# CONCENTRAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO E A OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES NO ANO DE 2014 NO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PACIÊNCIA – ILHA DO MARANHÃO

## PRECIPITATION CONCENTRATION AND FLOOD OCCURRENCE IN 2014 IN THE HIGH COURSE OF THE PACIÊNCIA RIVER BASIN - ILHA DO MARANHÃO

**Quésia Duarte da Silva**[1]
**Beatriz Siqueira**[2]
**Cristiane Mouzinho Costa**[3]
**Danyella Vale Barros França**[4]

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi analisar a concentração da precipitação e a ocorrência de inundações no ano de 2014 no alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência na Ilha do Maranhão. Para o alcance desse objetivo foram realizadas as seguintes etapas de trabalho: caracterização dos aspectos geoambientais; realização de trabalhos de campo; elaboração de mapas; definição dos índices estatísticos na estimativa da concentração da precipitação; coleta e tabulação de dados diários de chuva; e realização dos cálculos dos índices de CI e PCI, com uso do software R. Com base na análise integrada dos dados gerados, pode-se afirmar que no ano em questão, a concentração das chuvas não foi responsável pela ocorrência das inundações ocorridas na área de estudo, e sim, o inadequado uso e cobertura da terra, que por sua vez está intrinsecamente relacionado à gestão dos espaços urbanos.

**Palavras-chave**: Inundações. Concentração da precipitação. Alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência. Ilha do Maranhão. Uso e cobertura da terra.

**ABSTRACT:** The objective of this work was to analyse the concentration of precipitation and the occurrence of floodings in 2014 for the upper course of the Paciência river drainage basin, located in the Maranhão Island. To reach this objective the following work steps were accomplished: characterization of geoenvironmental aspects; conduction of field trips; ellaboration of maps; definition of the statistical indices for estimating the concentration of precipitation; gathering and tabulation of daily rain data; and calculation of the CI and PCI indices, by using software R. Based on the integrated analysis of generated data, it can be affirmed that in the mentioned year the rain concentration was not responsible for

1 Professora do Mestrado em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço. E-mail: quesiaduartesilva@hotmail.com.
2 Doutorado em Geografia pela Universidade de Campinas – UNICAMP. E-mail: beatriz.siqueira09@hotmail.com.
3 Mestrado em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço pela Universidade Estado do Maranhão. E-mail: cristianemouzinho@hotmail.com.
4 Mestrado em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço pela Universidade Estado do Maranhão. E-mail: danyellabarros-geo@hotmail.com.

Artigo recebido maio de 2020 e aceito para publicação em setembro de 2020.

the occurrence of floodings in the studied area, but the inadequate land use and covering is accountable, which in turn is intrinsically related to the management of urban spaces.

**Keywords:** Flood. Precipitation concentration. High course of the river basin. Ilha do Maranhão. Land use and coverage.

## INTRODUÇÃO

Inundação é um fenômeno natural respeitante à dinâmica fluvial, sendo o extravasamento do corpo hídrico de um curso d'água para além dos limites do canal de drenagem, quando a vazão é superior à capacidade de descarga.

Embora o excesso de precipitação, na maioria das vezes, seja o fator natural mais influente neste fenômeno, Costa *et al.* (2014) defendem que ações humanas, como interferência na estrutura do canal, ocupação da planície de inundação e impermeabilização do solo, são responsáveis por agravar a ocorrência do mesmo.

Diversos autores que tratam deste tema defendem que as inundações urbanas, em geral, estão relacionadas às precipitações e às formas de apropriação do espaço. Dentre estes autores destacam-se aqui os trabalhos de Plate (2002), Tucci (2004), Goerl e Kobiyama (2005), Tucci (2007), Brasil (2009), Fernández e Lutz (2010), Chen, Yeh e Yu (2011), Jha, Bloch e Lamond (2012), CENAPRED (2007), CEPED (2013a), CEPED (2013b), Alexakis *et al.* (2014), Menezes Filho e Amaral (2014), Chen *et al.* (2015), Radmehr e Araghinejad (2015), IPT (2015), Reis, Amorim e Ferreira (2015), Silveira, Robaina e Trentin (2015), Prates e Amorim (2017), Valente, Aquino e Schossler (2017), Araújo Júnior e Tavares Júnior (2018) e Rudniak, Oliveira Filho e Andrade (2019).

Em virtude dos problemas gerados nas áreas afetadas pelo evento em questão (COSTA *et al.*, 2014), com perdas econômicas e de vidas humanas (ALEXAKIS *et al.,* 2014), considera-se que as inundações têm sido um dos grandes desafios de enfrentamento dos moradores das cidades e dos gestores em diversos países.

Conforme Jha, Bloch e Lamond (2012), o número de eventos de inundação registrados vem aumentando significativamente nos últimos vinte anos no mundo. Em 2010, 178 milhões de pessoas foram afetadas por estes eventos.

No Brasil, o CEPED (2013a) registrou, entre os anos de 1991 a 2012, um elevado número de habitantes atingidos pelo fenômeno e afirma que este número parece aumentar à medida "...que os centros urbanos se expandem de maneira desordenada e sem considerar a ocorrência de eventos adversos..." (p. 56).

Em relação aos danos humanos por inundações, considerando as macrorregiões brasileiras e os dados do CEPED (2013a), a Região Nordeste se destaca pelos totais de desabrigados (217.570), enfermos (76.268), desaparecidos (144) e por outros tipos de danos (106.247).

No Estado do Maranhão, entre os anos de 1991 e 2012, foram realizados 180 registros oficiais de inundações excepcionais (CEPED, 2013b). Os dados indicam que a mesorregião Norte Maranhense foi a mais afetada, com um total de 47 registros.

O mesmo documento afirma que os dados assinalam que as inundações passaram a ser registradas oficialmente a partir da década de 2000, indicando assim uma subnotificação dos eventos no estado. Somente em 2009, 120 municípios do Maranhão foram afetados, com o total de 113.044 desalojados, 52.993 desabrigados, e 12 óbitos acumulados (BRASIL, 2009).

Na Ilha do Maranhão, situada na porção norte do Estado, muitas áreas urbanas são propensas e afetadas por este fenômeno anualmente, gerando transtornos à população e perda de bens e de infraestrutura.

Nesta área, as inundações têm sido estudadas por pesquisadores como Silva (2014), Barros *et al.* (2014), Costa *et al.* (2014), Costa (2015), Barros *et al.* (2015), Rodrigues e Silva (2015), Teixeira e Silva (2015), Garrito, Barros e Silva (2016), Costa *et al.* (2016), Costa *et al.* (2017a), Costa *et al.* (2017b), Silva (2017), Teixeira e Silva (2017), Santana *et al.* (2018), Costa *et al.* (2019), Santana, Silva e Barros (2019) e Costa *et al.* (2020).

De acordo com estes autores, eventos de inundação ocorrem anualmente no município de São Luís, capital do estado do Maranhão. Costa *et al.* (2014) afirmaram que em 2009 foi decretado neste município estado de emergência por 180 dias (180 GRAUS, 2009), devido ao elevado índice pluviométrico, um dos maiores já verificados no estado, com inundações em diversos bairros da capital.

No ano de 2014, o município de São Luís novamente decretou estado de emergência, pois 41 bairros da capital foram afetados (LEONARDO, 2014), dentre eles, os bairros situados no alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência (Figura 1).

O alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência está localizado na região central da Ilha do Maranhão, no município de São Luís. Tem uma área total de 21 km², e uma área urbana bem consolidada, com uma forte pressão populacional sobre os cursos d'água (COSTA *et al.*, 2014). Além disso, e conforme relatos orais das populações residentes nesta área, há inundações recorrentes no período chuvoso de cada ano.

Visto que as inundações são fenômenos hidrogeomorfológicos relacionados também às precipitações, Tucci e Bertoni (2003) afirmam que quando a precipitação é intensa, e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume da água pluvial escoa para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de escoamento.

A chuva extrema ou precipitação máxima diária é caracterizada como um evento que apresenta intensidade, duração e distribuição espaço-temporal críticas em dado local (município, cidade).

O estudo da frequência de ocorrência de eventos extremos é fundamental para a compreensão de seus efeitos na superfície da bacia hidrográfica rural e/ou urbana. Além disso, os projetos de obras hidráulicas no âmbito da bacia dependem diretamente desse estudo. As chuvas intensas ou chuvas extremas causam prejuízo nas cidades, erosão no solo, inundações, danos à agricultura e sérios problemas em reservatórios de armazenamento de água (SOUSA *et al*., 2016).

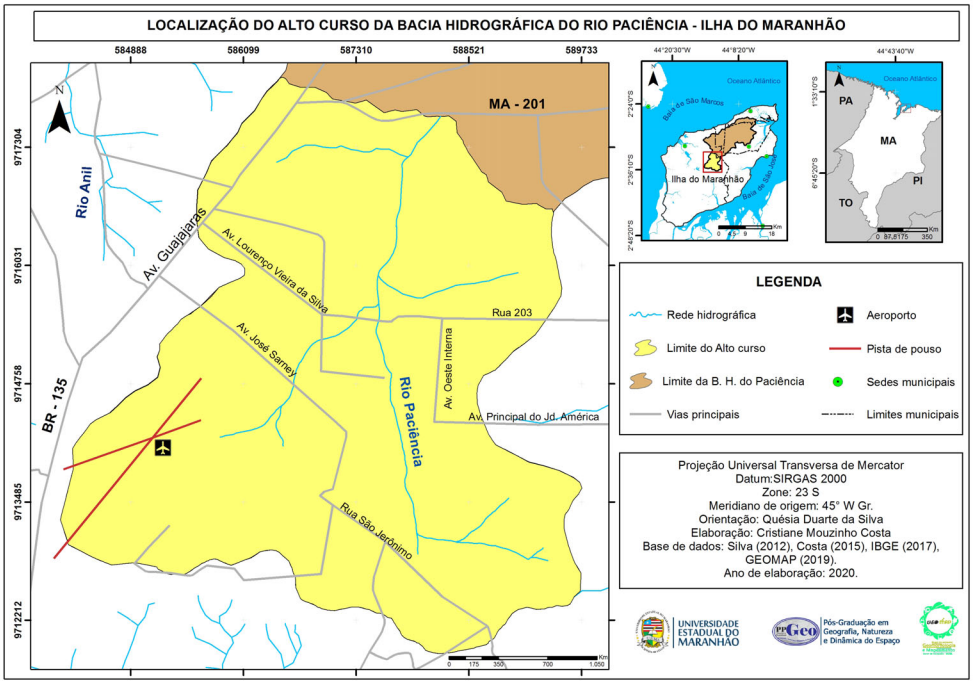
Brath (1994) afirma que para se efetuar uma boa previsão de chuvas intensas é necessário levar em conta a extensão da área a ser inundada, o número de habitantes, a densidade da população e principalmente a topografia da região.

