

MORFOMETRIA DA DRENAGEM E A OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES NA ILHA DO MARANHÃO

*DRAINAGE MORPHOMETRY AND THE OCCURRENCE OF FLOODS ON THE
ISLAND OF MARANHÃO*

*MORFOMETRÍA DE DRENAJE Y OCURRENCIA DE INUNDACIONES EN LA ISLA
DE MARANHÃO*

QUÉSIA DUARTE DA SILVA¹
DANYELLA VALE BARROS FRANÇA²
CRISTIANE MOUZINHO COSTA³
RICARDO GONÇALVES SANTANA⁴
DAYANA SERRA MACIEL⁵

¹ Professora do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Maranhão.
E-mail: quesiasilva@professor.uema.br, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4496-3426>

² Mestre em Geografia pela Universidade Estadual do Maranhão.
E-mail: danyellabarros-geo@hotmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7659-658X>

³ Mestre em Geografia pela Universidade Estadual do Maranhão.
E-mail: cristianecosta3@aluno.uema.br, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5892-4877>

⁴ Mestre em Geografia pela Universidade Estadual do Maranhão.
E-mail: ricardosantana@aluno.uema.br, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6611-0451>

⁵ Graduanda em Geografia da Universidade Estadual do Maranhão.
E-mail: dayanamaciell@aluno.uema.br, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7581-5111>

Recebido: 20/11/2021

Enviado para correção 30/11/2021

Aceito: 08/12/2021

RESUMO

As constantes e anuais inundações que ocorrem na Ilha do Maranhão têm afetado a população residente, gerando perda de bens materiais e imateriais e este fenômeno tem sido associado à impermeabilização urbana. Considerando que o processo de urbanização na ilha continua ocorrendo e que as características das bacias hidrográficas têm sido alteradas em função da constante mudança de uso e cobertura da terra, entende-se que estudar a relação entre as inundações e a morfometria da drenagem é fundamental para subsidiar a gestão dos espaços municipais da área. Este trabalho objetivou analisar a relação entre a morfometria da drenagem e as inundações na área, situada na porção norte do Estado homônimo. Os dados levantados foram gerados focando a análise das bacias hidrográficas na escala final de 1:60.000, utilizando os parâmetros morfométricos de densidade de drenagem, índice de sinuosidade, índice de circularidade e fator de forma. Os resultados alcançados indicaram que as bacias em sua quase totalidade apresentam baixa tendência a inundações. Constatou-se que as inundações que ocorrem concentram-se nas bacias mais urbanizadas da ilha, com forte intervenção humana e pressão sobre os ambientes fluviais, com intervenções como cimentação, canalização, aterramento, corte de taludes e assoreamento.

Palavras-chave: Morfometria da drenagem. Inundações. Ilha do Maranhão.

ABSTRACT

The constant and annual floods that occur in Ilha do Maranhão have affected the resident population, generating loss of material and immaterial belongings and this phenomenon has been associated with urban impermeability. Considering that the urbanization process on the island continues to occur and that the characteristics of the hydrographic basins have been altered as a result of the constant change in land use and land cover, it is understood that studying the relationship between floods and drainage morphometry is essential for subsidize the management of municipal spaces in the area. This work aimed to analyze the relationship between drainage morphometry and flooding in the area, located in the northern of the homonymous state. The collected data were generated focusing the analysis of the hydrographic basins in the final scale of 1:60,000, using the morphometric parameters of drainage density, sinuosity index, circularity index and form factor. The results achieved indicated that the basins in their entirety have a low tendency to floods. It was found that the floods that occur are concentrated in the

most urbanized basins on the island, with strong human intervention and pressure on river environments, with interventions such as cementing, channeling, earthing, cutting slopes and siltation.

Palavras-chave: Drainage morphometry. Floods. Ilha do Maranhão.

RESUMEN

Las constantes y anuales inundaciones que ocurrieron en la Isla del Maranhão han afectado a la población residente, generando la pérdida de bienes materiales e inmateriales y este fenómeno ha sido asociado a la impermeabilización urbana. Considerando que el proceso de urbanización en la isla continúa ocurriendo y que las características de las cuencas hidrográficas fueron alteradas en función del continuo cambio de uso y cobertura de la tierra, entiéndese que comprender la relación entre las inundaciones y la morfometría de drenaje es fundamental para subsidiar la gestión de los espacios municipales en el área, situado en la porción norte del Estado homónimo. Los datos recolectados fueron generados centrandó el análisis de las cuencas hidrográficas en la escala final de 1:60.000, utilizando los parámetros morfométricos de densidad de drenaje, índice de sinuosidad, índice de circularidad y factor de forma. Los resultados alcanzados indicaron que las cuencas, casi en su totalidad, presentan baja tendencia a inundaciones. Se constató que las inundaciones que ocurrieron se concentraron en las cuencas más urbanizadas de la isla, con fuerte intervención humana y presión sobre los ambientes fluviales, con intervenciones como cementación, canalización, aterramiento, corte de laderas y sedimentación.

Palavras-chave: Morfometría de drenaje. Inundaciones. Isla del Maranhão.

INTRODUÇÃO

Este trabalho objetivou analisar a relação entre a morfometria da drenagem das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão, situada na porção norte do Estado homônimo e o fenômeno das inundações.

Historicamente, o processo de urbanização da Ilha do Maranhão foi marcado pela ocupação relativamente espontânea do território, com posterior e forte segregação socioespacial, pela apropriação inadequada de variados compartimentos do relevo, como fundos de vale, planícies de maré, praias, dunas, encostas íngremes e outros, e por transgressões legais, muitas vezes apoiadas e/ou financiadas pelo poder público. Tais condições viabilizaram o surgimento de problemas diversos, dentre eles, os de inundações.

Inundações são fenômenos naturais hidrogeomorfológicos relacionados ao aumento da descarga de canais fluviais em virtude do maior volume de água, gerando extravasamento dela nas margens dos rios.

Riccomini *et al* (2008) afirmam que as inundações consistem em um dos principais e mais destrutivos fenômenos e embora sejam um processo natural, as interferências antrópicas no ciclo hidrológico causam modificações significativas que geram problemas diversos à vida humana, tanto nas áreas urbanas, quanto nas rurais.

Conforme Gillings (2010), as inundações são fenômenos naturais conhecidos desde o mundo antigo e apesar disso, ainda causam desastres nos mais diversos lugares no mundo e no Brasil, gerando perda de vidas e problemas variados.

No mundo, 34% dos desastres naturais foram vinculados às inundações/enchentes no período entre 1974 a 2003 (VESTENA, 2008). Defende-se neste texto, que os desastres não são naturais, mas optou-se por manter este termo aqui, considerando que foi utilizado pelos autores citados.

Os bancos de dados globais indicam um aumento significativo na frequência dos desastres naturais em todo o mundo. Existe um consenso que este incremento ocorreu a partir da segunda metade do século XX, devido a elevada exposição e vulnerabilidade da população aos eventos naturais extremos, como observado nos países em desenvolvimento. As taxas de crescimento dos desastres naturais foram em média 56% contra 14% da população mundial. Desta forma, além do crescimento populacional, outros fatores também contribuíram significativamente para o aumento dos desastres, como a segregação socioespacial, a acumulação de capital fixo em zonas consideradas perigosas, o avanço tecnológico das comunicações e as mudanças globais (MARCELINO *et al*, 2006, p. 145).

No Brasil, as ocorrências de desastres naturais têm apresentado um padrão similar aos observados nas diversas áreas do planeta. Apesar de somente 261 registros de desastres naturais

terem sido registrados de 1900 a 2003, mais de 95% ocorreram a partir da década de 1950. Dentre os tipos de desastres mais frequentes estão as inundações com 61,8% dos registros, seguido pelos escorregamentos, com 15% (MARCELINO *et al* (2006).

No Estado do Maranhão, todos os desastres registrados no ano de 2017 estiveram relacionados às águas, sendo que 17% foram atribuídos aos alagamentos, 17% às enxurradas, 33% a processos erosivos e 33% às inundações (CEPDECMA, 2017).

