entende-se que compreender os fatores de exposição ao perigo natural – inundação, é o primeiro passo para os estudos detalhados de risco. Neste sentido, o presente artigo objetiva analisar o nível de exposição física a inundação na área prioritária do riacho do Angelim, com base na construção do índice de

¹ Doutoranda em Geografia pelo Programa de Pós Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço - PPEGO/UEMA. Técnica do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos - IMESC. E-mail: danyellabarrosgео@hotmail.com

² Doutorando em Geografia pelo programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço - PPGeo da Universidade Estadual do Maranhão UEMA. Técnico no Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos IMESC. E-mail: ricardogsantana19@hotmail.com

³ Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço. E-mail: ferreiradeboraa05@gmail.com

⁴ Pós-Doutorado em Andamento pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Maranhão (PPGeo-UEMA); Doutora em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGe-UFRN. Docente no curso de Geografia da Universidade Estadual do Maranhão (UFMA). E-mail: andreza_louzeiro@hotmail.com

⁵ Doutorado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2012). Atualmente é professor Adjunto IV do Departamento de Geografia, e professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço PPGeo da Universidade Estadual do Maranhão. Coordenador do Grupo de Pesquisa da Amazônia Oriental GEOAMAZON.

exposição física (InEx). Para alcançar o objetivo proposto realizou-se trabalhos de campo, mapeamento temático e a construção do InEx. As características físicas da área apresentam potencial natural para a ocorrência de inundações, e as alterações urbanas realizadas mostram atualmente como é o comportamento da geomorfologia urbana. Os setores 1, 8 e 9 apresentaram uma exposição física muito alta ao perigo natural em análise, enquanto os setores 2 e 7 apresentaram um InEx alto. Os setores 4 e 6 apresentaram um InEx médio e os demais setores apresentaram um índice de exposição física à inundação muito baixo ou baixo.

PALAVRAS-CHAVE: Setorização; Perigo natural; Risco; Áreas de risco.

ABSTRACT

Floods are natural phenomena that can become disastrous in urbanized environments. They are currently one of the most frequent hydrogeomorphological events in Brazil. For this reason, understanding the stages that make up a risk situation is fundamental for research that will support public policies to respond to these events. For this reason, it is understood that understanding the factors of exposure to the natural hazard - flooding - is the first step towards detailed risk studies. With this in mind, this article aims to analyze the level of physical exposure to flooding in the priority area of the Angelim stream, based on the construction of the physical exposure index (InEx). In order to achieve the proposed objective, fieldwork, thematic mapping and the construction of the InEx were carried out. The physical characteristics of the area present a natural potential for flooding, and the urban alterations carried out currently show how the urban geomorphology behaves. Sectors 1, 8 and 9 had a very high physical exposure to the natural hazard under analysis, while sectors 2 and 7 had a high InEx. Sectors 4 and 6 had a medium InEx and the other sectors had very low or low physical exposure to flooding.

KEYWORDS: Sectorization; Natural hazard; Risk; Risk areas.

INTRODUÇÃO

Os estudos que carregam em sua natureza a questão ambiental como ideia central, precisam percorrer sobre os caminhos da dialética, considerando de suma importância a análise entre sociedade e natureza. Sob a perspectiva capitalista, até o século XIX, a natureza era considerada como um mero objeto, ou seja, uma fonte de recursos a ser explorada para satisfazer as necessidades humanas (CUNHA; GUERRA, 2012).

No entanto, essa mentalidade gerou um desequilíbrio na tríade sociedade/natureza/espço geográfico. O que desencadeou problemas diversos para o ambiente e para a humanidade. Entre as complexidades geradas, está a formação das áreas de risco, que se caracterizam por moradias em locais inadequados, onde grupos sociais, frequentemente em situação socioeconômica frágil, constroem habitações em ambientes suscetíveis a fenômenos como enchentes, inundações, erosões, movimentos de massa e dentre outros.

Atualmente, o ser humano é considerado como o principal agente modificador do espaço geográfico, tendo no ambiente urbano a concretização desta argumentação. Mediante as formas que a sociedade se organiza e o uso que faz dos recursos naturais tem-se o estabelecimento de complexidades ambientais que não possuem resolução rápida.

A partir dessa perspectiva, os estudos sobre risco a inundações ganham destaque, uma vez que esse fenômeno resulta de uma complexa interação entre fatores naturais e antrópicos, essencialmente em áreas urbanas diagnosticamente vulneráveis. Assim, embora as inundações sejam classificadas como fenômenos naturais, pois é comum para o funcionamento da dinâmica fluvial, torna-se potencialmente destrutivo quando alterado por fatores antrópicos (COSTA, 2018).

As inundações representam um dos fenômenos hidrogeomorfológicos mais frequentes e devastadores em território nacional e se replica ao redor do globo. No Brasil, afeta diversos municípios e regiões, principalmente durante o período das chuvas intensas. Como resultado da ocorrência deste fenômeno, tem-se danos materiais significativos, por vezes perdas humanas, além de impactos socioambientais e socioeconômicos significativos.

As inundações no Brasil causam impactos devastadores, principalmente nas áreas urbanas, onde a vulnerabilidade é maior devido à concentração de população e infraestrutura inadequada. Farias e Mendonça (2022) destacam que, em muitas

cidades brasileiras, a falta de planejamento urbano e o crescimento desordenado tornam as pessoas mais expostas aos eventos de inundação.

Nesta perspectiva, as pesquisas relacionadas aos riscos de inundações envolvem a compreensão de vários fatores, desde a dinâmica climática até as questões relacionadas ao uso e ocupação do solo. A ocupação das áreas suscetíveis à inundação promove a estruturação das zonas de risco no ambiente urbano, uma vez que, o Brasil (2007, p. 26) por meio do Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, enfatiza que a suscetibilidade “indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em uma dada área”. Sendo assim, a suscetibilidade à inundações de uma determinada área é estabelecida por uma combinação de fatores naturais e antropogênicos que resultam na idealização das zonas urbanas com risco de inundação.

Com base nestes pressupostos, a literatura acerca da temática em questão ressalta que o risco de inundação é compreendido como a probabilidade de ocorrência de um evento em destaque, combinada com a gravidade dos impactos que esse processo pode provocar. Segundo a Lei nº 12.608/2012, que estabelece a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil no Brasil, a gestão do risco de desastres naturais, incluindo as inundações, envolve a previsão, prevenção e mitigação de suas consequências. Neste sentido, a noção de risco, conforme abordado por Lombardo e Freitas (2013), é influenciada pela interação de três componentes: ameaça, vulnerabilidade e exposição. A ameaça refere-se à probabilidade de um evento de inundação, a vulnerabilidade é a fragilidade das populações e infraestruturas diante desse evento, enquanto a exposição se refere à quantidade de pessoas e bens que estão localizados na área de risco.