Clarke e Silva (2004) sugeriram que no estudo da precipitação pluvial, as séries de dados precisam ser suficientemente longas e representativas do local, pois só assim pode-se observar a variabilidade do comportamento climático de uma região, principalmente em relação às chuvas intensas. Grimm e Tedeschi (2004) observaram que eventos como El Niño e La Niña têm uma grande influência na ocorrência de chuvas extremas no Brasil, principalmente na região Nordeste.

Os principais sistemas precipitantes no norte do Nordeste (NNE) são a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), as Convecções Locais e, muito raramente, a influência direta das Frentes Frias. No NNE, que abrange o Ceará e partes do Rio Grande do Norte, Piauí, Maranhão, oeste da Paraíba e Pernambuco, março é o mês em que ocorrem chuvas máximas (UVO, 1989).

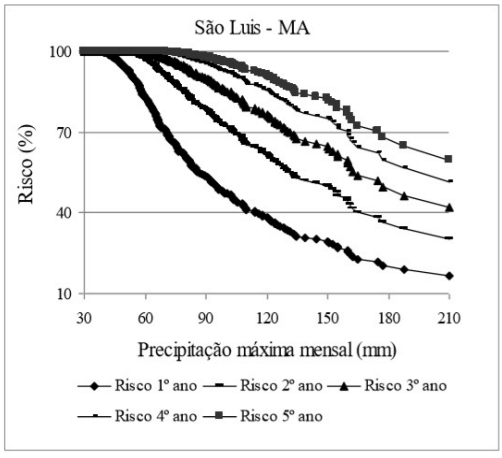
Sousa *et al*. (2016) estimaram os riscos de chuvas extremas nas capitais do Nordeste do Brasil. De acordo com a análise dos cenários de riscos da região, pode-se observar a existência de vários fatores condicionantes que demonstram a susceptibilidade da área quanto aos riscos ambientais de enchentes, inundações e deslizamentos de terra.

O gráfico a seguir (Figura 2) exibe a probabilidade dos riscos de eventos máximos de chuvas para o município de São Luís, no período de cinco anos, de 2013 a 2017. A análise da figura permite identificar que o risco de chuvas extremas terem ocorrido ficou em torno de 15% no primeiro ano e 60% no último.




Fonte: Própria pesquisa.

**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo.




Fonte: Sousa *et al*. 2016.

**Figura 2.** Probabilidade dos riscos de eventos máximos de chuvas de 2013 a 2017 em São Luís, Maranhão.

No Brasil, precipitações intensas ou déficits de precipitação são influenciados por sistemas meteorológicos e, de forma isolada ou combinada atuam em escala regional ou global (CAVALCANTI, 2012; MARENGO *et al*., 2013; MARENGO; TORRES; ALVES, 2016).

No Nordeste do Brasil (NEB), estes sistemas exercem uma forte influência no regime pluviométrico. Os sistemas mais importantes são a variabilidade da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) do Atlântico e Pacífico tropicais (ANDREOLI; KAYANO, 2006; KAYANO; ANDREOLI; SOUZA, 2013), com fases anômalas de cada um dos oceanos atuando em separado ou em conjunto; a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); e os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), sendo sistemas meteorológicos atuantes que favorecem a ocorrência de precipitações intensas e concentradas no NEB (TORRES; FERREIRA, 2011).

No NEB, precipitações concentradas são comumente verificadas em regiões litorâneas, inclusive na maioria das capitais nordestinas. Este tipo de evento, quando associado às cidades com infraestrutura precária (sistemas de saneamento básico e de drenagem ineficientes) combinado ao crescimento desordenado, sem planejamento urbano e regional, resulta em alagamentos e inundações (FREIRE *et al*., 2012; QUEIROZ ROSENDO *et al*., 2015).

Considerando que o alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência apresenta anualmente eventos de inundação com registro de danos humanos e materiais significativos; apresenta uma área urbana bem consolidada, com uma forte pressão populacional sobre os canais fluviais; que as chuvas extremas são eventos que podem deflagrar inundações; que no ano de 2014, o município de São Luís decretou estado de emergência em virtude das chuvas ocorridas; defende-se que há necessidade de aprofundar os estudos relacionados às questões aqui assinaladas.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi analisar a concentração da precipitação e a ocorrência de inundações no ano de 2014 no alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência na Ilha do Maranhão.

## PROCEDIMENTOS

Para o alcance do objetivo do trabalho foram realizadas diferentes etapas de trabalho como caracterização dos aspectos geoambientais; realização de trabalhos de campo; elaboração de mapas; definição dos índices estatísticos na estimativa da concentração da precipitação; coleta e tabulação de dados diários de precipitação; e realização dos cálculos dos índices de concentração da precipitação: CI e PCI, com uso software R. Estas etapas estão descritas a seguir.

### Caracterização dos aspectos geoambientais

Esta caracterização refere-se aos aspectos geológicos, dos relevos, dos solos, de uso e cobertura da terra e da impermeabilização da área de estudo. Os dados apresentados foram fundamentais para o entendimento dos problemas relacionados às inundações.

Os autores revisitados para esta etapa foram Costa *et al.* (1996), SEMA (1998), IBGE (2005), Burnett (2011), Silva (2012), Bandeira (2013), Silva (2014), Costa *et al*. (2014), Costa (2015), Barros *et al*. (2015), Cavalcanti Júnior (2016), CPRM (2017), Silva (2017), Costa *et al*. (2017a), Costa *et al*. (2017b) e Ferreira (2018).

## Realização de trabalhos de campo

Os trabalhos de campo iniciaram na bacia hidrográfica do rio Paciência em 2014 com o reconhecimento da área de estudo, a identificação de áreas atingidas e o registro fotográfico. Foi realizada a identificação dos canais fluviais e das áreas de ocorrência de inundações, bem como entrevistas com os moradores atingidos pelos eventos citados e com os moradores mais antigos que forneceram informações quanto ao processo de ocupação, características dos cursos fluviais anteriores à consolidação da urbanização e auxílio na delimitação das manchas de inundação.

## Elaboração dos mapas

Para o mapeamento, processamento e espacialização dos dados referentes ao quadro geoambiental do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência, utilizou-se o *software* ArcGIS for Desktop Advanced, versão 10.2, licença EFL999703439 do Grupo de Pesquisa Geomorfologia e Mapeamento – GEOMAP do curso de Geografia da Universidade Estadual do Maranhão. Assim, foram elaborados os mapas de localização, de uso e cobertura da terra, de impermeabilização do solo e de manchas de inundação.

Para elaboração do mapa de localização utilizou-se os arquivos *shapefiles* do banco de dados do IBGE (2017**)** referentes às unidades de federação do Brasil, sedes municipais, limites municipais, trecho rodoviário Aeroporto Internacional Marechal Cunha Machado.

Utilizou-se também a base de dados de Silva (2012) referente à drenagem e delimitação da Ilha do Maranhão na escala de 1: 60.000. Em relação aos limites e drenagem do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência, adotou-se a base cartográfica de Costa *et al.* (2014) e Costa *et al.* (2019).

No tocante ao mapa de uso e cobertura da terra, adotou-se a base de dados disponibilizada por CPRM (2017), cujas categorias foram definidas por Ferreira (2018).

Em referência ao mapa de impermeabilização do solo, utilizou-se a imagem de satélite Landsat 7 de 24 de julho de 2014, adquirida pelo portal earthexplorer.usgs.gov, na Projeção/Datum WGS1984 UTM Zone 23S.

Após este processo realizou-se a composição colorida RGB 7-5-3 das bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros. Após este processo, por meio da ferramenta *image analysis* do software ArcGIS, reclassificou-se a imagem com base nas superfícies permeáveis e impermeáveis.

Quanto ao mapa de manchas de inundação, a espacialização do fenômeno foi realizada a partir dos trabalhos de campo ocorridos na área em questão, com conversas e entrevistas com os moradores locais e representantes de associações, os quais registraram oralmente os problemas e as áreas afetadas.

Posteriormente e com o auxílio do *GPS Garmin Etrex30,* foram os polígonos através da elaboração de *shapefiles* por Costa (2015) com uso do *software Google Earth,* considerando as nascentes, cursos d'água e áreas de inundação. Os nomes das manchas de inundação foram definidos por esta autora, considerando os nomes das ruas e bairros mais afetados.

## Definição dos índices estatísticos na estimativa da concentração da precipitação

Para analisar a ocorrência de chuvas extremas, diversas metodologias vêm sendo aplicadas e utilizadas. Os índices estatísticos aplicados à Climatologia têm se mostrado

ferramentas eficientes na estimativa da concentração da precipitação em determinado local ao longo de um ano.

Incertezas na concentração diária da precipitação levam também a consideráveis incertezas nas contribuições pluviométricas médias, o que, por sua vez, tem repercussões ambientais e sociais. Além do mais, valores pluviométricos mensais e anuais escondem quantidade diárias de chuva muito diferentes, o que pode alterar o caráter seco ou chuvoso de qualquer mês, estação ou ano (MARTIN-VIDE, 2004).

Nesse sentido, para o referido trabalho, a concentração da precipitação na área de estudo foi estimada pelo índice de concentração (CI) e pelo índice de precipitação concentrada (PCI).

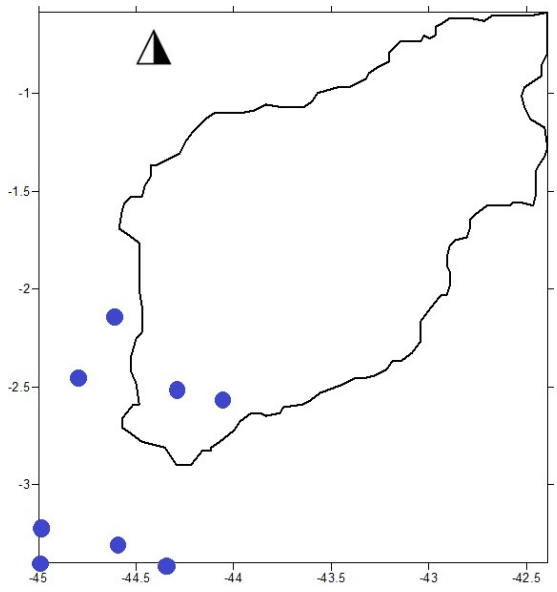
O primeiro quantifica a precipitação diária e o segundo, a precipitação mensal. A quantificação diária e mensal da precipitação através dos índices possibilita uma percepção totalizada do regime de chuvas na área de estudo. Além do mais, a ocorrência ou não de dias de precipitação intensa e severa pode mudar o caráter seco ou chuvoso dos meses e repercutir ambiental e socialmente.