Na Ilha do Maranhão, situada na porção norte do Estado do Maranhão, as constantes e anuais inundações que ocorrem têm afetado um número significativo de pessoas, com perda de bens materiais e imateriais e este fenômeno tem sido associado à impermeabilização urbana a partir das pesquisas realizadas na área por Araújo, Costa, Barros e Garrito (2014); Barros, Silva, Garrito, Costa, Araújo (2014); Barros, Silva, Costa, Araújo (2015); Barros, Silva, Teixeira, Costa, Santana (2017); Costa, Silva, Costa, Barros, Teixeira (2017); Costa, Silva, França, Garrito (2017); Costa (2019); Costa, Morais, Silva, Bezerra, França, Santana (2019); Costa, França, Silva, Santana e Teixeira (2019), Silva, Siqueira, Costa e Franca (2020).

Diversos autores afirmam que a morfometria de bacias hidrográficas pode ser considerada como uma metodologia importante e útil na investigação de inundações, especialmente quando dados hidrológicos não estão disponíveis. Dentre estes autores cita-se Horton (1932) apud Horton (1945), Morisawa (1962), Villela e Mattos (1975), Patton e Baker (1976), Souza (2005), Antoneli e Thomaz (2007), Rodrigues, Pissarra e Campus (2008), Machado e Torres (2012), Miotto *et al* (2014), Franco e Santo (2015), Samson *et al* (2016), Almeida *et al* (2016), Pereira e Mendes (2018), Sabino *et al* (2020).

O primeiro pesquisador a realizar estudos quantitativos de bacias de drenagem e a análise das relações entre as propriedades morfométricas de uma bacia e suas características hidrológicas, abrangendo dados de vazão em situações de cheias foi Horton (1932) apud Horton (1945).

Conforme Souza (2005), muitos outros autores continuaram este trabalho, sistematizando critérios morfométricos em bacias hidrográficas nos Estados Unidos e na Europa e relacionando alguns parâmetros ao comportamento do escoamento superficial, à descarga fluvial e ao desenvolvimento de inundações e enchentes. Dentre esses autores, Souza (2005) destaca as publicações de Strahler (1952; 1964), Chorley (1957), Chorley *et al.* (1957), Morisawa (1962), Patton e Baker (1976), Patton (1988) e Zãvoianu (1985).

Segundo Villela e Mattos (1975), a forma de uma bacia hidrográfica é importante para a elaboração da análise do tempo de concentração da precipitação, desde o momento inicial até o momento que a água sai dos limites da bacia. Assim, quando a bacia hidrográfica é mais alongada e irregular, há menor tendência à inundação, pois a água da chuva demora mais tempo para chegar até as áreas mais baixas predispostas à inundação.

Patton e Baker (1976) afirmam que parâmetros morfométricos como densidade de drenagem, magnitude do riacho e razão de relevo são medidas práticas do potencial de inundação em bacias de drenagem pequenas, menores que 260km².

Para Souza (2005), muitos autores encontraram fortes correlações entre parâmetros morfométricos de bacias de drenagem e suas características hidrológicas, com geração de dados relacionados à suscetibilidade no desenvolvimento de inundações e enchentes.

Antoneli e Thomaz (2007) defendem que a identificação de características físicas das bacias hidrográficas como densidade de drenagem, gradiente de canais, índice de circularidade e índice de sinuosidade são muito relevantes para o planejamento do uso do solo, uma vez que é possível discernir áreas mais propensas às inundações.

Para Rodrigues, Pissarra e Campus (2008), a análise morfométrica facilita o acompanhamento das alterações naturais ou introduzidas pelo homem. Defendem que

As características físicas de uma bacia possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando, dentre outros, a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração, o escoamento superficial e subsuperficial. A remoção da vegetação em um ambiente florestal leva, conseqüentemente, a processos erosivos, que geram degradação do ambiente, e podem se propagar para áreas adjacentes. Assim, a declividade e a cobertura vegetal tornam-se fatores importantes na tomada de decisão de um manejo adequado da bacia hidrográfica, visto que influenciam a precipitação efetiva, escoamento superficial e fluxo de água no solo, dentre outros (RODRIGUES, PISSARRA e CAMPUS, 2008, p. 311).

Almeida *et al* (2016) defendem que a análise morfométrica de bacias hidrográficas possibilita a identificação das características de uma bacia, quando se analisa a relação das características geomorfológicas associadas ao relevo e à rede de drenagem.

Considerando que o processo de urbanização na Ilha do Maranhão continua ocorrendo; que as características das bacias hidrográficas têm sido alteradas em função da constante mudança de uso e cobertura da terra; que inundações ocorrem anualmente, sendo registradas e veiculadas pela imprensa local através de diversos meios de comunicação; e que diversos autores defendem que a análise de parâmetros morfométricos é fundamental para o entendimento dos processos que ocorrem nas bacias hidrográficas; acredita-se que este trabalho será importante para subsidiar a gestão delas e dos espaços municipais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Quanto a abordagem, este trabalho é fruto de uma pesquisa qualitativa; quanto a natureza é uma pesquisa aplicada. Quanto aos procedimentos, é documental e de campo. Os dados levantados foram gerados focando a análise das bacias hidrográficas da área e os mapas estão na escala final de 1:60.000.

Para o mapeamento temático utilizou-se o *software ArcGIS for Desktop Advanced*®, versão 10.2, licença EFL999703439 e a base de dados utilizada corresponde ao banco de dados de Silva (2012), Barros (2014), Costa (2014, 2016 e 2018), Maciel (2019) e Santana (2018 e 2021).

Quanto a caracterização geoambiental, utilizou-se o banco de dados do Grupo de Estudos em Geomorfologia e Mapeamento – GEOMAP, da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.

Quanto a análise morfométrica, utilizou-se os dados levantados por Silva (2012) a qual utilizou as propostas de Villela e Mattos (1975), Christofolletti (1980), Antoneli e Thomaz (2007) e Pereira e Tavares Júnior (2007).

Com base nas informações outrora geradas pela autora, para este estudo utilizou-se os parâmetros morfométricos relacionados à densidade de drenagem (Dd), índice de sinuosidade (Is), índice de circularidade (Ic) e fator de forma (Kf), os quais, no entendimento dos autores supracitados, caracterizam bem a drenagem e o comportamento hídrico das bacias hidrográficas.

Para realizar o cálculo da Densidade de drenagem (Dd), dada em km/km², utilizou-se a proposta de Christofolletti (1980) através da seguinte equação:

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Onde: Lt = comprimento total dos canais; e A = área da bacia.

Para cada índice morfométrico analisado neste trabalho utilizou-se as classificações propostas por Silva (2012), adaptadas pela mesma para as características da área de estudo. Desta forma, utilizou-se a seguinte classificação quanto a densidade de drenagem (Tabela 1).

Tabela 1 – Classes de densidade de drenagem para a Ilha do Maranhão.

Densidade de drenagem (Km/ Km ²)	Classes
0,59 a 0,98	Muito baixa
0,99 a 1,36	Baixa
1,37 a 1,75	Média
1,76 a 2,14	Alta
2,15 a 2,53	Muito alta

Fonte: Florenzano (1975) adaptado por Silva (2012).

O índice de sinuosidade (Is) foi calculado, conforme Antoneli e Thomaz (2007) a partir da equação:

$$Is = \frac{Lv}{Lr}$$

Onde: Lv = comprimento verdadeiro do canal principal (km) e Lr = comprimento em linha reta do canal principal.

Para a classificação dos canais quanto a sinuosidade, utilizou-se a proposta de Dury (1966), citado por Christofolletti (1980), onde canais com Is igual ou superior a 1,5 (adimensional) são considerados meandrantos, enquanto que os canais com Is menor que 1,5 são classificados como retos.

O índice de circularidade (Ic) é adimensional e foi proposto inicialmente por Müller (1953) e Schumm (1956). Este parâmetro foi calculado a partir da equação a seguir:

$$Ic = 12,57 \times \frac{A}{P}$$

Onde: P = perímetro e A= área da bacia.

Segundo a literatura especializada, no índice de circularidade (Ic), quanto mais próximo o resultado for da unidade (1), mais circular será a bacia de drenagem e, conseqüentemente, a bacia terá maior tendência aos eventos de inundação. Para este parâmetro adotou-se a classificação sugerida por Antoneli e Thomaz (2007), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Classes do índice de circularidade – Ic para a Ilha do Maranhão.