Neste sentido, compreender cada etapa até chegar ao risco é fundamental na pesquisa de áreas suscetíveis a ocorrência de inundações, por essa razão, entende-se que compreender os fatores de exposição ao perigo natural é o primeiro passo para os estudos detalhados de risco.

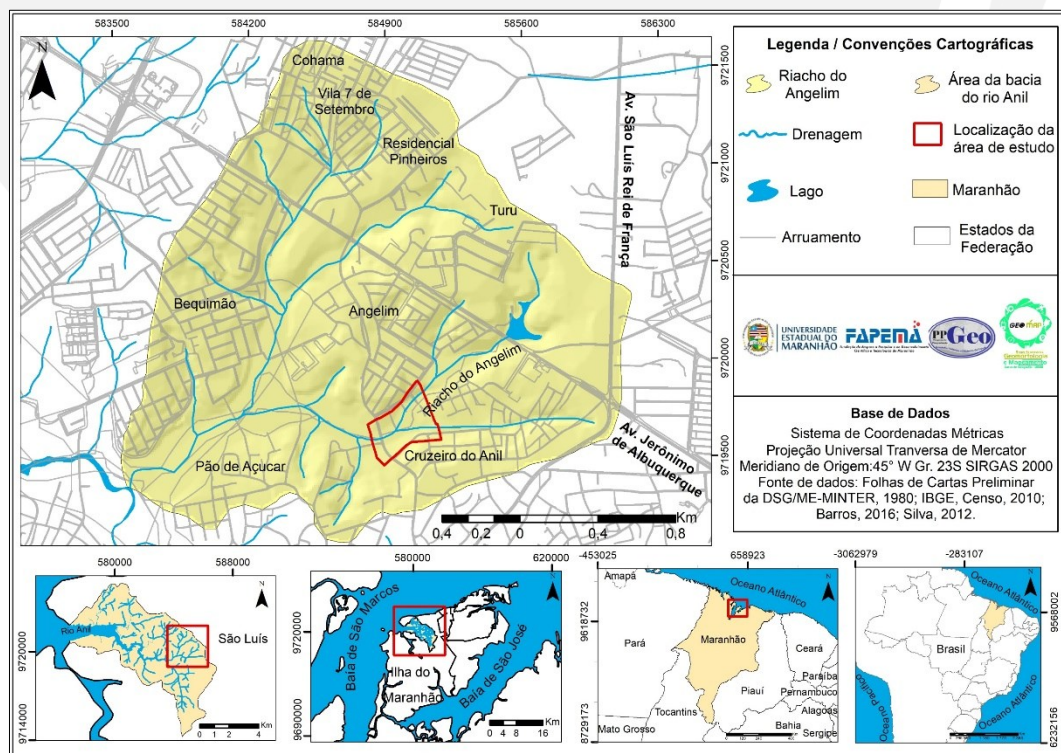
Considerando que no Brasil diversas pesquisas têm sido realizadas no que diz respeito a análise de áreas de risco e que diversas são as metodologias aplicadas, considerou-se aqui os a escolha de uma área prioritária para a compreensão dos fatores de exposição de risco a inundação. Em São Luís - MA, as problemáticas que envolvem os fenômenos de inundação são cada vez mais recorrentes ao longo dos anos

(SANTANA et al, 2019), por esta razão, optou-se por realizar um recorte espacial em análise local, para uma compreensão detalhada da realidade.

Desta forma, optou-se pela bacia hidrográfica do Anil como área hidrográfica, que segundo Silva (2012) a classifica como a quarta maior em dimensão areal na Ilha do Maranhão. Dentro desta bacia, considerou-se o riacho do Angelim no médio curso do Anil que tem passado por diversas alterações geomorfológicas nos últimos dez anos. E assim, delimitou-se uma área prioritária em escala local no bairro Novo Angelim. Portanto, este artigo objetiva analisar o nível de exposição física a inundação na área prioritária no riacho do Angelim, a partir da construção do índice de exposição física – InEx.

A área prioritária em análise localiza-se na Ilha do Maranhão, no território municipal de São Luís, mais precisamente, no médio curso da bacia hidrográfica do rio Anil, intitulada sub-bacia hidrográfica do Riacho do Angelim (Figura 1). Na área objeto de estudo, houve um intenso processo de ocupação não ordenado, sem um planejamento ambiental/territorial prévio que culminou na descaracterização de diversas morfologias do relevo.

Figura 1: Mapa de localização da área prioritária na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim – São Luís/MA



Fonte: Autores (2024).

Esta localidade engloba o bairro Novo Angelim, que em virtude dos seus aspectos sociais e morfológicos do tecido urbano está categorizado como favelas e comunidades urbanas. Essa área surgiu a partir do processo de ocupação da área distrital Angelim (bairro planejado, proveniente do programa de Companhia de Habitação Popular em 1979), conforme aponta Santana (2021). Por esta razão, há diversas residências em áreas com restrição à ocupação definidas pela legislação ambiental ou urbanística, destacando-se aqui as áreas de planície fluvial e flúviomarinha, cabeceiras de drenagem, encostas e nos arredores dos cursos d'água.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os caminhos metodológicos para o desenvolvimento desta pesquisa foram: levantamento cartográfico e bibliográfico, mapeamento temático e trabalho de campo. O levantamento cartográfico se deu a partir do trabalho de Santana (2021), que desenvolveu um estudo sobre a fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana na sub-bacia hidrográfica do Riacho do Angelim. A partir desta pesquisa identificou-se uma área prioritária na sub-bacia em questão com risco a inundação, o que motivou a escolha desta localidade como área de estudo deste artigo, situada no bairro Novo Angelim, considerando uma análise local.

Para a estruturação do banco de dados deste trabalho utilizou-se as Cartas Planialtimétricas do Diretório do Serviço Geográfico do Exército – Ministério do Exército / Ministério do Interior - DSG/MINTER (1980) com escala de 1:10.000 sendo as folhas 14,15, 23 e 24 referentes à sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim. A partir destas cartas foram extraídas a drenagem, curvas de nível e pontos cotados da área. Utilizou-se também dados secundários de instituições oficiais como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e o Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM. De posse dessas informações foram espacializadas as seguintes características geoambientais: unidades geológicas, compartimentos do relevo, solos, drenagem, hipsometria, declividade e formas do terreno.