## Coleta e tabulação de dados diários de precipitação

As estações pluviométricas com dados diários foram selecionadas no *site* da Agência Nacional de Águas em virtude da proximidade delas com a área de estudo e os dados existentes. É sabido que o Brasil apresenta uma grande deficiência em dados com períodos consistentes para se trabalhar com variabilidade da precipitação e assim, em Climatologia, a necessidade de um período que contemple 30 anos ou mais para garantir a confiabilidade dos resultados de pesquisa se torna um desafio.

A maioria das estações pluviométricas apresenta dados ausentes e/ou inconsistentes para longos períodos e deve-se, então, recorrer ao preenchimento dessas lacunas de dados ausentes com dados de estações vizinhas, muitas vezes também inconsistentes, em uma tentativa de mitigar a problemática. Quando as estações mais próximas daquela que se está estudando também não possuem dados consistentes, recomenda-se deixar as lacunas em branco, implicando a ausência de dados. Preencher com zero significa que não ocorreu precipitação, comprometendo os resultados da pesquisa.

O Nordeste do Brasil é uma região que apresenta expressivo déficit em dados diários de precipitação. Na Ilha do Maranhão, onde está situada a área de estudo deste trabalho, são poucas as estações da ANA (Agência Nacional de Águas) que possuem um período superior a 30 anos. Nesse sentido foi preciso preencher as lacunas de dados das estações encontradas com dados de estações vizinhas, totalizando 8 (oito) estações pluviométricas com dados diários de precipitação de 1975 a 2014, às quais estão situadas na Figura 3.




Fonte: Agência Nacional de Águas.
Organização: SIQUEIRA, B. 2020.
**Figura 3.** Distribuição das estações pluviométricas na área de estudo.

## Realização dos cálculos dos índices de concentração da precipitação: CI e IPC

O índice de concentração (CI) foi elaborado por Martin-Vide (2004) e é amplamente utilizado para determinar o impacto relativo que as diferentes classes de precipitação exercem na heterogeneidade da precipitação diária. O fato é que, em determinado período e local, a probabilidade de pequenas quantidades diárias de precipitação é maior que a de grandes quantidades, ou seja, tem-se uma classe mais baixa de precipitações diárias, o que interfere nas frequências absolutas, que também diminuem conforme avançam para os intervalos consecutivos (BROOKS; CARRUTHERS, 1953; MARTIN-VIDE, 2004).

Se o percentual acumulado de dias chuvosos (Sum (Ni)) é uma função do percentual acumulado de quantidades de chuva (Sum (Pi)), obtém-se, então, uma curva exponencial expressa por Sum (Ni) *versus* Sum (Pi) (Martin-Vide, 2004):

$$\text{Sum (Pi)} = a * \text{Sum (Ni)} \exp (b * \text{Sum (Ni)}) \quad (1)$$

Sendo a e b denominados coeficientes de regressão.
A integral definida da curva exponencial entre 0 e 100 é a área sob a curva A':

$$A' = [a/b \text{ eb } *\text{Sum (Ni)} (\text{Sum (Ni)} - 1/b)]0100 \quad (2)$$

Os coeficientes a e b podem ser estimados por meio do método dos mínimos quadrados. Então, o índice de concentração, que se assemelha ao de Gini, pode ser definido como:

$$IC - S'/5000 = (5000 - A')/5000 \quad (3)$$

Dessa forma, o valor de CI é a fração de S' e a área de superfície do triângulo inferior delimitada pela linha equidistribuição (MARTIN-VIDE, 2004). O Índice de Concentração indica a contribuição de precipitação extrema para certas durações de tempo.

Precipitações extremas estão associadas com inundações, portanto o estudo do índice de concentração tem méritos científicos e práticos, pois possibilita uma melhor compreensão dos eventos de inundação em uma determinada área de estudo (SHI *et al*. 2014). De modo geral, segundo Martin-Vide (2004), valores acima de 0,61 indicam que 70% da precipitação total está dentro de 25% dos dias mais chuvosos.

O índice de precipitação concentrada (IPC) é um indicador na distribuição espacial e temporal da precipitação, tradicionalmente aplicado em escalas anuais. Quando o valor aumenta, isso significa maior concentração da precipitação. Alterações nos valores do IPC parecem ser complexas e podem estar relacionadas com as características globais e sinóticas da atmosfera e com fatores locais que afetam as tendências da precipitação (DE LUIS *et al*., 2011).

O índice modificado é expresso por:

$$IPC = 100 * \sum i=112\ pi2/(\sum i=112\ Pi)2 \qquad (4)$$

Onde Pi, é a quantidade de chuvas acumuladas no mês, calculado para cada um dos pluviômetros e para cada ano, durante o período de estudo.

Conforme descrito por Oliver (1980), os valores de IPC anuais abaixo de 10 indicam uma distribuição de precipitação mensal uniforme, enquanto os valores entre 11 e 20 denotam sazonalidade na distribuição das chuvas. Valores acima de 20 correspondem a clima com marcada variabilidade mensal na quantidade de chuva.

**Uso do software R para os cálculos dos índices de concentração da precipitação**

O software R foi utilizado para os cálculos dos índices de concentração da precipitação e pode ser considerado como uma implementação da linguagem S, desenvolvida no Bell Laboratories por Richard A. Becker, John M. Chambers e Allan R. Wilks e forma a base dos sistemas S-Plus (VENABLES; SMITH, 2008).

A evolução da linguagem S foi desenvolvida em quatro livros de John M. Chambers e coautores. Para o R a referência básica é a Nova Linguagem S: um ambiente de programação de análise de dados e gráficos elaborados. Atualmente, é possível encontrar alguns livros que descrevem como usar o R para análise de dados e estatísticas, bem como documentação para o S e o S-Plus, que podem ser usados juntamente com o R, mantendo as diferenças entre eles, (VENABLES; SMITH, 2008).

Muitas pessoas usam o R como um sistema estatístico e, sendo assim, muitas estatísticas modernas foram implementadas. Algumas delas foram construídas na base R de desenvolvimento e outras foram fornecidas como "pacotes".

Para calcular os índices estatísticos trabalhados nesta pesquisa, foi utilizado o pacote Precintcon, desenvolvido por Povoa e Nery (2016), onde existem diversos parâmetros de entrada, como o objeto a ser analisado, o período que se quer trabalhar, onde deve constar o número de dias ou meses a serem agrupados durante o cálculo dos índices. Por exemplo:
I. precintcon.ci.per.year.analysis(d1, interval = 1), para CI;
II. precintcon.pci.analysis(d1), para IPC.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item têm-se os resultados gerados relacionados à caracterização da área de estudo; ao uso e cobertura da terra; à impermeabilização do solo; à concentração da precipitação; e às inundações ocorrentes. Destaca-se aqui que cada tema foi aprofundado num subitem específico, sem perder de vista o objetivo geral do trabalho.

### Caracterização da área de estudo

Para o entendimento das características geoambientais da área de estudo, optou-se neste artigo apresentar os dados conforme a proposta metodológica de Ross (1992) e aplicados na Ilha do Maranhão por Silva (2012).

A Ilha do Maranhão, em um contexto regional, está inserida na Unidade Morfoestrutural Bacia Grajaú – São Luís, que para Cordani *et al*. (2000) é uma Província Geológica originada pela tectônica extensional do Atlântico Equatorial durante o Aptiano; e depositada ao longo do Cretáceo Inferior a Médio com a sedimentação das Formações Grajaú, Codó, Itapecuru e Ipixuna (BANDEIRA, 2013).

Sobreposta a esta bacia sedimentar assentam-se as rochas sedimentares de idade Neógena do Grupo Barreiras e os sedimentos recentes constituídos por diversos tipos de ambientes deposicionais de idade Quaternária (CPRM, 2017).

Como Unidade Morfoescultural, tem-se o Golfão Maranhense, que é uma grande reentrância localizada no centro do litoral norte do Estado do Maranhão. Para o IBGE (2011), parece que o golfão citado está associado a uma extensa zona de subsidência tectônica controlada por falhas normais e transcorrentes de direções NNE-SSW e ENE-WSW que orientam a direção principal dele, do alto estrutural da Ilha do Maranhão e dos baixos cursos dos rios principais convergentes (COSTA *et al*., 1996).

A Ilha do Maranhão, por sua vez, está posicionada no centro desta notável reentrância e que representa para CPRM (2017) um alto topográfico em meio ao litoral afogado do Golfão Maranhense.

Neste contexto geológico-geomorfológico tem-se no alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência, de acordo com a CPRM (2017) a presença de Sedimentos Pós-Barreiras, os quais são constituídos por arenitos finos, amarelados e avermelhados, imaturos, quartzosos com grânulos bem arredondados, além de depósitos aluvionares constituídos por areias e coluviões fluviais de leques terrígenos. Os sedimentos Pós-Barreiras são bem expressivos na área em questão ocupando 97,2%, enquanto os depósitos coluvionares cobrem 2,8% do alto curso.

Associadas a estas características litológicas, têm-se como Unidades Geomorfológicas, os tabuleiros e as planícies fluviais. Os tabuleiros ou tabuleiros conservados ocupam cerca de 90% do alto curso do rio Paciência e se estendem, preferencialmente, por toda a porção leste-nordeste da Ilha do Maranhão, apresentando modestas amplitudes de relevo, entre 20 e 40 metros.

As planícies fluviais ou de inundação, por sua vez, estão associadas aos depósitos aluvionares e coluvionares e ocupam aproximadamente 10% da área em questão, sendo caracterizadas de acordo com CPRM (2017) pelas várzeas situadas em fundos de vales dos tabuleiros conservados ou dissecados no interior da Ilha do Maranhão, como é o caso do alto curso do rio Paciência.

Por estar predominantemente situado em um tabuleiro, tem-se expressivamente a presença de vertentes do tipo planar retilínea e declividades variando entre 0 e 3º, revelando uma área muito plana e de significativa importância para a recarga de aquíferos e lençóis freáticos.

Devido a estas características geológico-geomorfológicas também é alvo de constantes intervenções antrópicas, por ser um padrão de relevo considerado mais adequado do ponto de

vista da produção do espaço urbano e de seus agentes, ocorrendo assim sobre este compartimento geomorfológico, assim como em outros, a expansão territorial da malha urbana.

Conforme a litologia e as formas de relevo presentes, tem-se o desenvolvimento de determinados tipos de solos, que na área de estudo correspondem aos Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico e Gleissolos Háplicos. O primeiro desenvolveu-se na área de estudo associado às áreas de tabuleiros; apresenta marcante descontinuidade hidráulica no seu perfil, o que acarreta num incremento do escoamento superficial e de erosão laminar em sulcos e ravinas, conforme CPRM (2017).

Os referidos autores afirmam ainda que a presença do horizonte adensado "fragipan" reduz significativamente a capacidade de percolação da água nesses solos, constituindo um fator limitante à recarga do Aquífero Barreiras.