Índice de circularidade (adimensional)	Classes
0,36 a 0,50	Forma alongada
0,51 a 0,75	Forma intermediária
0,76 a 1,00	Forma circular

Fonte: Antoneli e Thomaz (2007) adaptado por Silva (2012).

O fator de forma (Kf) foi calculado a partir da relação entre a área da bacia e o seu comprimento, seguindo o curso de água mais longo, "...desde a desembocadura até a cabeceira mais distante na bacia" (VILLELA e MATTOS, 1975, p. 14).

Assim, utilizou-se a equação:

$$Kf = \frac{A}{L}$$

Onde: L corresponde ao comprimento da bacia em km e A = área da bacia.

Assim como o índice de circularidade, o fator de forma aponta para a morfologia da bacia e sua predisposição para a ocorrência de inundações, desta forma, utilizou-se a classificação apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Classes do fator de forma – Kf para a Ilha do Maranhão.

Índice de circularidade (adimensional)	Classes
0,02 a 0,50	Forma alongada
0,51 a 0,75	Forma intermediária
0,76 a 1,00	Forma circular

Fonte: Silva (2012).

Quanto aos trabalhos de campo, estes foram desenvolvidos ao longo dos últimos oito anos de trabalho, durante as pesquisas que os autores desenvolveram nos mais diferentes locais da Ilha do Maranhão.

CONTEXTO GEOAMBIENTAL DA ILHA DO MARANHÃO

A Ilha do Maranhão está localizada na porção Norte do Estado do Maranhão, no Golfão Maranhense, estando limitada ao Norte pelo Oceano Atlântico, ao Sul com a Baía de São José e o Estreito dos Mosquitos, a Leste com a Baía de São José e a Oeste com a Baía de São Marcos. Administrativamente está inserida na microrregião da Aglomeração Urbana de São Luís, abrangendo quatro municípios, isto é, São José de Ribamar, Raposa, Paço do Lumiar e São Luís, sendo esta, a capital do Estado (Mapa 1).

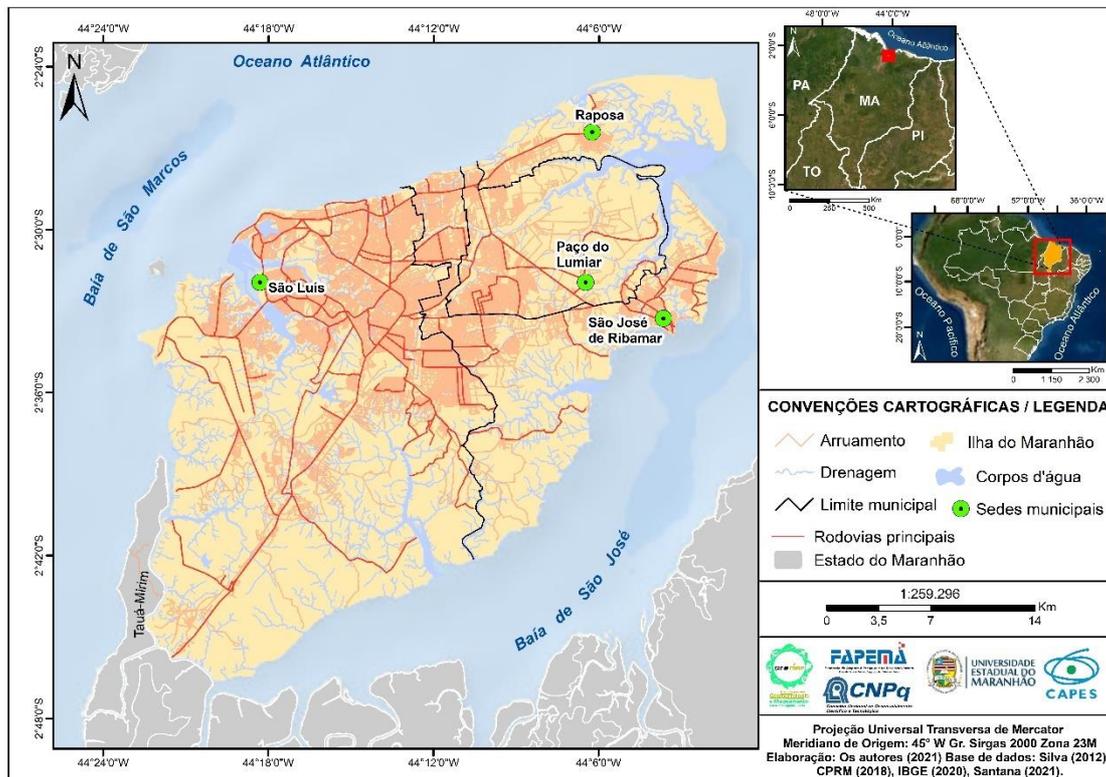
Em virtude da situação geográfica da área, o clima é quente e úmido, com características equatoriais e com temperatura média anual da atmosfera de 26,9°C.

Quanto a pluviometria, a média de chuvas acumuladas durante um ano, no período entre 2002 e 2009 foi de 2.325 mm; 68,7% do total das precipitações anuais estão distribuídas no período de fevereiro a maio de cada ano, com um total acumulado de 1.596 mm e apresentando totais mensais de janeiro a julho, sempre superiores a 100 milímetros. Em geral, no mês de abril se concentra o maior índice pluviométrico, com um total médio acumulado de 472,6 mm (UFMA, 2009).

Em função do objetivo deste trabalho e sabendo que as inundações são fenômenos hidrogeomorfológicos relacionados também às precipitações, afirma-se que quando a precipitação é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume da água da chuva é escoada para o sistema de drenagem, superando, geralmente, sua capacidade natural de escoamento.

Silva *et al* (2020) afirmam que a chuva extrema ou precipitação máxima diária é caracterizada como um evento que apresenta duração, intensidade e distribuição espaço-temporal críticas em dado local, município e/ou cidade. Afirmam ainda que as chuvas intensas ou chuvas extremas causam prejuízo nas cidades, a partir de eventos como inundações, erosão no solo e outros.

Mapa 1 – Localização da Ilha do Maranhão.



Fonte: Os autores (2021).

As autoras realizaram um estudo para quantificar a concentração da precipitação na Ilha do Maranhão no ano de 2014, com base no índice de concentração (CI) e no índice de concentração da precipitação (PCI) e concluíram que neste ano não houve concentração diária da precipitação e sim, marcada variabilidade mensal. Esta variabilidade foi acentuada diante de um quadro de chuvas que, em função da ZCIT, ocorreram ao longo dos meses.

De acordo com Barros e Bandeira (2020) e do ponto de vista geológico, a Ilha do Maranhão está inserida nas bacias de rift abortado de São Luís e Ilha Nova, associada a um sistema de grabens desenvolvidos sobre o Fragmento Cratônico São Luís, durante a abertura do Oceano Atlântico, no Eon Cretáceo. Sobre este cráton, tem-se uma sequência de sedimentos da Formação Grajaú, da Formação Codó, que não afloram na ilha, e sobre elas, uma sequência sedimentar do Grupo Itapecuru que aflora, submetida a intemperismo sob um clima tropical úmido, o qual gerou perfis lateríticos imaturos e depósitos arenosos em cordões e terraços, depósitos de mangue, depósitos de planície de maré lamosa, depósitos aluvionares e depósitos arenosos das dunas móveis e fixas (BARROS e BANDEIRA, 2020).

Os relevos da área de estudo são predominantemente erosivos e deposicionais. Os erosivos apresentam predominantemente formas tabulares com topos planos, formas colinosas, resultantes do processo de dissecação das primeiras, e falésias situadas nas áreas de contato com as praias arenosas. Os tabuleiros são baixos, com altitudes máximas em torno de 70m, ocorrem predominantemente na porção central e Centro-Nordeste da ilha e são encontrados também em outras áreas dispersas no sentido radial. Na porção norte da Ilha do Maranhão, fazem contato com as praias e paleodunas e são densamente ocupados pelas instalações residenciais e comerciais, horizontais e verticais. Em direção à Nordeste, os tabuleiros são mais baixos e planos, como uma ampla e extensa rampa descendente em direção à Baía de Curupu, onde deságuam os rios Paciência e Santo Antônio (SILVA, 2012).