As informações sobre geologia, unidades de relevo e solos da área de estudo foram extraídos dos mapeamentos de Silva (2012) e Santana (2021). Os mapas de hipsometria e declividade foram elaborados a partir das curvas de nível com equidistância de cinco metros, por meio da geração de um Modelo Digital de Elevação – MDE. A espacialização das formas do terreno - curvatura vertical e horizontal das

vertentes -, foi estruturada a partir das concepções metodológicas propostas por Valeriano (2008), a partir das curvas de nível vetorizadas.

Essa etapa do trabalho esteve diretamente relacionada a caracterização do contexto geoambiental da área de estudo, com a finalidade de compreender o nível que a área apresenta de sofrer algum evento relacionado ao perigo natural evidente nesta pesquisa, a saber a inundação. Posteriormente, realizou-se um trabalho de campo, no dia 06 de dezembro de 2024 com a finalidade de validar as informações geradas no mapeamento temático referente aos aspectos fisiográficos da área, bem como para aplicar a ficha de identificação dos fatores de exposição física (FExp), conforme a metodologia proposta por Guerra et al (2009).

Para que a ficha de identificação dos fatores de exposição física (FExp) fosse aplicada, realizou-se a setorização da área prioritária. A poligonal estudada foi compartimentada em nove setores, considerando-se os aspectos geoambientais e de infraestrutura urbana. Os setores foram numerados de 1 a 9 a partir das imagens do *Google Earth*®, onde considerou-se as vias de acesso como área de transição entre os setores, bem como a presença dos canais de drenagem.

A partir disto elaborou-se o Índice de Exposição Física a Inundações – InEx, com base na metodologia de Guerra et al (2009) adaptada por Oliveira (2018) e Gomes (2020). Essa metodologia consiste na atribuição de valores a partir de níveis de exposição ao perigo natural (nesta pesquisa as inundações), considerando variáveis como drenagem natural, cobertura vegetal, impermeabilização, grau de assoreamento e outros, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Fatores de Exposição Física a Inundações – FExp

VARIÁVEIS ↓	NÍVEIS				
	I	II	III	IV	V
Drenagem Natural (quantidade de canais)	Fundo de vale que não recebe nenhuma contribuição de canais de drenagem	Local que recebe pouca contribuição de canais de drenagem	Local que recebe pouca contribuição de canais de drenagem	Local situado nas margens de lagoas ou no flanco de canais de drenagem	Local situado dentro do limite de vazão de uma lagoa, dentro de um talvegue ou canal de drenagem (canais de 1ª ordem)
Lançamento de detritos (lixo/entulho) dentro ou nas margens de rios	Ausência de lançamento de detritos	Presença de pequena quantidade de detritos	Presença razoável de quantidade de detritos	Presença de grande quantidade de detritos jogados a intervalos	Presença de grandes quantidades de detritos despejados frequentemente

Cobertura Vegetal	Floresta densa e estabilizada	Árvores de médio porte e bem concentradas	Árvores de pequeno porte e bem espaçadas com capim	Capim	Solo exposto
Impermeabilização das margens (% de ocupação das margens)	0 a 20%	21 a 41%	41 a 60%	61 a 80%	Acima de 81%
Grau de Assoreamento dos canais por sedimentos	Não assoreado	Pouco assoreado	Moderadamente assoreado	Muito assoreado	Extremamente assoreado
Drenagem em direção ao rio principal	Escoamento na direção contrária ao rio principal	Ruas pouco asfaltadas com fluxo de águas em direção ao rio principal	Ruas razoavelmente asfaltadas com drenagem em direção ao rio principal	Ruas muito asfaltadas ou de paralelepípedos com drenagem em direção ao rio principal	Ruas totalmente asfaltadas (impermeabilizadas) com direção ao rio principal
Rede de águas pluviais	Rede de águas pluviais com um grande número de bueiros/canaletas, com boa distribuição espacial e limpas	Rede de águas pluviais com quantidade razoável de bueiros/canaletas com distribuição espacial regular	Presença de bueiros/canaletas mal distribuídos que não são suficientes para a vazão da água	Presença de bueiros/canaletas mal distribuídos e frequentemente entupidos, e/ou canaletas quebradas	Ausência de bueiros/canaletas, canaletas quebradas e/ou canaletas com destino final nos rios
Qualidade estrutural das moradias	Casas revestidas com bom aspecto e utilização de materiais de construção (boa qualidade), fundação em material estável, longe da crista e base de taludes	Casas de alvenaria com ou sem revestimento, com fundação em material estável e estrutura deficiente	Casas de alvenaria com fundação e estrutura deficientes, com presença de rachaduras	Casas de alvenaria sem fundação, sem calha, estrutura deficiente, com presença de rachaduras	Casas de alvenaria sem fundação e sem estrutura, ou de madeira, ou outros materiais de baixa resistência, com rachaduras
Existência de acesso de pedestres e viários sem pavimentação (% de ruas não calçadas)	0 a 10%	11 a 25%	26 a 40%	41 a 50%	Acima 50%
Lançamento de esgoto	Rede de esgoto de boa qualidade e com tratamento	Rede de esgoto com problemas de vazamento	Presença de fossa e rede de esgoto com vazamento	80% fossa e/ou sumidouro/galerias	Presença de valas à céu aberto com destino ao rio

Fonte: Guerra *et al* (2009) adaptado por Gomes (2020).

Para a aplicação da ficha considerou-se o conhecimento prévio de quatro pesquisadores em campo, sendo um graduado, um mestrando e dois doutorandos, todos da área ambiental, para discutir o nível que cada setor se caracterizava segundo

as variáveis. Após essas análises, realizou-se o cálculo do índice de exposição física em gabinete, o qual não considera apenas os níveis dos fatores, mas também as pessoas expostas a ele, segundo Oliveira (2018) e Gomes (2020).

Para esta análise utilizou-se fórmulas que demonstraram a exposição por fator - EXf (Figura 2), os fatores de exposição física por setor - FExp (Figura 3) e o índice de exposição física a inundação - InEx (Figura 4). Na tabela 1 estão apresentados os resultados das análises matemáticas para a construção do índice.

Figura 2: Equação para a exposição por fatores mediante a aplicação dos pesos

$$EXf = Nvf * P$$

Onde:
 EXf – Exposição por fator;
 Nvf – Nível do fator;
 P – Peso.

Fonte: Gomes (2020).