Apesar de estarem relacionados à unidade geomorfológica mais expressiva no alto Paciência em termos areais, os Argissolos Vermelho-Amarelo Distróficos ocupam apenas 22,3% da área de estudo, com destaque para a área na porção sudoeste, onde está localizado o Aeroporto Internacional Marechal Cunha Machado, com uma extensa área permeável com cobertura vegetal; e mais timidamente na direção nordeste, onde está localizado o Campus Paulo VI da Universidade Estadual do Maranhão, apresentando pequenas áreas permeáveis com cobertura vegetal.

Os Gleissolos Háplicos, por sua vez, estão associados às planícies fluviais (de inundação ou áreas de várzeas); sendo solos hidromórficos com boa fertilidade natural. No alto curso do rio Paciência, 5,4% da área total é ocupada por este tipo de solo, estando concentrado ao longo do curso principal do rio.

As duas classes de solos mapeadas na área de estudo ocupam 27,7% da área total e 72,3% desta não têm classificação pedológica em virtude do processo de urbanização, uso e cobertura da terra e impermeabilização da área, características estas que serão discutidas posteriormente.

Nas localidades muito urbanizadas, os solos passam por alterações diversas, perdendo algumas características e adquirindo outras devido às intervenções. Além deste fato, as coberturas tecnogênicas nas áreas urbanas dificultam a realização de análises pedológicas criteriosas.

O Quadro 1 apresenta uma matriz de correlação geoambiental do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência, com as características apresentadas neste texto.

**Quadro 1.** Matriz de correlação das características geoambientais da área de estudo.

<table>
<tr><th>Unidade Morfoestrutural</th><th>Unidade Morfoescultural</th><th>Unidades Estratigráficas</th><th colspan="2">Unidades Geomorfológicas</th><th>Solos</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Bacia Grajaú-São Luís</td><td rowspan="4">Golfão Maranhense</td><td rowspan="2">Depósitos Coluvionares</td><td>Modelado</td><td>Declividade</td><td rowspan="2">Gleissolos Háplico</td></tr>
<tr><td>Planície Fluvial</td><td rowspan="2">0 – 3º</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Sedimentos Pós-Barreiras</td><td rowspan="2">Tabuleiros</td><td rowspan="2">Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico</td></tr>
<tr><td></td></tr>
</table>

Fonte: CPRM (2017), organizado por França (2020).

## Uso, cobertura da terra e impermeabilização

Sobre o substrato físico, os seres humanos realizam suas atividades, instalam seus equipamentos e realizam transformações no ambiente outrora natural. Geralmente as grandes alterações nos sistemas naturais que geram grandes respostas geomorfológicas para a sociedade estão associadas ao processo de urbanização e a consequente expansão urbana.

Este processo aconteceu de maneira mais evidenciada e acelerada nos estados brasileiros a partir da década de 1960 e, desta forma, os reflexos dele foram percebidos também na Ilha do Maranhão.

Historicamente, o núcleo urbano da referida ilha esteve ligado aos estuários dos rios Anil e Bacanga. A malha urbana de São Luís praticamente se resumia ao atual centro histórico de São Luís desde sua fundação, em princípios do século XVII até 1920, para atender as funções originais de forte militar e porto exportador de algodão, dentre outras matérias-primas (BURNETT, 2011).

A partir de 1930, com a consolidação de uma burguesia industrial calcada na indústria têxtil, a cidade de São Luís foi expandida a partir de seu núcleo colonial em direção a leste ao longo de tabuleiros dissecados do interflúvio Anil-Bacanga e planícies fluviomarinhas adjacentes (CPRM, 2017).

Até 1965, a malha urbana de São Luís ainda encontrava-se limitada entre os dois estuários devido a questões infraestruturais que impediam sua expansão enquanto metrópole. Somente no findar da década de 60 com a construção de pontes sobre os rios Anil e Bacanga a partir do centro histórico é que se observou uma expansão acentuada para as demais localidades de ilha.

A partir da década de 1970 o processo de crescimento urbano foi iniciado seguindo três vetores de expansão, que segundo Burnett (2011) e CPRM (2017) ocorreram na seguinte ordem:

- 1º vetor – para além do estuário do rio Anil;
- 2º vetor – para além do estuário do rio Bacanga;
- 3º vetor – prosseguimento do eixo central de expansão urbana.

O processo de urbanização do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência está relacionado ao terceiro vetor de expansão urbana, onde, segundo a CPRM (2017), foi iniciado a partir das décadas de 1970 e 1980 para leste e sudeste do bairro do Planalto Anil e do aeroporto de São Luís, inaugurado em 1942 e ampliado em 1974.

Importantes eixos viários, tais como as avenidas Guajajara e Jerônimo de Albuquerque perfazem a interligação do Planalto Anil com os bairros nobres da costa atlântica e a BR-135. Este é o mais expressivo vetor de crescimento populacional da metrópole, cujos eixos de penetração são as estradas da Maioba e Ribamar, além das avenidas Joaquim Mochel, Lourenço Vieira da Silva, José Sarney e Tancredo Neves, dentre as principais.

Nessas áreas com terrenos planos, elevados e bem drenados dos tabuleiros cimeiros, podendo atingir mais de 60 metros de altitude, foram implantados grandes loteamentos proletários com arruamento planejado (CPRM, 2017).

De forma geral, o alto curso do rio Paciência está localizado na área de expansão periférica da ilha, por estar na região central da mesma; 90% de sua área é constituída por tabuleiros, correspondendo à porção mais elevada da Ilha do Maranhão.

Nesta localidade foram instalados bairros como Cidade Operária, Santa Clara, Jardim São Cristóvão, São Bernardo, Tiririca, Maiobinha, Forquilha, dentre outros, que representam o principal vetor de expansão urbana da periferia de São Luís nas últimas décadas.

Estes bairros periféricos apresentam infraestrutura urbana e sanitária muito precária, com ênfase na carência e/ou inexistência de coleta e tratamento de resíduos sólidos urbanos e efluentes domésticos, e de microdrenagem urbana.

Tais condições, aliadas à falta de ações socioeducativas impactantes, gerou na população, ao longo do tempo, a prática inadequada de descarte de resíduos sólidos e dejetos líquidos em diversas localidades a céu aberto e também nos canais fluviais.

A partir deste processo histórico de expansão urbana na área de estudo, atualmente, conforme o mapeamento realizado por Ferreira (2018), tem-se as seguintes classes de uso e cobertura no alto Paciência: mata secundária, mata secundária fragmentada e área urbana de baixa, média e alta densidade (Figura 4).

De acordo com a SEMA (1998, p. 84), a mata secundária é caracterizada como uma cobertura vegetal oriunda "da devastação da floresta, por processos que vão desde o arrasamento da área (...) até a retirada das árvores com valor econômico".

A mata secundária fragmentada refere-se às alterações sofridas pela classe anterior em seu habitat original, ou seja, um habitat contínuo que foi dividido em manchas, ou fragmentos, mais ou menos isolados (O ECO, 2014, n. p.).

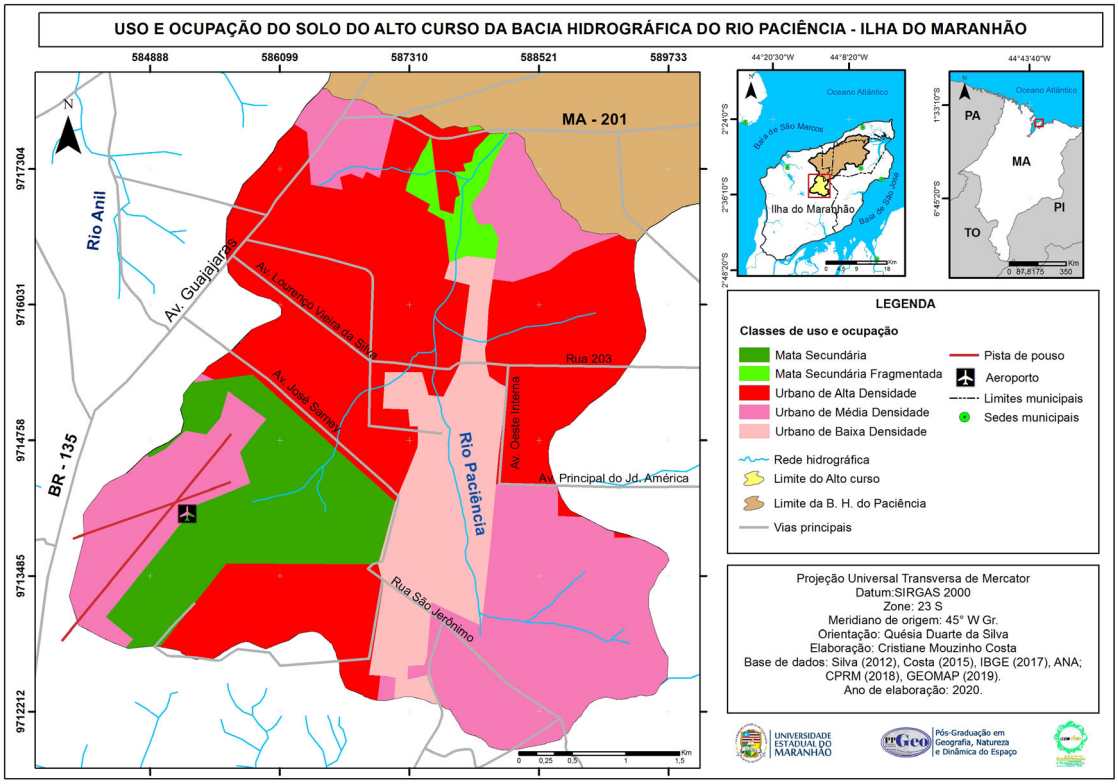
Essa fragmentação pode ocorrer por processos naturais ou antrópicos. Na área da pesquisa, a ação humana ocasionou a fragmentação, por efeito da urbanização desordenada do ponto de vista ambiental e da implantação de infraestrutura de transportes, energia e saneamento, o que se evidencia pelas porcentagens das classes, em que a primeira ocupa 12,7% e a segunda, 2,3% da área total do alto curso.

No que diz respeito às áreas de urbanas, Ferreira (2018) as classificou de três formas – alta, média e baixa densidade, levando em consideração as questões infraestruturais e de aglomeração urbana.

De acordo com IBGE (2005), as áreas classificadas como urbanas de baixa densidade são assim caracterizadas devido à presença de feições urbanas (ruas, quadras *etc.*) e uma ocupação esparsa. Essa classificação inclui loteamentos ainda em processo de ocupação ou uma transição entre as paisagens urbana e rural, situando-se, geralmente, nas bordas da mancha densa.