As formas deposicionais ocorrentes na ilha são as planícies de marés, de supramaré, barras de areia alongadas, praias, dunas, paleodunas, terraços marinhos, planícies lacustres e fluviais. Estas formas apresentam depósitos inconsolidados da Formação Açuí, de Idade Holocênica, modeladas predominantemente pelo clima, pelos agentes oceanográficos e pela ação humana e apresentam forte dinâmica em virtude dos fluxos constantes de matéria e energia (SILVA, 2012).

Em virtude do processo histórico de ocupação do espaço, estes compartimentos geomorfológicos foram sendo apropriados de maneira inadequada desde o século XVII e as unidades de relevo mais frágeis, como as planícies fluviais, lacustres e marinhas têm sido alteradas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Ilha do Maranhão apresenta uma área de aproximadamente 948 km², sendo compartimentada em 34 bacias hidrográficas, conforme mapeamento realizado por Silva (2012). Nos últimos 12 anos a ocorrência dos eventos de inundação na área de estudo tornou-se uma questão de debates constantes, tendo em vista que anualmente, no período chuvoso, tais eventos ocorrem e atingem diversas pessoas, em diferentes áreas.

Os estudos realizados por Barros *et al* (2014), Costa *et al* (2017), Santana *et al* (2018), Costa *et al* (2020), Maciel, Silva e França (2021) apontam que o uso e cobertura do solo urbano tem contribuído de forma direta para os desastres relacionados a estes fenômenos na ilha supracitada.

Estes autores compreendem que as inundações são fenômenos que fazem parte da dinâmica hidrogeomorfológica das bacias hidrográficas e que por esta razão, acontecem naturalmente, sobretudo no período chuvoso. Tendo em vista que as bacias hidrográficas possuem características físicas que podem contribuir para a ocorrência destes fenômenos, apresenta-se a morfometria da drenagem das bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão.

MORFOMETRIA DA DRENAGEM DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO

A fim de entender a dinâmica física das bacias hidrográficas da área de estudo utilizou-se como parâmetros norteadores os índices de densidade de drenagem, índice de sinuosidade, índice de circularidade e fator de forma, tendo em vista que os mesmos apontam para características da morfologia e do comportamento da drenagem.

Quanto a dimensão areal, as bacias foram classificadas em pequenas, médias e grandes; identificou-se que pouco mais de 36% da Ilha do Maranhão é compreendida por bacias de grande dimensão, as quais correspondem a aproximadamente 347 km², conforme está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação das bacias hidrográficas quanto à dimensão areal.

Classes	Área (km ²)	%
Pequena - área inferior a 10 km ²	128,45	13,54
Média - dimensão areal entre 10 a 100 km ²	313,87	33,09
Grande - área superior à 100 km ²	347,02	36,59
Complexo de bacias costeiras	159,07	16,77
Total	948,4	100,00

Fonte: Silva (2012).

Apesar da maior representatividade areal estar associada às bacias de grande dimensão, as pequenas bacias apresentam maior representatividade em distribuição, tendo em vista que das 34 bacias hidrográficas da ilha, 23 estão classificadas como pequenas.

De acordo com Silva (2012), são apenas três, as bacias que ocupam pouco mais de 36% da área de estudo, sendo elas em ordem crescente: Bacanga, Tibiri e Paciência. Segundo a autora, estas são contíguas, uma vez que suas nascentes surgem na região do tabuleiro, na porção Central e Centro-Sudoeste da Ilha, apresentando direção preferencial NE-SW e NW-SE conforme os sistemas de lineamentos presentes na área.

As bacias classificadas como médias também apresentam direção concordante com os sistemas em questão, o que já não é bem característico nas pequenas bacias, tendo em vista que elas apresentam suas drenagens com escoamento voltado a direções diversas como Nordeste-Sudoeste e Sul-Norte na porção norte da ilha, Norte-Sul na porção Nordeste, Noroeste-Sudeste na área Leste e Sul, Sudeste-Noroeste na porção Sudoeste, Leste-Oeste e Sul-Norte na porção Oeste.

Associado a direção do escoamento dos corpos hídricos, têm-se como parâmetro importante para o estudo das inundações o índice de sinuosidade (I_s), o qual segundo Christofolletti (1980), foi proposto por Dury (1969) com o objetivo de distinguir os canais meandantes dos retilíneos.

Na área de estudo, este parâmetro foi aplicado para o canal principal de cada bacia hidrográfica, totalizando 34 canais, dos quais 97,06% apresentaram-se com valores inferiores a 1,5 (adimensional) correspondendo a canais retos, característica esta que proporciona maior velocidade do escoamento das águas e favorece aos eventos de inundação, sobretudo em áreas impermeabilizadas.

O índice em questão está relacionado à velocidade do escoamento nos canais fluviais, tendo em vista que, em canais retilíneos observa-se maior velocidade do escoamento quando comparados a canais meandantes, uma vez que as curvas dos meandros se tornam como obstáculos ao fluxo hídrico superficial, sobretudo nas margens convexas, onde predomina a sedimentação.

Em decorrência dos sistemas de lineamentos estruturais que existem na Ilha do Maranhão (RODRIGUES *et al*, 1994; PEREIRA e TAVARES JÚNIOR, 2007) há muitos canais retilíneos, bem como a formação de cotovelos bem acentuados, em alguns casos formando ângulos de 90°, nas bacias do Paciência, Tibiri e Santo Antônio.

No que diz respeito a morfologia, aplicou-se os parâmetros de índice de circularidade (I_c) e fator de forma (K_f), a fim de saber em que medida essa característica tem influenciado na magnitude das inundações.

Estes dois índices, apesar de serem calculados de maneiras distintas, apontam para o mesmo fim, no que diz respeito à mensuração da morfologia das bacias hidrográficas. Ambos indicam se a forma é alongada, intermediária ou circular, característica que está relacionada à probabilidade de ocorrência de inundações em dadas bacias.

Quanto ao I_c , 49,81% das bacias possuem forma intermediária, enquanto que para o K_f , 58,71% possuem forma alongada, o que em ambas as classificações não indica forte predisposição para a ocorrência de inundações (Tabela 5).

Analisando os dois índices de forma paralela, observa-se em ambas as classificações que apenas três bacias apresentam morfologia circular, situadas na porção norte da Ilha do Maranhão, sendo duas, considerando o I_c e uma, o K_f , não coincidindo as áreas nos parâmetros analisados.

Tais índices são fundamentais quando se investiga as condições naturais de uma bacia hidrográfica quanto a ocorrência de fenômenos hidrogeomorfológicos, pois a mensuração morfológica tem efeito sobre o comportamento hidrológico da bacia, a exemplo, o tempo de

concentração, que corresponde ao tempo necessário para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle, a contar do início da precipitação.

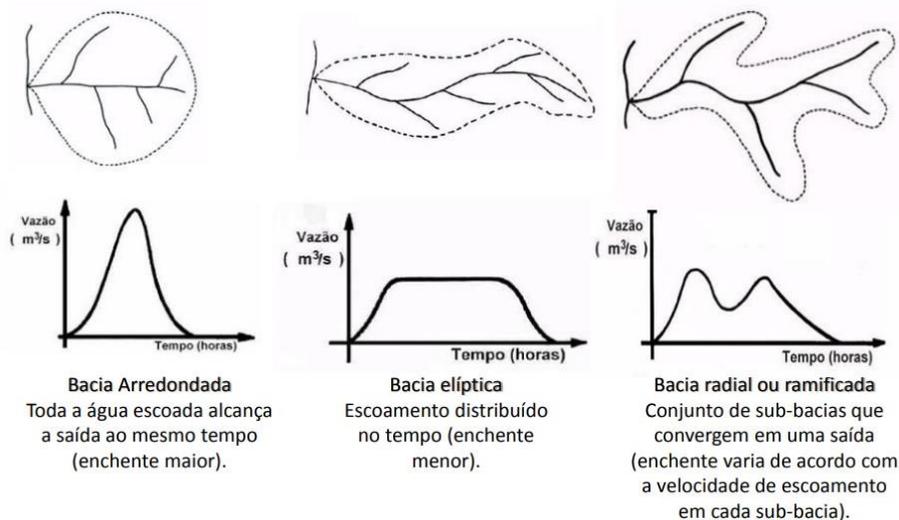
Tabela 5 – Classificação das bacias hidrográficas quanto ao Índice de Circularidade e Fator de Forma.