Figura 3: Equação para os fatores de exposição física por setor

$$FExp = \frac{\sum EXf}{Qf}$$

Onde:
 FExp – Fatores de exposição física;
 EXf – Exposição por fator;

Fonte: Gomes (2020).

Figura 4: Equação para o Índice de Exposição Física - InEx

$$InEx = \frac{FExp * RS}{Qr}$$

Onde:
 FExp – Fatores de exposição física;
 RS – Residências por setor;

Fonte: Gomes (2020).

Tabela 1: Resultados das equações para a construção do InEx

IDENTIFICAÇÃO	FExp	Quantidade de residências	Quantidade média de residências	InEx
Setor 1	0,950	41	48,3	0,806
Setor 2	0,950	36		0,708
Setor 3	0,562	31		0,361
Setor 4	0,318	74		0,488
Setor 5	0,070	73		0,105
Setor 6	0,768	40		0,636
Setor 7	0,950	39		0,767
Setor 8	0,768	54		0,859
Setor 9	0,950	47		0,924

Fonte: Os autores (2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando que a área de estudo se situa no município de São Luís na Ilha do Maranhão, a caracterização dos aspectos climatológicos será discutida a partir da referida zona municipal, uma vez que as localidades se inter-relacionam e a dinâmica pluviométrica do setor prioritário faz parte do todo. Sendo assim, o clima da Ilha do Maranhão possui dois períodos bem definidos, um chuvoso, que engloba os meses de janeiro a junho; e um seco que compreende os meses de julho a dezembro.

A literatura especializada categoriza o clima da Ilha do Maranhão como tropical chuvoso, com períodos secos no inverno; quente com chuvas de verão, sendo do tipo Aw; e quente e úmido, com características equatoriais, segundo Silva (2012) fundamentada em Sousa (2005). Em relação a área administrativa de São Luís, Pinheiro (2018) a classifica como Tropical Típico Aw', isto é, tropical com chuvas de verão e outono.

Neste sentido, depreende-se que os quantitativos pluviométricos que se concentram no primeiro semestre do ano, são um elemento preponderante na deflagração de fenômenos hidrometeorológicos como as enchentes e inundações em toda a ilha. Essa dinâmica se replica na área de estudo, uma vez que a partir de pesquisas bibliográficas, noticiários e trabalhos de campo, constatou-se que anualmente há ocorrência de inundações, afetando a população residente.

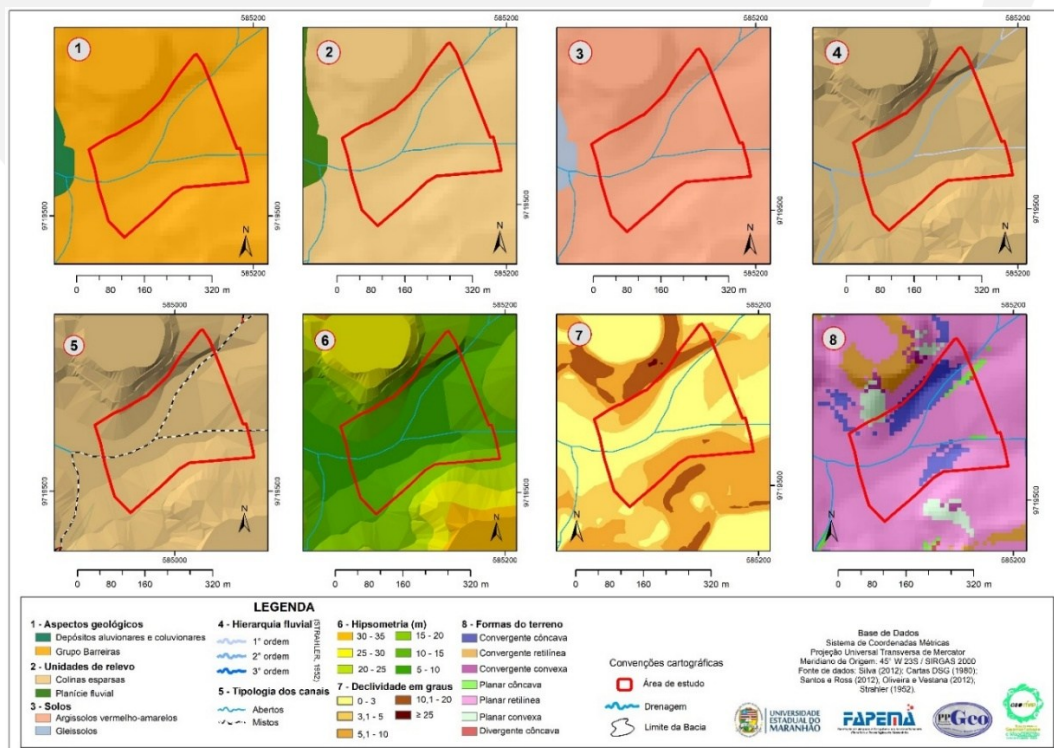
No que diz respeito a caracterização litológica da área prioritária, há o predomínio do Grupo Barreiras da era Cenozoica e Período Terciário/Meso-Mioceno, constituído por areias finas a médias e concentrações ferruginosas, com intercalações

argilas caulínicas; depositadas sobre unidades do Terciário Paleógeno (SGB/CPRM, 2012). Sobre essa unidade litológica desenvolveu-se uma unidade de relevo denominada de colina esparsa.

Segundo Silva (2012) fundamentada em Maranhão (1998) as colinas esparsas são relevos subtabulares, com pequenas elevações e declives suaves. Santana (2021) ressalta que este compartimento geomorfológico encontra-se inteiramente urbanizado na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, com ocupações em encostas brandas e íngremes. Ressalta-se aqui que na poligonal em estudo, tem-se uma estreita planície fluvial, que foi descaracterizada em função da urbanização, porém não foi espacializada devido a escala local de análise não estar compatível com a escala da base de dados vetoriais.

Em relação as questões morfométricas do relevo, o modelado encontra-se assentado entre as cotas de 5 a 15 metros, o que configura um relevo ligeiramente plano com suaves inclinações direcionadas para o canal, caracterizando um vale fluvial com talvegue bem delimitado. A área prioritária possui um terreno com inclinações brandas entre 0 e 5°, com o predomínio da classe de declividade entre 0 e 3°, ou seja, um relevo majoritariamente plano (Figura 5 – quadrículas 2, 6 e 7).

Figura 5: Mapa dos aspectos geoambientais da área prioritária no riacho do Angelim, São Luís - MA



Fonte: Elaborado a partir dos dados de Santana (2021).