Há casos, todavia, em que é encontrada uma mancha pouco densa em pequenas ocupações isoladas, como, por exemplo, sedes de distritos municipais.

Na área de estudo, 12,7% possuem este tipo de uso, estando concentrada na porção central, sobretudo nas direções norte-sul, ao longo do canal principal do rio Paciência (Figura 4).




Fonte: Própria pesquisa.

**Figura 4.** Mapa de uso e cobertura da terra do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência, Ilha do Maranhão.

As áreas urbanas de média densidade apresentam uma ocupação urbana contínua, baixa verticalização, com predominância de casas, com pouco espaçamento entre as construções, porém, com maior presença de solo não impermeabilizado (IBGE, 2005).

No alto Paciência este tipo de uso está concentrado próximo às bordas dos tabuleiros, sobretudo nos bairros Cidade Operária, Tirirical e São Bernardo, incluindo a área do aeroporto, ocupando cerca de 31,2% da totalidade da área.

As localidades de alta densidade urbana, segundo o IBGE (2005), normalmente correspondem às áreas centrais de grandes aglomerações urbanas, caracterizando-se por um adensamento acentuado das construções, com presença de verticalização e quase ausência de solo não impermeabilizado.

Na área em estudo esta é a classe com maior representação percentual/areal cobrindo 41% da localidade. Ocupa atualmente as porções centro-leste, centro-oeste, uma pequena área ao norte e extremo sul, neste, contíguo ao aeroporto internacional.

Associada às categorias de uso e cobertura, tem-se o fator impermeabilização que está diretamente atrelado à forma como o uso está classificado e espacializado. Conforme mencionado no item de caracterização geoambiental, apenas 27,7% da área de estudo está numa área com classificação pedológica, pois as demais áreas estão impermeabilizadas, o que dificulta o processo de identificação e classificação dos solos.

No que diz respeito à análise de bacias hidrográficas e aos fenômenos inerentes a elas, como é o caso das inundações, os solos apresentam significativa importância, pois a capacidade de infiltração destes contribui para a diminuição do nível das águas pluviais nos canais de drenagem e áreas marginais.

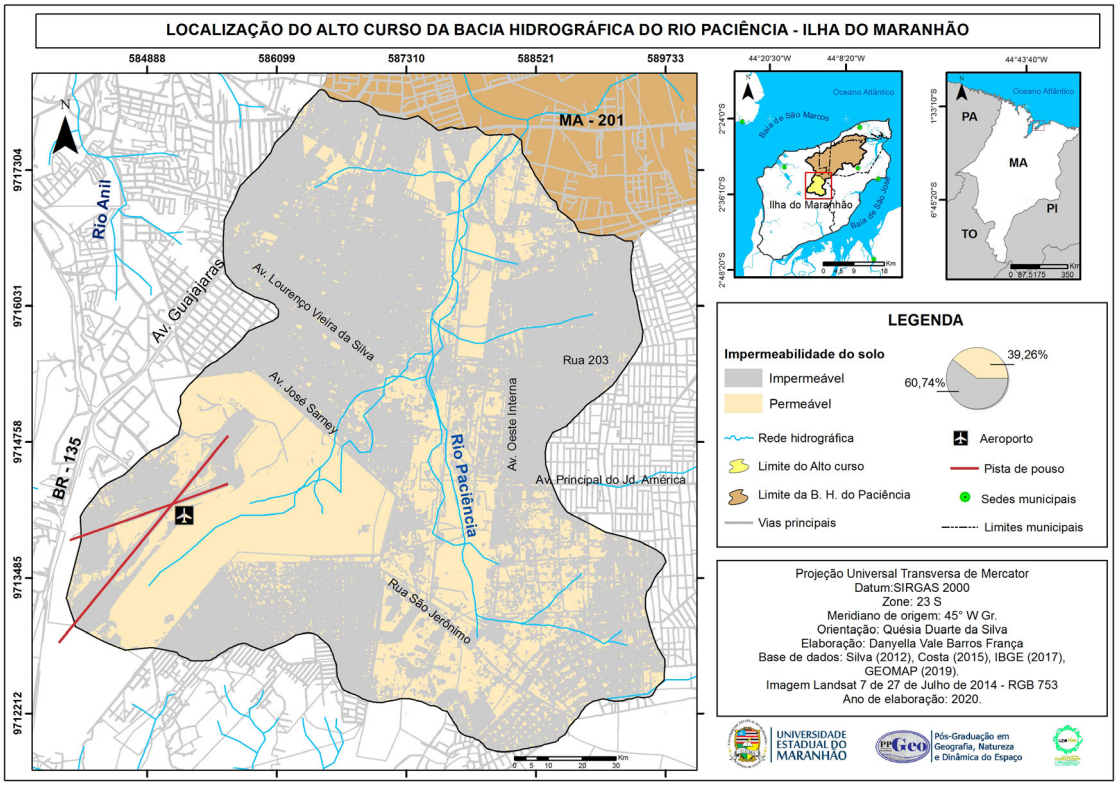
A impermeabilização dos solos tem influência direta na ocorrência de eventos de inundação urbana, os quais causam efeitos diversos para o ambiente e para a população residente. De acordo com Canholi (2005), diversos fatores podem ser deflagradores de inundações urbanas, tais como impermeabilização dos solos, sistemas de drenagem de águas pluviais ineficientes ou inexistentes, acúmulo de lixo e outros detritos nos canais fluviais, sistemas de alerta lentos, pouco abrangentes e ineficientes e gestão inadequada e/ou existente dos espaços.

Além destes fatores, Botelho (2011) destaca que as bacias hidrográficas urbanas têm o ciclo hidrológico alterado/reduzido ao binômio infiltração/escoamento, com predominância significativa do segundo em relação ao primeiro.

Com a expansão urbana, as alterações dos sistemas naturais são inevitáveis, e a impermeabilização dos solos é um efeito direto da urbanização, conforme Justino, Paula e Paiva (2011). Assim, no alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência o cenário é muito parecido com as demais bacias hidrográficas urbanas brasileiras, que apresentam intensificação da ocorrência dos fenômenos de inundação devido às transformações humanas oriundas da urbanização.

De acordo com o mapeamento realizado (Figura 3), 60,74% da área do alto Paciência encontra-se impermeabilizada por coberturas asfálticas ou concretadas, instalação de prédios comerciais diversos, residências, áreas de lazer e entretenimento e de outras formas relacionadas ao processo de expansão urbana.

Apenas 39,26% da área apresentam áreas permeáveis (Figura 5). Considerando a resolução da imagem trabalhada e dos dados gerados em trabalhos de campo, acredita-se que a porcentagem de áreas permeáveis possa ser menor do que a cartografada.




Fonte: Própria pesquisa.

**Figura 5.** Mapa de impermeabilização do solo do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência, Ilha do Maranhão.

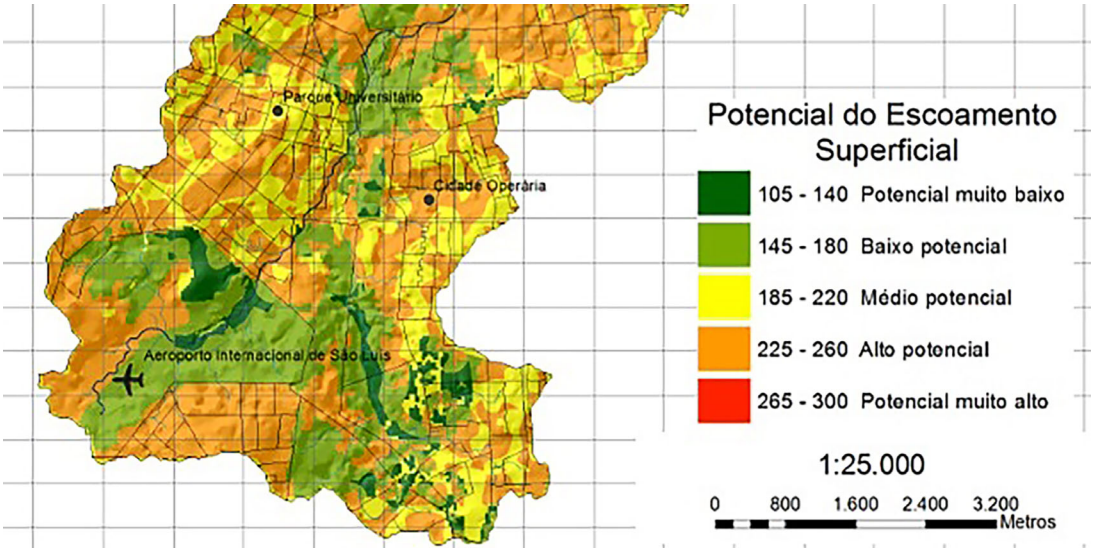
Dentre as localidades permeáveis, têm-se pequenas áreas de planície fluvial que ainda não foram ocupadas, locais com solo exposto e áreas de vivência apenas com cobertura vegetal, além da área reservada ao Aeroporto Internacional de São Luís. Essas áreas permeáveis estão associadas às categorias de mata secundária e fragmentada do mapeamento realizado por Ferreira (2018).

O processo de impermeabilização das vertentes, tabuleiros e a consequente desconfiguração dos solos do alto Paciência, tornou nulo, em termos práticos, o processo de infiltração, ocorrendo assim predominantemente grande concentração de escoamento superficial acelerado em direção aos fundos de vale frente a eventos de precipitação.

Tal cenário foi confirmado por Cavalcanti Júnior (2016), que identificou na área em questão, a predominância do alto potencial de escoamento superficial nas áreas dos grandes adensamentos urbanos (Figura 6).

Como pode ser observado na Figura 7, tem-se uma área densamente ocupada com características impermeáveis. Como citado anteriormente, estas características de uso e cobertura da terra estão relacionadas ao processo histórico de expansão da Ilha do Maranhão e ocupação do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência.

Em trabalhos de campos, observou-se a presença de canais modificados morfologicamente, com coberturas asfálticas, ora nas áreas marginais, ora cobrindo todo o canal. Tais alterações contribuem significativamente para a ocorrência de inundações na área em questão.




Fonte: Cavalcanti Júnior (2016).

**Figura 6.** Potencial de escoamento superficial da área de estudo.

Tendo em vista todas as modificações morfológicas ocasionadas nos canais fluviais, nas vertentes e nos tabuleiros ao longo da área de estudo gerando impermeabilidade no solo (Figura 7), destaca-se que a análise pluviométrica da região é fundamental para o entendimento dos reais fatores deflagradores das inundações que tem gerado diversos transtornos no alto curso do rio Paciência, uma vez que estes eventos estão diretamente relacionados à distribuição pluviométrica.

Fonte: Costa (2015).