Classes	Índice de Circularidade (Ic)		Fator de Forma (Kf)	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Forma alongada	304,51	32,11	556,74	58,71
Forma intermediária	472,4	49,81	229,16	24,16
Forma circular	12,42	1,31	3,43	0,36
Complexo de bacias costeiras	159,07	16,77	159,07	16,77
Total	948,4	100	948,4	100,00

Fonte: Adaptado de Silva (2012).

Desta forma, bacias circulares e compactadas apresentam maior tendência a ocorrência de inundação quando comparadas a bacias alongadas e estreitas, tendo em vista que as morfologias próximas de um círculo convergem o fluxo hídrico e o escoamento superficial ao mesmo tempo para um trecho relativamente pequeno do curso principal, potencializando a produção de picos (Figura 1).

Figura 1 – Relação entre morfologia e tempo de vazão.



Fonte: Christofolletti (1981).

Em linhas gerais, significa dizer que a mesma quantidade pluviométrica pode gerar inundações em uma determinada bacia ou não, a depender de sua morfologia, bem como de outros fatores associados como a energia potencial do escoamento das águas e de sua capacidade de infiltração.

Diante disto, identificar a densidade de drenagem também é um importante indicador, tendo em vista que ele aponta a capacidade de infiltração da bacia hidrográfica, o que tem reflexo direto no escoamento superficial.

Em relação à densidade de drenagem (Dd), pouco mais de 58% das bacias da ilha estão inseridas na classificação de muito baixa e baixa Dd e 37,92% na classe de média densidade, o que representa mais de 96,61% da ilha (Tabela 6).

Tabela 6 – Frequência relativa e absoluta das classes de densidade de drenagem por bacia hidrográfica na Ilha do Maranhão.

Classes	Área (km ²)	Frequência absoluta	Frequência relativa (%)
Muito baixa	287,35	8	36,47
Baixa	175,04	12	22,22
Média	298,89	10	37,92
Alta	24,12	3	3,06
Muito alta	2,66	1	0,33
Total	788,06	34	100,00

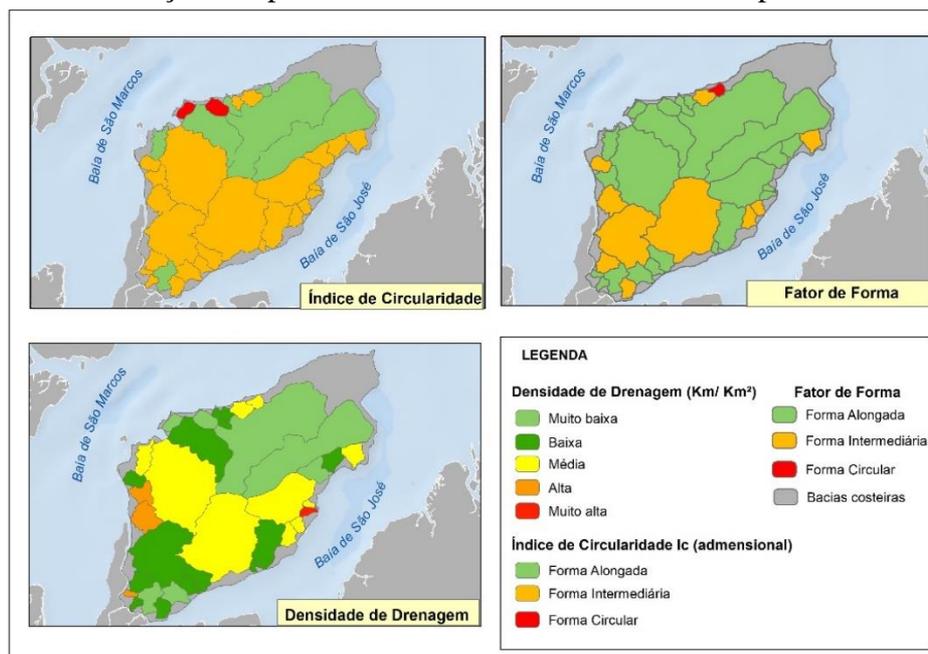
Fonte: Adaptado de Silva (2012).

Neste sentido, e considerando a Dd calculada para as bacias hidrográficas da ilha, elas apresentam alta capacidade de infiltração, o que contribui para a alimentação do lençol freático e recarga de aquíferos, e teoricamente não haveria predisposição para inundações.

Das bacias analisadas, tem-se um total de quatro entre as classificações de alta e muito alta densidade de drenagem (Dd), situadas na porção oeste e leste da Ilha do Maranhão. Por apresentarem estas características quanto à Dd, tais bacias tendem a possuir maior capacidade em gerar escoamentos rápidos no exutório, bem como deflúvios de estiagens baixos, conforme afirma Tucci (2004).

Considerando os quatro índices apresentados de maneira comparativa, observa-se que as bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão não apresentam predisposição para inundações de grande magnitude, chegando a provocar desastres, como se tem visto nos últimos 12 anos (Figura 2).

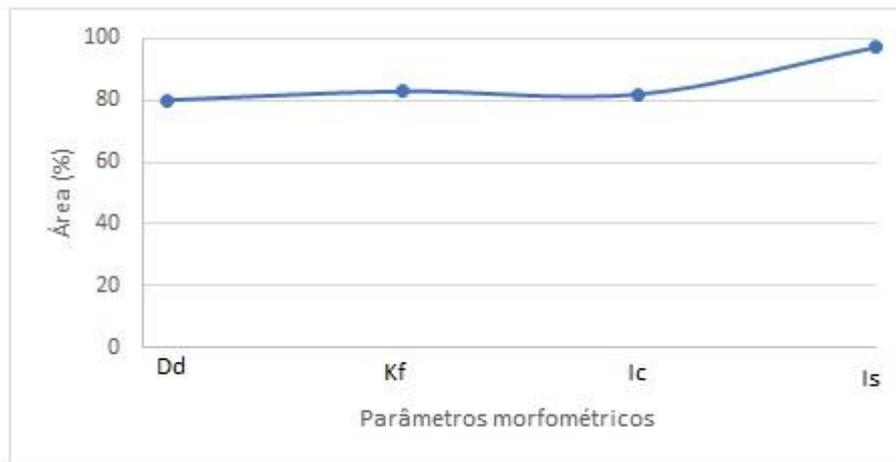
Figura 2 – Classificação dos parâmetros morfométricos analisados por bacia hidrográficas.



Fonte: Os autores (2021).

Dos parâmetros analisados, todos giram em torno de 80% de fatores não predisponentes (Figura 3), uma vez que 96,61% da área total da ilha é compreendida por bacias que possuem muito baixa, baixa ou média densidade de drenagem; 82,87% é compreendida por bacias com forma alongada ou intermediária, segundo o fator de forma; 81,92% por bacias alongadas ou intermediárias conforme o índice de circularidade e 97,06% dos canais analisados são retilíneos.

Figura 3 – Relação entre os parâmetros morfométricos analisados na Ilha do Maranhão



Fonte: Os autores (2021).

Em canais retos que tendem a ter alta velocidade de escoamento, porém em áreas com boa capacidade de infiltração e maior tempo de distribuição de escoamento em virtude da morfologia das bacias, a probabilidade de inundações de grande magnitude é reduzida. Apesar das características morfométricas identificadas na ilha, inúmeras inundações ocorrem anualmente, concentradas sobretudo em algumas bacias da área de estudo.