Essas características morfológicas e morfométricas resultam em formas de terreno predominantemente do tipo planar retilínea e convergente côncava. De acordo com Machado e Lima (2013), algumas combinações na morfologia do terreno podem apresentar-se como formas extremas para os fenômenos hidrológicos. Segundo Colangelo (1996) e Guirra (2017), a forma de terreno do tipo planar retilínea, é considerada como intermediária ou de transição quanto à dispersão e acumulação do escoamento superficial.

Já a classe convergente côncava, possui um fluxo dominante para a concentração, resultando em um acúmulo hiperconcentrador, isto é, as águas provenientes das ocorrências pluviométricas em circulação na superfície tendem a se direcionar de forma concentrada para essas áreas. De acordo com França (2020) esse é um caso extremo de combinação de terreno pois tornam o ambiente natural mais favorável a ocorrência de inundações.

Os solos que se desenvolveram sobre as unidades geológico-geomorfológicas foram os Argissolos Vermelho-Amarelos, que apresentam uma baixa capacidade de infiltração rápida. Na superfície o processo de infiltração pode se dar mais rapidamente, no entanto em sub-superfície a infiltração é lenta devido a alta concentração de argila e ferro (Figura 5 - quadrícula 3). Essa característica pode favorecer a ocorrência de processos erosivos. No entanto, em áreas urbanas, os solos podem passar por descaracterização morfogenética, devido aos processos antropogênicos, e as características da geomorfologia urbana resultante é que predominam na ocorrência de alguns processos geomorfológicos nesses casos.

Desta forma, ao se analisar o contexto geoambiental da poligonal prioritária, tem-se um ambiente naturalmente favorável para a ocorrência dos eventos de inundação. Trata-se de uma área com material originário arenoso intercalado por argilas caulínicas, associado a um relevo predominantemente plano, com solos que apresentam menor capacidade de infiltração em sub-superfície, gerando maior capacidade de escoamento superficial, associado a formas de terreno que contribuem para a ocorrência de eventos hidrometeorológicos.

Associado aos fatores naturais tem-se a infraestrutura urbana estabelecida e as alterações antrópicas ocorridas sobre o modelado, as quais influenciam diretamente na ocorrência dos eventos de inundação. Segundo o SGB/CPRM (2020) a localidade em estudo é classificada como urbana de alta densidade “onde o revestimento do solo,

e consequente impermeabilização, representam a quase totalidade da superfície ocupada, prevalecendo o escoamento superficial das águas pluviais”.

Com a urbanização da área os solos e os canais de drenagem foram descaracterizados pela impermeabilização, bem como a planície fluvial. A drenagem na área prioritária é composta por canais de 2º ordem, conforme Sthraler (1952), os quais recebem certo volume hídrico oriundo dos canais de primeira ordem, somados as águas pluviais e os dejetos líquidos que são direcionados para os canais. Esta dinâmica resulta em excedente hídrico intenso, ocasionando as inundações.

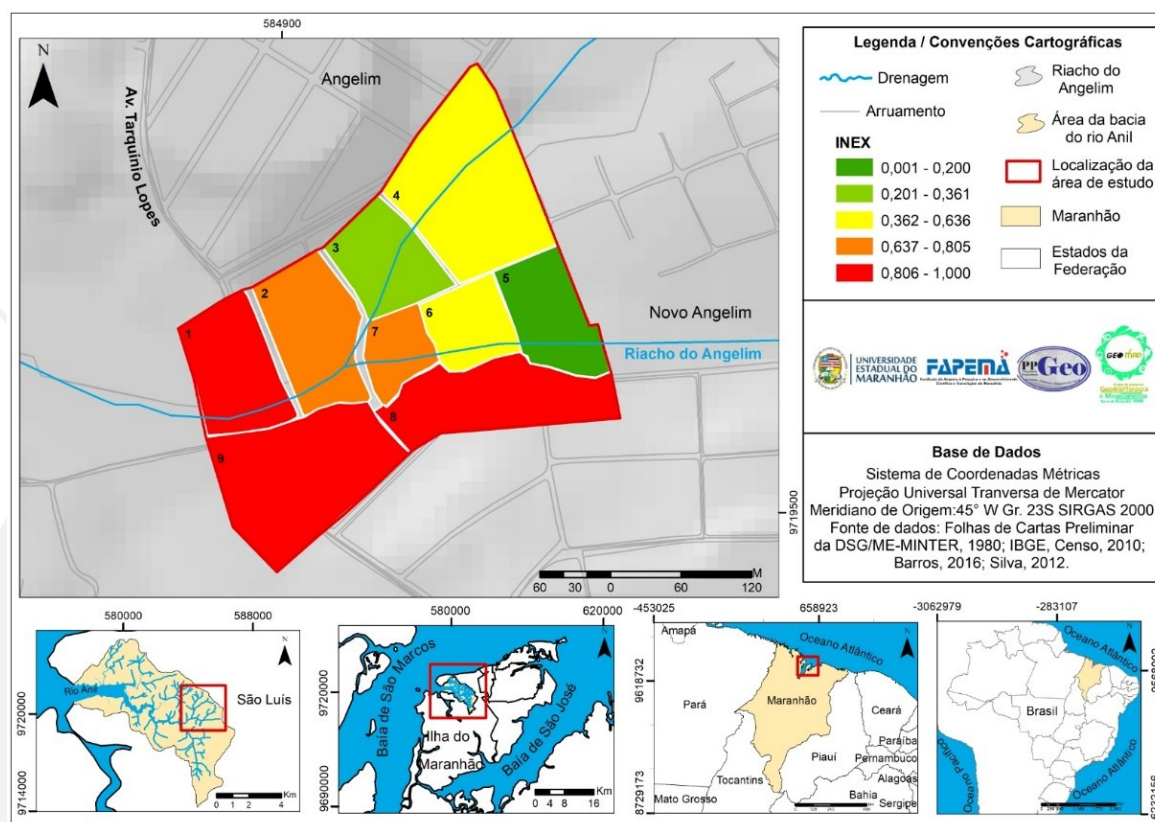
Considerando as alterações antrópicas na localidade, os canais foram morfologicamente alterados e são classificados conforme a proposta de Oliveira et al. (2004), como mistos, isto é, são abertos em determinados trechos e em outros, fechado. Essas alterações na morfologia da drenagem também contribuem para a intensidade da inundação na localidade, sobretudo pela perda da Área de Proteção Permanente – APP, que é a planície de inundação.