**Figura 7**. Área urbana de alta densidade na Av. Lourenço Vieira da Silva.

## A Concentração da precipitação na Ilha do Maranhão

Para quantificar a concentração da precipitação na Ilha do Maranhão foram utilizados o índice de concentração (CI) e o índice de concentração da precipitação (PCI).

O CI estimou a concentração diária da precipitação na Ilha do Maranhão e, de maneira geral, demonstrou concentração diária elevada para o período de 1975 a 2014.

A Tabela 1 mostra a contribuição da precipitação diária expressa em milímetros na Ilha do Maranhão e a Tabela 2, os valores do índice para os anos do período estudado.

A observação da Tabela 1 permite analisar a contribuição (%) da concentração diária das precipitações na Ilha do Maranhão, onde 5% das precipitações diárias concentram-se em torno de 38 mm, enquanto 50% estão concentradas em torno de 85 mm.

Na Tabela 2, estão expressos os valores do índice CI para cada ano do período analisado. De maneira geral, CI acima de 0,6 indica expressiva concentração diária da precipitação e, segundo a classificação de Martin-Vide (2004), existe marcada concentração diária de chuvas na área de estudo, uma vez que muitos dos anos do período estudado apresentam CI superior a 0,6, isto é, quando 70% da precipitação ocorrem em 25% dos dias mais chuvosos.

**Tabela 1.** Contribuição da precipitação diária (%) expressa em milímetros na Ilha do Maranhão, de 1975 a 2014.

| Contribuição da precipitação diária | Valor em milímetros |
|---|---|
| 5% | 38 mm |
| 10% | 51 mm |
| 15% | 59 mm |
| 20% | 65 mm |
| 25% | 70 mm |
| 30% | 74 mm |
| 50% | 85 mm |

Organização: SIQUEIRA, B. 2020.

**Tabela 2.** Índice de concentração (CI) de 1975 a 2014 na Ilha do Maranhão

| Ano | Valor do CI | Ano | Valor do CI | Ano | Valor do CI |
|---|---|---|---|---|---|
| **1975** | 0,45 | **1991** | 0,47 | **2007** | 0,67 |
| **1976** | 0,39 | **1992** | 0,60 | **2008** | 0,60 |
| **1977** | 0,55 | **1993** | 0,57 | **2009** | 0,55 |
| **1978** | 0,60 | **1994** | 0,58 | **2010** | 0,60 |
| **1979** | 0,63 | **1995** | 0,59 | **2011** | 0,58 |
| **1980** | 0,59 | **1996** | 0,59 | **2012** | 0,54 |
| **1981** | 0,67 | **1997** | 0,64 | **2013** | 0,62 |
| **1982** | 0,65 | **1998** | 0,43 | **2014** | 0,56 |
| **1983** | 0,58 | **1999** | 0,59 | | |
| **1984** | 0,58 | **2000** | 0,59 | | |

continua

continuação

| Ano | Valor do CI | Ano | Valor do CI | Ano | Valor do CI |
|---|---|---|---|---|---|
| **1985** | 0,54 | **2001** | 0,58 | | |
| **1986** | 0,51 | **2002** | 0,61 | | |
| **1987** | 0,47 | **2003** | 0,61 | | |
| **1988** | 0,59 | **2004** | 0,65 | | |
| **1989** | 0,63 | **2005** | 0,61 | | |
| **1990** | 0,59 | **2006** | 0,59 | | |

Organização: SIQUEIRA, B. 2020.

O CI indica a contribuição da precipitação extrema para o total de precipitação acumulada ao longo de um ano. Precipitações extremas estão vinculadas a eventos de inundações e, por essa razão, estudar o índice permite analisar e prever situações de risco para determinada área de estudo (SHI *et al*., 2014).

Valores pluviométricos mensais e anuais escondem quantidades diárias de chuva muito diferentes, o que pode alterar o caráter seco ou chuvoso de qualquer mês, estação ou ano (MARTIN-VIDE, 2004). Neste sentido, a quantificação mensal da precipitação também foi estimada para a Ilha do Maranhão através do índice de concentração da precipitação (PCI).

Na Ilha do Maranhão, no período de 1975 e 2014, o PCI indicou, de maneira geral, sazonalidade na distribuição das chuvas (Tabela 3), de acordo com a classificação de Oliver (1980).

**Tabela 3.** Índice de concentração (PCI) de 1975 a 2014 na Ilha do Maranhão.

| Ano | Valor do PCI | Ano | Valor do PCI | Ano | Valor do PCI |
|---|---|---|---|---|---|
| **1975** | 11 | **1991** | 18 | **2007** | 20 |
| **1976** | 16 | **1992** | 22 | **2008** | 20 |
| **1977** | 20 | **1993** | 14 | **2009** | 15 |
| **1978** | 14 | **1994** | 17 | **2010** | 14 |
| **1979** | 17 | **1995** | 15 | **2011** | 17 |
| **1980** | 18 | **1996** | 17 | **2012** | 14 |
| **1981** | 21 | **1997** | 20 | **2013** | 13 |
| **1982** | 19 | **1998** | 12 | **2014** | 26 |
| **1983** | 20 | **1999** | 18 | | |
| **1984** | 16 | **2000** | 16 | | |
| **1985** | 16 | **2001** | 16 | | |
| **1986** | 24 | **2002** | 18 | | |
| **1987** | 19 | **2003** | 17 | | |
| **1988** | 15 | **2004** | 21 | | |
| **1989** | 13 | **2005** | 16 | | |
| **1990** | 12 | **2006** | 17 | | |

Organização: SIQUEIRA, B. 2020.

No entanto, alguns anos do período estudado, como os de 1986 e 2014, apresentaram PCI igual ou superior a 20, denotando, de acordo com Oliver (1980), marcada variabilidade mensal na distribuição das chuvas.

A precipitação pode ser considerada a principal variável meteorológica presente no NEB (Nordeste do Brasil) que, com um regime de chuvas não uniforme possui uma variação interanual e sazonal que implica na quantidade de precipitação (MENEGHETTI; FERREIRA, 2009).

Kousky (1979) identificou três regimes de precipitação no NEB. No primeiro regime**,** que abrange o norte da região, composta por Maranhão, Ceará, oeste do Rio Grande do Norte, interior da Paraíba e Pernambuco, as chuvas ocorrem durante o outono por meio do deslocamento mais ao sul da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), da convergência de umidade e da convecção local (MOLION; BERNARDO, 2002).

O segundo regime identificado compreende a região do litoral leste do NE, do Rio Grande do Norte até o estado da Bahia. Nessa região, as precipitações ocorrem por meio da influência das massas de ar tropicais ou ainda por meio dos distúrbios ondulatórios de leste que atingem o litoral nordestino com maior intensidade.

O terceiro regime influencia a parte sul do NE, compreendida pela Bahia, norte de Minas Gerais, noroeste do Espírito Santo e partes do Maranhão, Piauí e Pernambuco. A maior precipitação da região ocorre na época do verão pela atuação de sistemas frontais, convecção local e vórtices ciclônicos.

Neste sentido, o NNE possui uma dinâmica climática que responde por sistemas como a ZCIT, convecções locais e águas mais aquecidas do oceano Atlântico Sul, que influenciam diretamente na variabilidade das chuvas e na concentração diária e mensal da precipitação.

De acordo com os índices utilizados, no ano de 2014 não houve concentração diária da precipitação, isto é, não foi um ano com a presença, por exemplo, de chuvas convectivas, com grande concentração de água em pouco tempo. A concentração mensal com marcada variabilidade indica inclusive a presença de sistemas atmosféricos que perduraram alguns dias sobre a área de estudo.

Segundo duas análises independentes da National Aeronautics and Space Administration (NASA) e da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), o ano de 2014 foi o mais quente desde 1880. A temperatura média da superfície do planeta foi 0,69 grau mais alta que a média do século XX, quatro centésimos de grau a mais que os recordes anteriores, observados em 2005 e 2010 (NASA, 2014; NOAA, 2014).

De acordo com essas análises independentes, a temperatura média da superfície do planeta subiu 0,8 grau desde 1880 e, em grande parte impulsionada pelo aumento de $CO^2$ e outras emissões humanas na atmosfera. A maior parte do aquecimento ocorreu nas últimas três décadas e, com exceção do ano de 1998, os 10 anos mais quentes ocorreram desde 2000.

Segundo a FUNCEME (2014), e após a análise das condições oceânicas e atmosféricas de grande escala e dos resultados de modelos numéricos globais e regionais e de modelos estatísticos de diversas instituições de meteorologia do Brasil (FUNCEME, INMET, CPTEC/INPE) e do exterior (IRI e UK MetOffice), para o primeiro trimestre de 2014, persistiu, no oceano Pacífico, a condição de neutralidade com predomínio da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) oscilando entre 0°C e -0,5°C, principalmente, no setor leste da bacia equatorial.

A circulação de ventos em baixos níveis (850 hPa) corrobora essa situação de neutralidade no Pacífico, destacando-se ventos com valores próximos da média climatológica soprando de leste para oeste, em particular no centro-leste da bacia. Os

resultados dos modelos numéricos e estatísticos indicaram a permanência de águas com valores próximos à média, por volta dos meses janeiro a março, indicando uma permanência do evento neutro nesse período trimestral, que pode ser seguido de um aquecimento das águas do Pacífico Equatorial após esse trimestre.

No Atlântico Tropical Norte, observou-se a presença de anomalias positivas de TSM (Temperatura da Superfície do Mar) com valores superiores a 0,5°C próximo à costa da África até próximo do meio dessa bacia oceânica.

No setor sul da bacia, predominaram anomalias de TSM com valores em torno da média e apenas uma área fria (anomalias de até -1,0°C). Observou-se também um aquecimento junto à costa da África, desde o Equador até próximo de 30°S. O dipolo do Atlântico apresenta-se Neutro. As anomalias de PNM (Pressão ao Nível do Mar) e ventos estão consistentes com essa configuração térmica. É importante destacar que a TSM no Atlântico Tropical, nos primeiros dias de janeiro de 2014, apresentou uma pequena tendência de aquecimento ao sul e resfriamento ao norte do Equador (FUNCEME, 2014).

Em 2014, a variabilidade espacial é intrínseca à distribuição de chuvas no NNE, devido a fatores diversos como efeitos topográficos, proximidade em relação ao oceano e cobertura vegetal. Em localidades com menores valores de precipitação climatológica, a variabilidade temporal das chuvas pode provocar uma maior frequência de veranicos e em áreas com normais climatológicas mais expressivas, como regiões litorâneas ou serranas, existe a possibilidade de ocorrerem eventos extremos de chuva (FUNCEME, 2014).

De acordo com Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, 2014) padrões de variabilidade intrasazonal também podem aumentar ou inibir a ocorrência de chuvas sobre o NNE, ressaltando-se a propagação de um sinal favorável ao aumento das chuvas no início de fevereiro de 2014.