A MORFOMETRIA DA DRENAGEM E AS INUNDAÇÕES

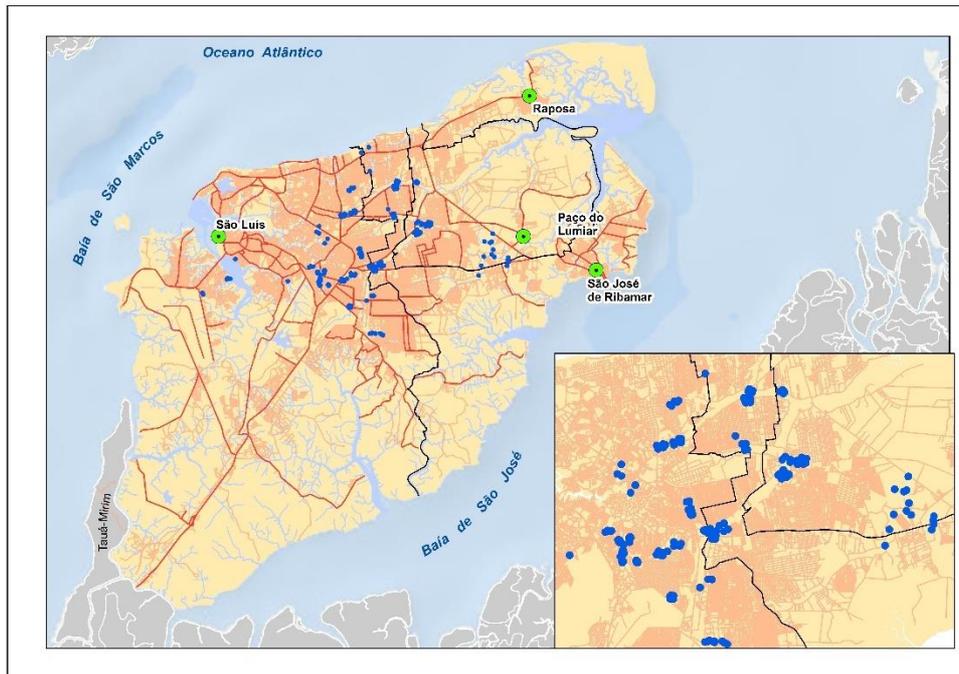
Apesar das características morfométricas da drenagem apontarem baixas tendências para a ocorrência de inundações de grande magnitude na Ilha do Maranhão, desde 2012 estudos vem sendo desenvolvidos por pesquisadores da Universidade Estadual do Maranhão, pertencentes ao Grupo de Estudos em Geomorfologia e Mapeamento, os quais têm mapeado áreas com ocorrência desses eventos, bem como buscado entender a dinâmica urbana nessas áreas.

A partir destes estudos, até o presente momento foram identificados 229 pontos de inundação na referida ilha (Figura 4), sendo que destes 105 estão localizados na bacia hidrográfica do Paciência, 60 na bacia do rio Bacanga, 41 na bacia do rio Anil, 17 na bacia do rio Santo Antônio e 6 na bacia do rio Prata.

Das 34 bacias analisadas, observou-se a concentração dos eventos em três bacias, sendo ela: Anil, Bacanga e Paciência (Mapa 2), as quais detêm 206 áreas de inundação, das 229 identificadas. Os eventos também ocorrem em outras áreas, porém com menor representatividade e impacto na população, como é o caso das bacias do Prata e Santo Antônio. Desta forma, destaca-se neste texto apenas os parâmetros das três bacias com maior ocorrência dos fenômenos de inundação.

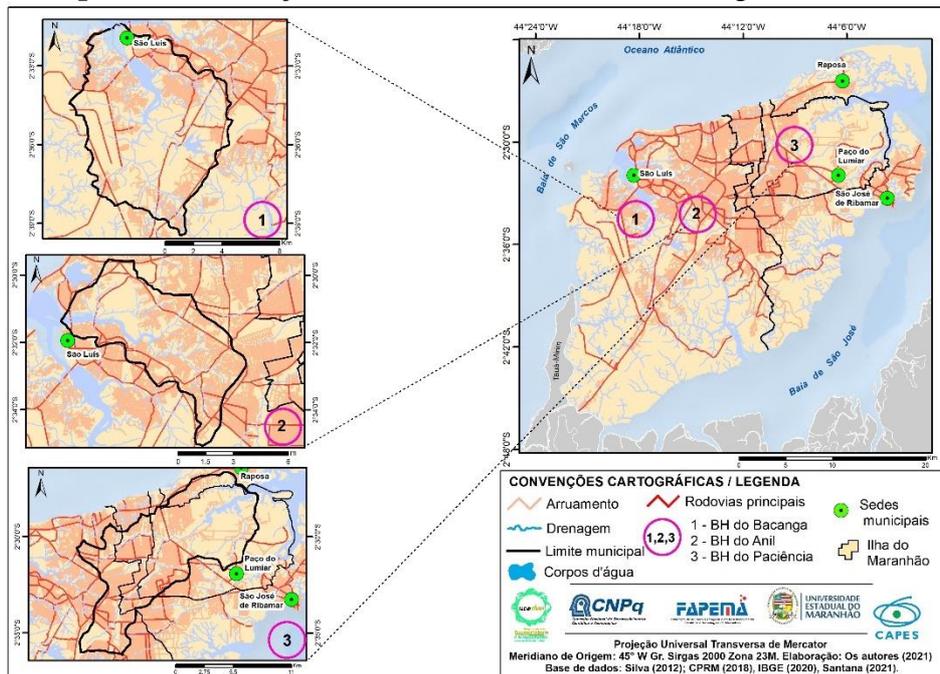
Em termos morfométricos a bacia hidrográfica do Anil apresenta baixa densidade de drenagem (1,16 Km/Km²), forma alongada quanto ao índice de circularidade (0,45) e quanto ao fator de forma (0,40), com um índice de sinuosidade de 1,35.

Figura 4 – Localização dos pontos de inundação na Ilha do Maranhão.



Fonte: Os autores (2021).

Mapa 2 – Localização das bacias dos rios Anil, Bacanga e Paciência.



Fonte: Os autores (2021).

Considerando apenas estes parâmetros morfométricos, a bacia hidrográfica do Anil não apresenta tendências a grandes inundações tendo em vista que deveria predominar o processo de infiltração associado à diminuição da velocidade do escoamento em detrimento da baixa densidade de drenagem. Entretanto, é uma bacia predominantemente urbana, que ao longo de quatro séculos vem passando por alterações hidrogeomorfológicas intensas.

Ocupação das vertentes, alteração da geometria das mesmas, modificação dos solos e desconfiguração do canal fluvial (Figura 5) são apenas algumas das consequências oriundas do processo de urbanização acelerado que a ilha passou e continua a enfrentar nos últimos anos.

Figura 5 – Alterações antrópicas na bacia hidrográfica do Anil: A – Encosta com geometria alterada em virtude da ocupação irregular na localidade João Alberto; B – Residências na planície fluvial próximo ao leito menor na localidade do Pirapora.



Fonte: Acervo dos autores (2016).

Anualmente pessoas são atingidas por estes fenômenos na bacia em questão e apresentam perdas significativas, tendo em vista que em muitas localidades o fluxo hídrico adentra as residências. Porém, ainda que não haja perdas materiais, a população residente nestas localidades relata que as inundações causam transtornos diversos, tais como dificuldade de locomoção e problemas de sanitários (Figura 6).

Figura 6 – Inundação na Travessa Tarquínio Lopes (Angelim) no médio curso da bacia hidrográfica do Anil.



Fonte: Acervo dos autores (2018).

Ainda relacionado a problemas de transporte, o muro que circunda o antigo Grêmio Recreativo Lútero desmorona anualmente em virtude das inundações no médio curso da bacia hidrográfica do Anil, causando danos materiais aos proprietários do local e transtornos no trânsito para os passageiros que tentam se locomover naquela região (Figura 7 e 8).

A bacia do Bacanga, assim como a bacia do Anil, também está diretamente relacionada ao processo de ocupação da ilha, e por esta razão passou por intensas alterações geomorfológicas. Nessa bacia tem-se intensos processos geomorfológicos atuantes como

processos erosivos, movimentos gravitacionais de massa, alagamentos, enxurradas e inundações.

Figura 7 – Inundação na região do médio curso da bacia hidrográfica do Anil (Grêmio Recreativo Líteo -Av. Casemiro Júnior).



Fonte: Acervo dos autores (2016).

Figura 8 – Engarrafamento: pedestres e motoristas com locomoção comprometida em virtude da inundação no Líteo.



Fonte: Acervo dos autores (2016).

Em termos morfométricos a bacia hidrográfica do Bacanga apresenta média densidade de drenagem (1,40 Km/Km²), forma intermediária quanto ao índice de circularidade (0,56) e forma alongada quanto ao fator de forma (0,44), com um índice de sinuosidade de 1,25.