A partir do contexto da área prioritária, gerou-se os dados e espacializou-se o InEx (Figura 6), o que possibilitou representar e evidenciar as áreas mais problemáticas no que diz respeito à exposição física ao perigo de inundação, possibilitando uma análise espacial mais aproximada quando considerada a realidade da área. Gomes (2020) salienta que o InEx também permite ao pesquisador perceber que o resultado obtido não depende somente das condições ambientais propícias a um desastre, mas principalmente de quantas residências ou pessoas podem ser atingidas caso esse fenômeno se materialize.

Ressalta-se que a avaliação dos níveis ocorre a partir da comparação dentro da área de estudo, ou seja, os níveis de exposição física dos setores desta área prioritária não devem ser comparados com outras áreas da Ilha, pois a localidade considerada para análise é a área prioritária do riacho do Angelim.

Desta forma, o setor 1 apresentou muito alto índice de exposição física a inundação, estando localizado na margem esquerda do canal principal do riacho do Angelim. O setor possui seu limite inferior ao sul dentro do canal de drenagem, recebendo contribuição de outros afluentes. Na margem existem materiais tecnogênicos do tipo úrbicos, que segundo Peloggia (1998) são os detritos urbanos, frequentemente encontrados em fragmentos como tijolos, vidro, concreto, pregos, plástico, metais diversos, entre outros.

Figura 6: Índice de Exposição Física à Inundações em área prioritária no Riacho do Angelim, São Luís – MA



Fonte: Os autores (2024).

Houve supressão vegetal durante o processo de urbanização, possuindo um escasso remanescente de vegetação na margem do canal e no meio do setor, sendo este caracterizado com alto padrão de urbanização. Todas as ruas apresentam pavimentação asfáltica, sendo evidente a impermeabilização da área. Os dejetos líquidos da população residente no limite inferior são direcionados para o curso hídrico, o qual apresenta-se poluído (Figura 7).

O setor 2 apresentou alto índice de exposição física a inundação (Figura 8), onde o canal fluvial passa no seu limite inferior ao sul. Existe uma pequena concentração de vegetação na área central do setor, tratando-se de árvores de pequeno porte e gramíneas na margem do canal fluvial. Todo o entorno está impermeabilizado e com presença de residências de médio e baixo padrão no que tange ao aspecto social, as de médio padrão ocupam as áreas colinosas enquanto que as de baixo padrão estão situadas na planície fluvial.

Figura 7: Setor 1 da área prioritária no riacho do Angelim, São Luís - MA



Fonte: Os autores (2024).

Figura 8: Setor 2 da área prioritária no riacho do Angelim, São Luís - MA



Fonte: Os autores (2024).

O setor 3 apresentou baixo índice de exposição física a inundação (Figura 9). Existem casas na planície fluvial em uma pequena porção próxima ao limite inferior do setor, porém são bem consolidadas. A planície está impermeabilizada com presença de vegetação rasteira apenas na borda do canal de drenagem e algumas árvores de pequeno porte apenas na mata ciliar remanescente.

Figura 9: Setor 3 da área prioritária no riacho do Angelim, São Luís - MA



Fonte: Os autores (2024).

O setor 4 apresentou médio índice de exposição física a inundação (Figura 10). O canal fluvial passa na área central do setor, o que em condições normais poderia atingir residências na margem esquerda e direita. No entanto, a morfologia fluvial foi alterada devido as formas de uso, sendo um setor bem urbanizado, completamente impermeabilizado com cobertura asfáltica. O canal é bem entalhado, e a estrutura urbana não permite que a água alcance as residências. O fluxo hídrico no canal é direcionado para os setores 1 e 2. Existe uma expressiva quantidade de material tecnogênico do tipo úrbico e gárbico principalmente no canal e na planície fluvial, com

presença de pneus, sacolas e resíduos de diferentes origens despejados de forma concentrada.

Figura 10: Setor 4 da área prioritária no riacho do Angelim, São Luís - MA



Fonte: Os autores (2024).

A vegetação existente no setor está concentrada apenas no canal fluvial e em um terreno baldio. O padrão social das moradias caracteriza-se como médio, onde identificou-se em campo diversas residências com piscinas e placas fotovoltaicas. As edificações foram construídas dentro do canal fluvial, no leito menor. Os dejetos líquidos das residências são lançados no canal de drenagem.

O setor 5 apresentou muito baixo índice de exposição física a inundação (Figura 11). Este setor fica no extremo leste da poligonal de área prioritária, com o canal passando no seu limite inferior ao sul. O canal é estreito e com pouca lâmina d'água. O setor é altamente impermeabilizado com presença de solo exposto em algumas áreas pontuais e vegetação apenas no canal principal com raras árvores de pequeno porte em algumas residências. Existem resíduos sólidos lançados a céu aberto e as residências estão situadas na planície de inundação, a qual está concretada e as residências caracterizam-se como de baixo padrão.

Figura 11: Setor 5 da área prioritária no riacho do Angelim, São Luís - MA

Fonte: Os autores (2024).

O setor 6 apresentou médio índice de exposição física a inundação (Figura 12), estando altamente impermeabilizado com vegetação predominantemente no canal fluvial. A lâmina d'água é rasa e as espécies de vegetação encontradas são típicas de áreas degradadas, tais como *Musa x paradisiaca* (Bananeira), *Ricinus communis* (Mamona) e *Cecropia angustifolia* (Embaúba). Segundo relatos de moradores, no período chuvoso a inundação não atinge a população mais a montante do setor 6, porém o nível da água sobe consideravelmente, atingindo principalmente os moradores dos setores 8 e 9.

O setor 7 é o menor setor da área prioritária e apresentou alto índice de exposição física a inundação (Figura 13). Esse setor é o único que é circundado por dois canais fluviais, ambos bem alterados em sua morfologia. A planície fluvial foi descaracterizada e as residências estão dentro do canal que está situado no limite lateral ao oeste do setor. De modo geral é uma área com baixa impermeabilização e uma quantidade maior de vegetação ao longo de todo o setor, não apenas nas margens do canal fluvial, como acontece nos demais setores. Porém, existem pontos que ocorre impermeabilização sobretudo da planície fluvial.