A previsão por consenso para o primeiro trimestre de 2014 indicou a seguinte distribuição de probabilidades para a ocorrência de totais pluviométricos para o norte da Região Nordeste: 25%, 40% e 35% das chuvas nas categorias acima, dentro e abaixo da faixa normal climatológica para este período, respectivamente. No limite superior da faixa normal de precipitação, para o referido trimestre, a Ilha do Maranhão apresentou volumes de precipitação entre 900 e 1200 mm (CPTEC, 2014).

No ano de 2014 a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) passou a valores abaixo da Normal Climatológica em uma área do Atlântico Norte, próximo à costa noroeste da África e em torno da Normal Climatológica no Atlântico Equatorial. Esta configuração contribuiu para a atuação da ZCIT, principal sistema responsável pela ocorrência de chuvas no NNE, em torno de sua posição climatológica durante fevereiro (INMET, 2014a).

A ZCIT é o sistema meteorológico mais importante na determinação de quão abundante ou deficiente serão as chuvas no setor norte do Nordeste do Brasil. Normalmente a ZCIT migra sazonalmente de sua posição mais ao norte, aproximadamente 12ºN, em agosto-setembro para posições mais ao sul e aproximadamente 4°S, em março-abril (FUNCEME, 2014).

Nesse sentido, as condições oceânico-atmosféricas mencionadas são as principais responsáveis pela dinâmica climática e regime de chuvas na Ilha do Maranhão no período estudado e explicam de forma coerente a marcada variabilidade da precipitação encontrada no ano de 2014.

## Inundações na área de estudo

A Ilha do Maranhão é afetada pela ocorrência de inundações no período chuvoso desde tempos remotos. As primeiras notícias vinculadas à temática datam da década de 1980, nas áreas onde foi formado o primeiro núcleo urbano da capital, São Luís, no eixo de ocupação do Rio Anil, e logo em seguida Rio Bacanga. Conforme o núcleo urbano foi se expandindo em direção ao eixo central da Ilha, a urbanização foi se consolidando também na bacia do Rio Paciência e com ela a ocorrência cada vez mais frequente dos eventos de inundação.

As inundações em si não causam problemas, são processos hidrológicos naturais nos quais o rio ocupa seu leito maior, devido a grandes precipitações. Contudo, em áreas urbanas, os impactos sobre os habitantes são causados, especialmente, pela ocupação inadequada, conjugada com a ação da chuva nos canais fluviais.

Na área de estudo desta pesquisa, em decorrência da pressão exercida pelas atividades antrópicas na bacia e das precipitações, a mesma demonstra sinais e/ou respostas geomorfológicas decorrentes deste processo, como constatou Costa (2015) através do mapeamento de quatro manchas de inundação no alto curso do Paciência em 2014. Estas manchas foram denominadas de acordo com a rua ou o bairro mais afetado, a saber: Mancha Apaco, São Jorge, Unidade 203 e Eliézer Silva (Figura 8).

## Mancha de inundação Apaco

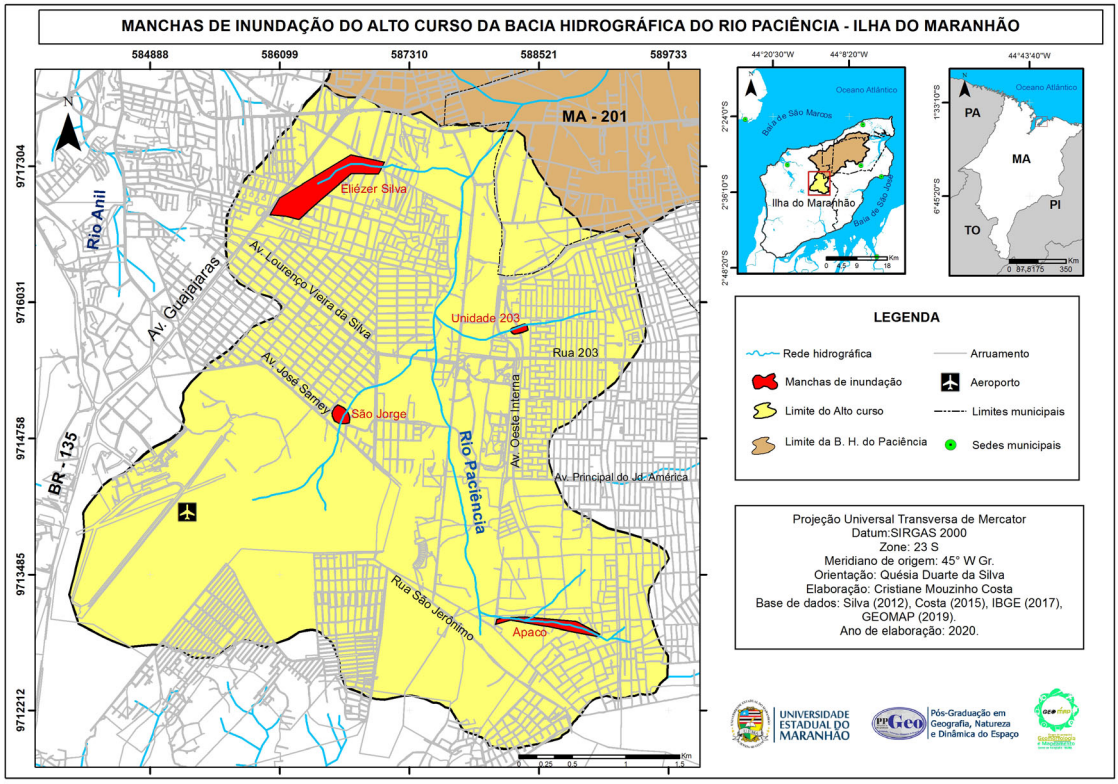
Esta mancha de inundação compreende os bairros Apaco, Vila Apaco da Cidade Operária e Santa Clara e localiza-se na porção sudeste do alto curso Paciência. A posse da terra desta área ocorreu no ano de 2010 quando o governo do estado a cedeu para produtores agrícolas exercerem suas atividades, os quais criaram a Associação de Produtores Agrícolas da Cidade Operária (Apaco).

A maioria dos produtores venderam seus lotes, e no ano de 2014 a principal atividade exercida no local não era mais agrícola e a maioria dos sítios que anteriormente tinham características rurais atualmente são residências de trabalhadores da área urbana de São Luís (COSTA, 2015).

A drenagem oriunda da nascente do rio Paciência no bairro Santa Clara, presente nesta área, em parte foi aterrada para construção de ruas e avenidas e o canal fluvial encontra-se descaracterizado. Os moradores locais construíram um muro como forma de se "proteger" das inundações, entretanto, tal medida não surtiu o efeito esperado, e no período chuvoso, o muro sempre é derrubado.

Apesar deste cenário, a área mais crítica em relação aos eventos de inundação é na Vila Apaco que surgiu por ocupação espontânea no ano de 2007. O leito fluvial foi aterrado para construção de moradias e a planície de inundação também foi ocupada. Devido ao tipo de ocupação, as habitações têm características precárias e nenhuma infraestrutura urbana e saneamento.

Costa (2015) verificou através de relatos dos moradores, que os anos de 2007 até 2014, este último de que trata esta pesquisa, toda a vila era atingida pelos eventos de enchente e inundação.




Fonte: Própria pesquisa.

**Figura 8.** Mapa das manchas de inundação do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência, Ilha do Maranhão.

Em 2014, o periódico G1 – Maranhão noticiou que os moradores da Vila Apaco ainda estavam se recuperando da chuva de 12 de fevereiro de 2013, que deixou 135 famílias desabrigadas, quando foram novamente atingidos pelas chuvas intensas no dia 10 de maio de 2014; 14 famílias foram cadastradas para receberem o Aluguel Social[5] e outras 49 corriam o risco de perder suas casas (G1-MARANHÃO, 2014).

A mancha de inundação Apaco abrange também parte do bairro Santa Clara. Nesta área tem-se a principal nascente da bacia hidrográfica do rio Paciência, possivelmente num ponto em que se encontra um poço de captação de água da Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão.

Neste local, o canal fluvial foi aterrado, e em outro ponto retificado, com tubulações implantadas para o lançamento de efluentes. Na área em que o canal está aberto, observa-se também a presença de materiais gárbicos no entorno; durante as precipitações, os materiais citados são lançados no canal aberto, contribuindo para aumento do pico de cheia.

Com relação aos prejuízos, os moradores locais relatam a perda de móveis e de eletrodomésticos em decorrência da "invasão" da inundação nas residências, e como forma de prevenção constroem calçadas altas e batentes.

De acordo com as informações do presidente da Associação de Moradores do bairro Santa Clara, contabiliza-se cerca de 400 famílias atingidas pelos eventos de inundação no local (COSTA, 2015).

## Mancha São Jorge

A rua São Jorge é a mais atingida pelos eventos de inundação na área, por isso, intitula a mancha. As ruas Professor Rosa e Epitácio Cafeteira no bairro Jardim São Cristóvão também são afetadas, sobretudo as residências próximas ao canal fluvial.

Destaca-se nesta área a nítida construção das residências no leito fluvial. Há o assoreamento deste leito e lançamentos de águas negras das residências no entorno do canal.

A população residente relatou, nos trabalhos de campo realizados, que as inundações iniciaram a partir do ano de 1994. Durante estes eventos, a águas do leito cobriam a ponte de madeira, invadindo as casas. Móveis e eletrodomésticos eram perdidos, e o perigo de contaminação por doenças de veiculação hídrica era alto, assim como o desabamento de residências construídas no leito fluvial.

A Defesa Civil municipal notificou uma residência com risco de desabamento, mas os moradores optaram por não sair do local. No dia 10 de maio de 2014 registrou-se um evento pluviométrico de 181,4 mm (INMET, 2014b) com cerca de 8 horas de precipitação ininterrupta.

A água invadiu as residências e provocou o desabamento da moradia em questão. A família residente não foi atingida, pois não havia ninguém na habitação durante o desabamento. Nesta mancha, cerca de 23 famílias são afetadas pelas inundações (COSTA, 2015).

## Mancha Unidade 203

Na Unidade 203 localizada no bairro Cidade Operária, o local mais crítico corresponde à rua 203 Noroeste. Conforme Costa (2015), nos relatos dos moradores atingidos, os anos com maiores cheias e inundações correspondiam a 2010 e 2014.

Em trabalho de campo percebeu-se que o canal fluvial foi retificado e em parte dele foram implantadas tubulações para lançamento de efluentes domésticos. Além disto, materiais gárbicos e úrbicos são lançados no canal fluvial, gerando o assoreamento do fundo de vale, aumentando o pico de cheia e contribuindo para os eventos destacados.