Esta bacia também apresenta uma baixa predisposição para eventos de inundação de grande magnitude, no entanto as alterações antrópicas podem ser consideradas como o agente deflagrador desses fenômenos nela. Assim como na bacia hidrográfica do Anil, a bacia do

Bacanga tem suas vertentes ocupadas de forma irregular e inadequada (Figura 9), causando cortes no talude, provocando assoreamento nos fundos de vale.

Figura 9 – Moradias fixadas na encosta com ocorrência de movimentos gravitacionais de massa.



Fonte: Acervo dos autores (2015).

Nesta bacia têm-se o predomínio de inundações sobretudo nas localidades da Salinas do Sacavém, Coroadinho e região conhecida como rio das Bicas. Áreas próximas à Universidade Federal do Maranhão – UFMA na avenida dos Portugueses também são atingidas pelos eventos, comprometendo de forma singular o deslocamento das populações daquela região.

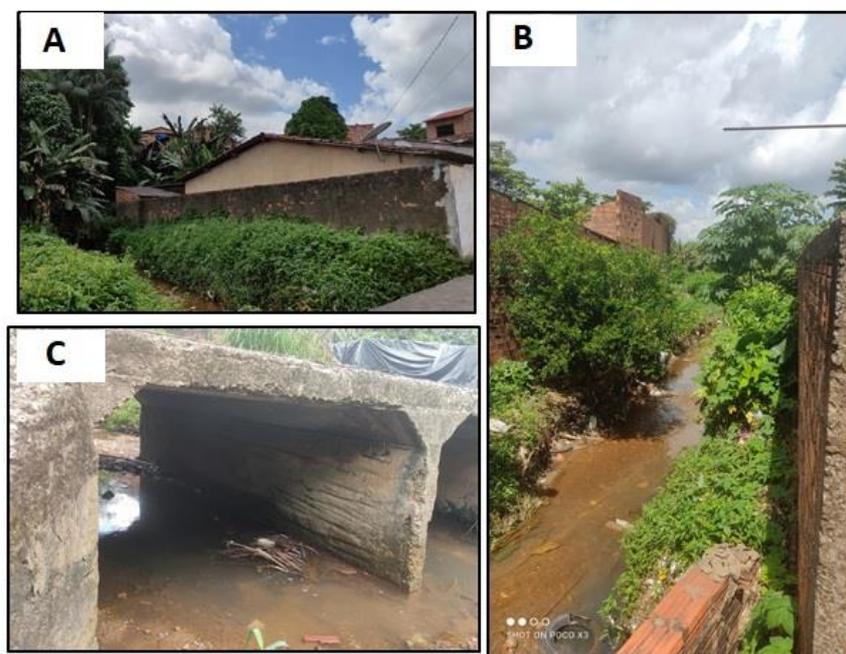
Na rua 06 de abril – Vila Embratel, populares relatam que constantemente precisam fazer a limpeza do canal para que o fluxo hídrico possa escoar mais rapidamente e não entrar nas residências, porém nem sempre isso acontece, e mesmo com a limpeza regular realizada pelos populares, ainda sim anualmente eles enfrentam os problemas relacionados as inundações (Figura 10).

Considerando que o processo de urbanização da Ilha do Maranhão ocorreu inicialmente nas bacias do Anil e Bacanga em virtude da localização delas, este processo iniciou mais tardiamente na bacia hidrográfica do Paciência. Entretanto, esta bacia é a única, entre as três aqui individualizadas, que tem área drenada nos quatro municípios da ilha, sendo eles São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa.

Esta bacia apresenta média densidade de drenagem (1,45 Km/Km²), forma intermediária quanto ao índice de circularidade (0,73) e fator de forma (0,65), com um índice de sinuosidade de 1,12.

Assim como na bacia do Bacanga, a bacia hidrográfica do Paciência também apresenta baixa probabilidade a inundações de grande magnitude, considerando as características morfométricas. No entanto, têm-se inúmeros casos de inundações nela, com relatos de pessoas que perderam mais de 50% de seus bens em virtude destes fenômenos. Estudos realizados por Costa *et al* (2017) apontaram áreas de risco real as inundações em algumas áreas, identificando a população atingida e os bens perdidos.

Figura 10 – Rua 06 de abril (Vila Embratel): A – Casa localizada no leito fluvial; B – Curso fluvial alterado pela pressão antrópica nas margens; C – Canal que constantemente é limpo pela população.



Fonte: Acervo dos autores (2021).

Canais retificados, obras de engenharia (Figura 11), impermeabilização das vertentes, canais ocultos, assoreamento, descarga de dejetos líquidos e resíduos sólidos nos canais também fazem parte da dinâmica atual dessa bacia hidrográfica urbana (Figura 12).

Figura 11 – Baixo curso da bacia hidrográfica do Paciência (Maioba): canal com intervenção antrópica e inundações anuais.



Fonte: Acervo dos autores (2021).

Locais como Vila Apaco, Cidade Operária, Santa Clara, São Bernardo e São Cristóvão, todos inseridos no alto curso da bacia hidrográfica do Paciência, anualmente apresentam constantes problemas relacionados aos eventos de inundação. Em algumas localidades, apenas a locomoção é comprometida, como é o caso do São Cristóvão; no entanto nas áreas da Vila

Apaco e São Bernardo, pessoas tem suas residências invadidas pelo escoamento superficial com perda de móveis e eletrodomésticos.

Figura 12 – Material de construção civil dentro do leito fluvial bem como assoreamento da margem oriundo da construção civil na localidade do Iguaíba, baixo curso do rio Paciência, Ilha do Maranhão.



Fonte: Acervo dos autores (2021).

Apesar de serem destacados neste texto apenas as três bacias com maior representação espacial dos fenômenos de inundação, vale ressaltar que estes eventos acontecem em todas as bacias hidrográficas da ilha, tendo em vista que fazem parte da dinâmica natural dos cursos d'água e que em áreas com menor pressão antrópica, os efeitos desses eventos sobre a população residente é menor e/ou inexistente, como é o caso da bacia do Jaguarana que não apresenta casos de inundação atingindo a população residente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Ilha do Maranhão é um importante sistema ambiental, uma vez que corresponde à maior ilha do arquipélago que compõe o Golfão Maranhense. Um lugar de dinâmicas diversas e com um processo de urbanização intenso, uma vez que nela está localizada a capital do Estado.

A partir disto, este trabalho objetivou analisar a relação entre a morfometria da drenagem e as inundações na Ilha do Maranhão, tendo em vista que as bacias hidrográficas apresentam características naturais que as tornam tendenciosas a inundações de grande magnitude e que estes fenômenos são naturais à dinâmica hidrológica das bacias e podem acontecer.

Ao analisar as 34 bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão observou-se que estas não apresentam características morfométricas que as tornem tendenciosas a ocorrência de inundações a ponto de ocorrer desastres, como se tem visto na área de estudo nos últimos 12 anos.

O índice de sinuosidade apresentou mais de 90% dos canais principais como retilíneos, o que isoladamente poderia ser um parâmetro tendencioso a ocorrência dos eventos, mas ao analisar este índice de forma paralela à densidade de drenagem, índice de circularidade e fator de forma, concluiu-se que as bacias em sua quase totalidade apresentam baixa tendência a grandes inundações, referindo-se aqui ao impacto destes fenômenos em relação à população.

Constatou-se que os eventos de inundação de grande magnitude concentram-se nas bacias mais urbanizadas da ilha, com forte intervenção humana e pressão sobre os ambientes fluviais. Intervenções como cimentação, canalização, aterramento, corte de taludes, assoreamento são algumas das pressões exercidas nos sistemas hídricos.

Desta maneira, identificou-se que na área de estudo os desastres relacionados aos eventos de inundação não estão relacionados às características morfométricas das bacias hidrográficas, mas às intervenções antrópicas relacionadas ao uso e cobertura da terra.

Essa realidade não é apenas singular na Ilha do Maranhão, mas é reflexo de um processo de urbanização acelerado completamente associado a uma lógica capitalista que tem gerado problemas para o ambiente e para as populações que habitam os espaços, sobretudo urbanos.