Figura 12: Setor 6 da área prioritária no riacho do Angelim, São Luís - MA

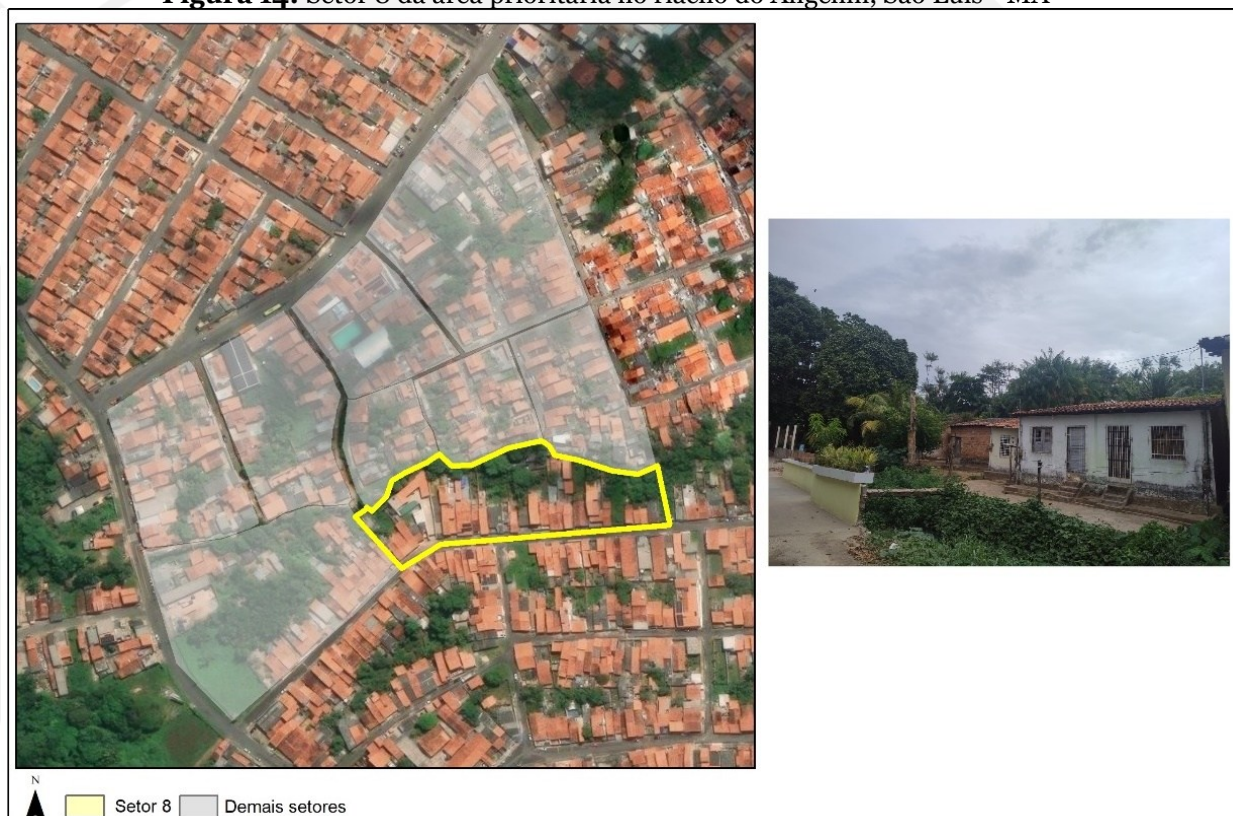
Fonte: Os autores (2024).

Figura 13: Setor 7 da área prioritária no riacho do Angelim, São Luís - MA

Fonte: Os autores (2024).

O setor 8 apresentou muito alto índice de exposição física a inundação (Figura 14). A vegetação está apenas no canal fluvial, que está situado no limite superior do setor, ao norte. A área que compreende o limite inferior do setor ao sul está impermeabilizada por cobertura asfáltica. Existem casas de alvenaria em situação precária nas margens do canal, no limite superior, no entanto, na porção sul as casas apresentam boa fundação.

Figura 14: Setor 8 da área prioritária no riacho do Angelim, São Luís - MA



Fonte: Os autores (2024).

O setor 9 apresentou muito alto índice de exposição física a inundação (Figura 15). Este é o setor com maior presença de cobertura vegetal, com árvores de pequeno e médio porte, as quais estão localizados no centro do setor. Foram identificadas espécies como *Musa x paradisiaca* (Bananeira) e *Ricinus communis* (Mamona), típicas de áreas com solos degradados, mas também registrou-se a presença de *Euterpe edulis Martius* (Palmeira Juçara), *Prunus dulcis* (amendoeira) e *Mangifera indica L* (mangueira).

O setor está localizado na margem direita do canal principal do riacho do Angelim. O canal fluvial está situado no limite superior do setor ao norte e encontra-se morfologicamente descaracterizado pela ocupação de sua margem, e existem

indícios de aterramento do canal. O limite superior está dentro do canal de drenagem, recebendo contribuição de outros afluentes.

Figura 15: Setor 9 da área prioritária no riacho do Angelim, São Luís - MA



Fonte: Os autores (2024).

Na margem existem materiais tecnogênicos dos tipos úrbicos e gárbicos, e dentro do canal de drenagem também são encontrados resíduos diversos. Os dejetos líquidos são lançados diretamente no curso d'água. O mesmo apresenta coloração e odor típicos de áreas com alto teor de poluição. Algumas residências estão construídas sobre suportes de concreto como colunas e vigas, como uma alternativa ao enfrentamento às inundações. Um morador construiu uma ponte sobre o canal com a finalidade de melhorar o acesso a sua residência no período chuvoso. As marcas d'água na parede evidenciam até onde o nível da água eleva-se neste setor. Moradores confirmaram tais informações, não apenas do setor 9 mas de outros setores também.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O riacho do Angelim está situado no médio curso da bacia hidrográfica do rio Anil, bacia esta que desde a fundação de São Luís passa por intensos processos de urbanização. Esses processos antropogênicos associados a expansão urbana alteram as

características naturais dos sistemas e com o aumento populacional, áreas ambientalmente frágeis tornam-se áreas de risco de desastres.

Enchentes, inundações, erosões e movimentos de massa são fenômenos geomorfológicos que fazem parte da dinâmica natural seja da geomorfologia de encostas ou dos ambientes fluviais, porém, quando associados a ocupação urbana desordenada do ponto de vista do ordenamento territorial tem-se a ocorrência de desastres, e como Veyret (2013) afirma o ser humano torna-se agressor e vítima do meio que habita. Assim, a área prioritária no riacho do Angelim escolhida como área objeto de estudo desta pesquisa caracteriza-se como este lugar, que é ambientalmente frágil, onde predominam os fenômenos de inundação de forma natural, por se tratar de uma área de fundo de vale, mas que tornou-se uma possível área de risco devido a ocupação desta localidade e as transformações realizadas.

As características físicas da área mostram o potencial natural da mesma para a ocorrência de inundações, e as alterações urbanas realizadas mostram atualmente como é o comportamento da geomorfologia urbana. Os setores 1, 8 e 9 apresentaram muito alta exposição física ao perigo natural em análise, sendo estas as áreas que anualmente mais registram problemas de retirada da população e prejuízos materiais em decorrência das inundações. Os setores 2 e 7 apresentaram alto InEx. Os setores 4 e 6 apresentaram médio InEx e os demais setores apresentaram muito baixo e baixo índice de exposição física a inundação.

Desta forma, considera-se que o objetivo proposto foi atendido e que a metodologia utilizada se mostrou um instrumento favorável e útil na classificação dos níveis de exposição física ao fenômeno de inundação na área de estudo, e que a partir desta análise novos estudos podem ser elaborados, com ampliação metodológica para uma carta de índice de risco. Esta pesquisa mostra-se pioneira, mas que pode servir como base para novos estudos e ser replicada para outras localidades.

REFERÊNCIAS

BRASIL. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, Brasília, 2007.

BRASIL. 2012. Lei nº 12.608 de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o sistema nacional de proteção e defesa civil - sinpdec e o conselho nacional de proteção e defesa civil - conpdec; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as leis nºs 12.340, de 10 de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de

19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências.

COLANGELO, A. C. Modelo de Feições Mínimas ou das Unidades Elementares do Relevo: um suporte cartográfico para mapeamentos geoecológicos In: **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.10, p.29-40, 1996.

COSTA, C.; M. Risco de inundações no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, São Luís –Maranhão (Dissertação de Mestrado –Geografia) Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. A Questão ambiental: diferentes abordagens. [S. l.: s. n.], 2012.

FARIAS, A.; MENDONÇA, F. Riscos socioambientais de inundação urbana sob a perspectiva do Sistema Ambiental Urbano. **Sociedade & natureza**, v. 34, p. e63717, 2022.

FRANÇA, D. V. B. **Vulnerabilidade ambiental a alagamentos no alto curso da bacia**

hidrográfica do Santo Antônio, Ilha do Maranhão. Dissertação (Mestrado). PPGeo –

UEMA, São Luís, 2020.

GOMES, E. J. S. **Risco de inundação na sede municipal de Touros/RN**. 2020. 174 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes – Natal, RN.

GUERRA, A. J. T.; LIMA, F. S.; MENDONÇA, M.; JORGE, M. CA. O. Criação de um sistema de previsão e alerta de riscos a deslizamentos e enchentes, visando minimizar os impactos socioambientais no bairro Quitandinha, Bacia do Rio Piabanha (Afluente do Paraíba do Sul), Município de Petrópolis - RJ. **Anais**. II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, Taubaté, Brasil, 09 - 11 dezembro 2009, IPABHi, p. 785-824.

GUIRRA, A. P. M. **Novas contribuições ao modelo de fragilidade ambiental à processos erosivos: estudo de caso aplicado ao perímetro urbano de Rondonópolis, Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Mato Grosso. Instituto de Ciências Humanas e Sociais. Rondonópolis, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Favelas e Comunidades Urbanas**. Notas metodológicas n. 01 - Sobre a mudança de Aglomerados Subnormais para Favelas e Comunidades Urbanas. Rio de Janeiro, Brasil, 2024.

LOMBARDO, M. A.; FREITAS, M. I. C. **Riscos e Vulnerabilidades: teoria e prática no contexto luso-brasileiro**. 1.ed. – São Paulo : Cultura Acadêmica, 2013.

MACHADO, L. E. G. LIMA, C. V. Mapeamento geomorfológico da bacia do rio Água

Limpa (GO) com base em parâmetros morfométricos e morfográficos. **Ateliê Geográfico**,

Goiânia, v. 7, n. 3, p. 79-109, dez. 2013.

MARANHÃO. **Estudo de pedologia/cobertura vegetal**. Macrozoneamento do Golfão Maranhense. Diagnóstico Ambiental da Microregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário. São Luís: Sema/MMA/PNMA, 1998.

OLIVEIRA, E. L. A., ROBAIMA, L. E. S., RECKZIEGEL, B. W. **Modificações antropogênicas nos canais de drenagem em área urbana na bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria – RS**. Anais.V Simpósio Nacional de Geomorfologia. I Encontro Sul Americano de Geomorfologia UFSM RS, 2004.

OLIVEIRA, F. L. S. **Indicadores de Vulnerabilidade e Risco Local: o caso do município de Pacoti**. 2018. 223 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual do Ceará. – Fortaleza, CE.

PELOGGIA, A. U. G. **O homem e o ambiente geológico: geologia, sociedade e ocupação urbana no município de São Paulo**. São Paulo: Xamã, 1998.

PINHEIRO, J. M. **Clima urbano da cidade de São Luís do Maranhão**. Universidade de São Paulo. Faculdade de Filosofia, Letras e ciências Humanas. Departamento de geografia. Tese (Doutorado), São Paulo, 2018.

SANTANA, R. G.; SILVA, Q. D.; FRANÇA, D. V. B. Análise Espacial em Áreas de Inundações Na Sub-Bacia Hidrográfica Do Riacho Do Angelim, SÃO LUÍS-MA. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 502–520, 2019. DOI: 10.35701/rcgs.v21n2.580. Disponível em: [//rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/580](http://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/580). Acesso em: 17 dez. 2024.

SANTANA, R. G. **Fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, São Luís – MA**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís 2021.

SILVA, Q. D. **Mapeamento Geomorfológico da Ilha do Maranhão**. 2012. 249f. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

SOUZA, B. B. G. **Caracterização de Indicadores Sócio-Ambientais na Bacia do Rio Anil, São Luís-MA, como subsídio à Análise Econômica-Ambiental do Processo de Desenvolvimento**. Tese. (Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense, 2005.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão**. (Org). KLEIN, E. L.; SOUSA, C. S. - Belém: CPRM, 2012.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM. **Geodiversidade da Ilha do Maranhão**. (Org). BANDEIRA, I. C. N; BARROS, J. S. . – Teresina : CPRM, 2020.

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of Geomorphology. **The Geological Society of America**

Bulletin, v. 63, p. 923-938, 1952.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. INPE: São José dos Campos, 75 p., 2008.

VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M. Definições e vulnerabilidades do risco. In.: VEYRET, Y. (Org.). **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. São Paulo: Contexto, 2ª ed., 2013.