Acredita-se que medidas podem ser tomadas quanto ao parcelamento, uso e cobertura do solo urbano, a fim de melhorar as condições ambientais que terão reflexo direto nas comunidades que são atingidas por fenômenos como as inundações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMA por ter financiado o desenvolvimento desta pesquisa e à UEMA, pelo pagamento de bolsas de mestrado e de iniciação científica dos discentes.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. F. B.; BAYER, M. FERREIRA JÚNIOR, L. G. Compartimentação morfométrica da bacia do rio Cocó como subsídio a análise de fragilidade ambiental. **Mercator**, v. 15, n. 4, p. 83-94, 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/mercator/a/ndyTCjGyQDfp7VvhXwNjV6p/?lang=pt&format=html>>. Acesso em: 10 set. 2017.
- ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista – Guamiranga-PR. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia v. 8, n. 21, p. 46 – 58. 2007. Disponível em: <<http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>>. Acesso em: 01 out. 2011.
- ARAÚJO, R. P. S.; COSTA, C. M.; BARROS, D. V.; GARRITO, A. C. Urbanização e a ocorrência de desastres naturais no médio curso na bacia hidrográfica do Paciência - MA. **Revista Geonorte**, v. 10, p. 502-506, 2014.
- BAGNOLD, R. A. Some aspects of the shape of river meanders. **Geological Survey Professional Paper**, p. 135-144, 1960.
- BARROS, D. V.; SILVA, Q. D.; GARRITO, A. C.; COSTA, C. M.; ARAUJO, R. P. S. Análise morfométrica aplicada na identificação de enchentes e inundações na bacia hidrográfica do Prata, Ilha do Maranhão. **Revista Geonorte**, v. 10, p. 78-83, 2014.
- BARROS, D. V.; SILVA, Q. D.; COSTA, C. M.; ARAUJO, R. P. S. As formas de vertentes e sua influência nos fenômenos de enchentes e inundações: o caso da bacia hidrográfica do Prata, Ilha do Maranhão - MA. In: **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 2015, Teresina. Bacias hidrográficas - métodos e técnicas de estudo, usos, ocupação e conflitos no Espaço Geográfico. Teresina, v. XVI. p. 3253, 2015

BARROS, D. V.; SILVA, Q. D.; TEIXEIRA, E. C.; COSTA, C. M.; SANTANA, R. G. Diagnóstico de áreas de risco à inundações na bacia hidrográfica do Prata, Ilha do Maranhão. In: VIANA, V. do N.; SOUZA, W. F.S; CHAVES, L. O.; GORAYEB, A. (Org.). **Educação ambiental, geotecnologias e cartografia social**. 1ed. Mossoró: Edições UERN, v. 3, p. 52-60, 2017.

BARROS, S.; BANDEIRA, I. C. N. **Geodiversidade da Ilha do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2020.

CEPDECMA. **Relatório Anual de Ações**. Coordenadoria Executiva de Defesa Civil transformou-se na Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil do Maranhão São Luís: CEPDECMA, p. 71, 2017. Disponível em: <<http://www.defesacivil.ma.gov.br/relatorios-anuais-2/>>. Acesso em 02.11.2021.

COSTA, C. M.; SILVA, Q. D.; COSTA, I. R. S; BARROS, D. V.; TEIXEIRA, E. C. Suscetibilidade a inundações a partir das variáveis morfométricas na região hidrográfica Eliezer Silva - alto curso do rio Paciência. **Revista Entorno Geográfico**, v. 13, p. 68-80, 2017.

COSTA, C. M. **Risco de inundações no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, São Luís – Maranhão**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2019.

COSTA, C. M.; FRANÇA, D. V. B.; SILVA, Q. D.; SANTANA, R. G.; TEIXEIRA, E. C. Uso e ocupação das áreas de preservação permanente e o perigo de inundações no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil, São Luís – Maranhão. **Geografia Ensino e Pesquisa**, v. 23, p. 1-23, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/38074>>. Acesso em: 09 dez. 2019.

COSTA, C. M.; MORAIS, M. S.; SILVA, Q. D.; BEZERRA, J. F. R.; FRANÇA, D. V. B.; SANTANA, R. G. Geomorfologia antrópica e a ocorrência de inundações no alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência – Ilha do Maranhão. In.: PINHEIRO, L. S.; GORAYTE, A. (Org.) **Geografia física e as mudanças globais**. Fortaleza: UFC, p. 1-12, 2019.

COSTA, C. M.; SILVA, Q. D.; FRANÇA, D. V. B.; GARRITO, A. C. Mapeamento do risco real de inundações na região hidrográfica Apaco, alto curso do rio Paciência – Ilha do Maranhão. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. **Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento**. Campinas: Instituto de Geociências – UNICAMP, 2017.

FRANCO, A. C. V.; SANTO, M. A. D. Contribuição da morfometria para o estudo das inundações na sub-bacia do rio Luís Alves/SC. **Mercator**. v. 14, n. 3, p. 151-167, 2015.

GILLINGS, A; RENOUF, J. **How Earth made us: Water**. [Filme-vídeo]. Produção de Annabel Gillings, direção de Annabel Gillings. Londres, BBC, DVD, 58 min. son. 2010.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P. **Introdução a hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MORISAWA, M. E. Quantitative geomorphology of some watersheds in the Appalachian Plateau. **Geological Society of America Bulletin**, 73: 1025-1046, 1962.

MIOTO, C. L.; RIBEIRO, V. O.; SOUZA, D. M. Q.; PEREIRA, T. V.; ANACHE, J. A. A.; PARANHOS FILHO, A. C. Morfometria de bacias hidrográficas através de SIGs livres e gratuitos. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 37, n. 2, p. 16-22, 2014.

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBIYAMA, M. Banco de dados de desastres naturais: análise de dados globais e regionais. **Caminhos de Geografia**. v. 6, n. 19, p. 130-149, 2006.

PATTON, P. C.; BAKER, V. R. Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls. **Water Resources Research**, v. 12, n. 5, p. 941-952, 1976.

PEREIRA, P. S. P. M. L.; MENDES, L. D. Morfometria de bacia hidrográfica urbanizada: uma análise do rio Iguaçú-Sarapuí, na Baixada Fluminense (RJ), para avaliação de parâmetros de suscetibilidade à ocorrência de enchente e inundação. **Revista Continentes**, ano 7, n. 13, p. 34-48, 2018.

RICCOMINI, C.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. Rios e processos aluviais. In: TEIXEIRA, W.; TAIOLI, F.; FAIRCHILD, T.; TOLEDO, C. (Org.). **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008.

RODRIGUES, F. M.; PISSARRA, T. C. T.; CAMPOS, S. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do córrego da Fazenda Glória, município de Taquaritinga, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 3, p. 310-322, 2008.

SABINO, H.; VASQUES, G. M.; HERNANI, L. C.; DART, R. O. morfometria de bacias hidrográficas de primeira ordem em áreas agrícolas sob sistema plantio direto: delimitação e propensão à erosão e inundação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 3, p. 479-492, 2020.

SAMSON, S. A.; ELUDOYIN, A. O.; OGBOLE, J.; A. T. A.; OLOKO-OBA, M.; OKEKE, U. H.; POPOOLA, O. S. Drainage basin morphometric analysis for flood potential mapping in Owu Using Geospatial Techniques. **Journal of Geography, Environment and Earth Science International**, v. 4, n. 3, p. 1-8, 2016.

SILVA, Q. D.; SIQUEIRA, B.; COSTA, C. M.; FRANÇA, D. V. B. Concentração da precipitação e a ocorrência de inundações no ano de 2014 no alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência – Ilha do Maranhão. **Ciência Geográfica**, v. XXIV, n. 3, p. 1151-1180, 2020.

SILVA, Q. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. 2012. 248 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/101458>. Acesso em: 11. Jun 2019.

SOUZA, C. R. de G. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 6, n. 1, p. 45-61. 2005. Disponível em: <
<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/38>>. Acesso em 02.11.2021.

UFMA. **Estudo de impacto ambiental e relatório de impacto ambiental da Refinaria Premium I**. v. 2. São Luís: UFMA, 2009.

VESTENA, L. R. A importância da hidrologia na prevenção e mitigação de desastres naturais. **Ambiência**, v. 4, n. 1M, p.151-162, 2008.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 245p., 1975.