Nesta área, a mancha da inundação é menor do que as outras e acredita-se que isso ocorre, porque parte da planície fluvial é utilizada para recreação e não está totalmente impermeabilizada.

## Mancha Eliézer Silva

A mancha Eliézer Silva compreende cerca de 12 ruas no bairro São Bernardo, sendo este próximo à Avenida Guajajaras. As ruas mais afetadas são Eliézer Silva e Santa Bárbara.

A história das inundações no local está intimamente relacionada à construção da Avenida Guajajaras na década de 1980. Segundo os moradores mais antigos do local, desde o término da construção da avenida, na qual houve aterramento do canal fluvial e implantação de tubulações de esgoto doméstico, os eventos se tornaram constantes no período chuvoso.

Devido à impermeabilização do local e má drenagem urbana, as inundações também geram em alagamentos, que se estendem até a referida avenida, causando transtornos na circulação de veículos e pessoas e muitas vezes causando danos a automóveis que trafegam na via.

Além das perdas materiais, como móveis, eletrodomésticos e automóveis, os habitantes têm prejuízos psicológicos, e alguns já chegaram a ter sua integridade física posta em perigo.

Os relatos de escoriações são comuns pelos moradores, devido ao desabamento de muros das residências ou quedas ocorridas na tentativa de atravessar a via durante os fenômenos. Até o ano de 2014, as maiores inundações enfrentadas pelos moradores foram as ocorridas nos anos de 2008 e 2009, pois o nível da água subiu mais rápido que o habitual.

## CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi analisar a concentração da precipitação e a ocorrência de inundações no ano de 2014 no alto curso da bacia hidrográfica do rio Paciência na Ilha do Maranhão. Nesta área, tem-se anualmente o registro de fenômenos de inundação, com danos às populações residentes, justificando a importância deste trabalho.

Inundações são fenômenos naturais hidrogeomorfológicos relacionados à dinâmica fluvial e às precipitações. Nas áreas urbanas, estes fenômenos podem ser alterados em função da forma de apropriação do espaço e das alterações climáticas locais.

Com base nos dados apresentados relacionados à concentração da precipitação e às características geológicas, dos relevos, dos solos, de uso e cobertura da terra e da impermeabilização, os quais foram fundamentais para uma análise integrada de fenômenos geradores das inundações na área, pode-se afirmar até o presente momento que:

• Considerando as condições oceânico-atmosféricas responsáveis pela dinâmica climática e regimes de chuvas na Ilha do Maranhão, e especialmente os três regimes de precipitação no NEB (Nordeste Brasileiro), isto é, a ZCIT, a influência das massas de ar tropicais ou ainda por meio dos distúrbios ondulatórios de leste, e a atuação de sistemas frontais, convecção local e vórtices ciclônicos, no ano de 2014 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;

• Há quatro áreas com ocorrência anual de inundações, denominadas aqui de manchas, a saber: Mancha Apaco, São Jorge, Unidade 203 e Eliézer Silva, 423 famílias identificadas e afetadas no ano de 2014, com destaque para as duas primeiras áreas, em termos de número de pessoas afetadas, isto é, 423 famílias;

• Nestas quatro áreas foram identificadas alterações morfológicas resultantes das ações de retirada da cobertura vegetal nos fundos de vale para instalação de equipamentos urbanos improvisados e sem estrutura sanitária adequada, com lançamentos de águas negras das residências e dos comércios no entorno e no interior do canal fluvial; de aterros construídos para implantação de estradas, de prédios comerciais e domiciliares; de construção de muro e de pontes improvisadas nos fundos de vale; de retificação do canal fluvial pelo poder público, no intuito de reduzir os eventos de inundação; do assoreamento dos leitos fluviais pela retirada da cobertura vegetal, com alteração na dinâmica sedimentológica das vertentes e pela deposição de resíduos sólidos (materiais gárbicos e úrbicos) realizada pelos moradores no entorno das áreas;

• As características relacionadas às unidades estratigráficas, ao relevo e aos solos não indicam que a área de estudo é propícia às inundações;

• Os fenômenos de inundação que ocorreram no ano de 2014 na área de estudo foram causados pelo inadequado uso e cobertura da terra, que por sua vez está intrinsecamente relacionado à gestão dos espaços urbanos.

## NOTA

5 Benefício concedido pela Lei nº 8.742/1993 e Decreto 6.307/2007 que determinam um benefício assistencial a famílias que se encontram sem moradia por consequência de calamidades públicas, entre elas enchentes e inundações.

## REFERÊNCIAS

ALEXAKIS, D. D; GRILLAKIS, M. G.; KOUTROULIS, A. G.; AGAPIOU, A.; THEMISTOCLEOUS, K.; TSANIS, I. K.; MICHAELIDES, S.; PASHIARDIS, S.; DEMETRIOU, C.; ARISTEIDOU, K.; RETALIS, A.; TYMVIOS, F.; HADJIMITSIS, D. G. GIS and remote sensing techniques for the assessment of land use change impact on flood hydrology: the case study of Yialias basin in Cyprus. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 14, n. 2, p. 413-426, 2014.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. Tropical Pacific and South Atlantic effects on precipitation variability over Northeastern Brazil. **International Journal of Climatology**. v. 26, n. 13, p. 1895-1912, 2006.

ARAÚJO JÚNIOR, A. C, R.; TAVARES JÚNIOR, S. S. Expansão urbana e fatores de risco à inundação em Boa Vista-RR. **Revista RA'E GA Curitiba**, v. 44, p. 139-153, 2018.

BANDEIRA, I. C. N. (org.). **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Serviço Geológico do Brasil. Teresina: CPRM, 2013.

BARROS, D. V.; GARRITO, A. C.; COSTA, C. M.; ARAUJO, R. P. S.; SILVA, Q. D. 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:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 16., 2015, Teresina. **Anais [...].** Teresina: UFPI, 2015. v. 1. p. 3253 – 3259.

BOTELHO, R. G. M. Bacias hidrográficas urbanas. *In*: GUERRA, A. J. T (org.). **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 71-116.

BRASIL. **Enchentes no Norte e Nordeste do Brasil**. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Comitê das Enchentes. ESPIN. [S.l.], 2009.

BRATH, A. **Hydrometeorological aspect of the flooding in the upper Po river basin**: frequency characteristics and real- time predictability. University of Bologna. U.S.- Italy, 1994.

BROOKS, C. E. P; CARRUTHERS, N. **Handbook of Statistical Methods in Meteorology**. London: Meteorological Office, 1953.

BURNETT, C. F. L. Da cidade unitária à metrópole fragmentada: crítica à constituição da São Luís moderna. *In*: BURNETT, C. F. L. **São Luís por um Triz:** escritos urbanos e regionais. São Luís: Editora UEMA, 2011. p. 58-77.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CAVALCANTI, I. F. A. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: a review and case studies for the first decade of the 21st century. **Atmospheric Research**, v. 118, p. 27-40, 2012.

CAVALCANTI JÚNIOR, F. A. **Zoneamento do escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Paciência, Ilha do Maranhão,** 2016. 240 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Presidente Prudente, 2016.

CENAPRED. **Inundaciones**. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Secretaria de Governacion. Serie Fascículos. México: CENAPRED, 2007. Disponível em: http://www.acapulco.gob.mx/proteccioncivil/fasiculos/ Fasc._Inundaciones_2007_a.pdf. Acesso em: 20 mar. 2013.

180 GRAUS. Prefeito decreta estado de emergência em SLZ por 180 dias. **180 Graus**, São Luís, 2014, 23 jun. 2014, p. 1 e 2. Disponível em: https://180graus.com/geral/prefeito-decreta-estado-de-emergencia-em-slz-por-180-dias-197888. Acesso em 25.10.2014.

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

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

CHEN, Y.R.; YEH, C. H.; YU, B. Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and flood plain management in Taiwan. **Natural Hazards**. v. 59, p. 1261–1276, 2011.

CHEN, H.; ITO, Y.; SAWAMUKAI, M.; TOKUNAGA, T. Flood hazard assessment in the Kujukuri Plain of Chiba Prefecture, Japan, based on GIS and multicriteria decision analysis. **Natural Hazards**, v. 78, n. 1, p. 105-120, 2015.

CLARKE, R. T.; SILVA, B. C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia do rio São Francisco. **Revista Brasileira de Meteorologia**, n. 19, p. 265-272, 2004.

CORDANI, U. G.; SATO, K.; TEIXEIRA, W; TASSINARI, C. C. G.; BASEI, M. A. S. Crustal evolution of the South America Platform. *In*: INTERN. GEOL. CONGR., 31., 2000, Rio de Janeiro. **Anais […].** Rio de Janeiro, 2000, p. 19-40.

COSTA, C. M.; BARROS, D. V.; GARRITO, A. C.; SILVA, Q. D. Influência da cobertura da terra nos eventos de inundações no alto curso da bacia hidrográfica do Paciência - São Luís – MA. *In*: SEABRA, G. (org.). **Terra:** paisagens, solos, biodiversidade e os desafios para um bom viver. 7. ed. Ituiutaba: Barlavento, 2016. v. 7, p. 708-716.

COSTA, C. M.; FRANCA, 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, e44, p. 44-67. 2020. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/38074. Acesso em: 10 mar. 2020.

COSTA, C. M.; MORAES, M. S.; SILVA, Q. D.; BEZERRA, J. F. R.; FRANCA, 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.; GORAYEB, A. (org.). **Geografia física e as mudanças globais**. Fortaleza: Editora da UFC, 2019, v. 1, p. 20-32.

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**, n. 13, p. 68-80, 2017b. Disponível em: http://entornogeografico.univalle.edu.co/index.php/entornogeografico/%20article%20/view%20/6031. Acesso em: 20 set. 2017.

COSTA, C. M.; SILVA, Q. D.; FRANCA, 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: Unicamp, 2017a, v. 1, p. 3807-3817.

COSTA, C. M.; SILVA, Q. D.; GARRITO, A. C.; BARROS, D. V.; ARAUJO, R. P. S. Inundações urbanas: estudo de caso do alto curso da bacia hidrográfica do Paciência - Ilha do Maranhão. **Revista Geonorte**, v. 10, p. 222-227, 2014.

COSTA, C. M. **Inundações urbanas:** estudo de caso do alto curso da bacia hidrográfica

do rio Paciência - Ilha do Maranhão. 2015. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2015.

COSTA, J. B. S.; BEMERGUY, R. L.; HASUI, Y; BORGES, M. S.; FERREIRA Jr., C. R. P.; BEZERRA, P. E.; COSTA, M. L.; FERNANDES, J. M.G. Neotectônica da Região Amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, Belo Horizonte: Editora da UFMG, v. 4, n. 2, p. 23-44, 1996.

CPRM. **Estudos hidrogeológicos da Região Metropolitana de São Luís**: caracterização do meio físico: geologia, geomorfologia, pedologia, hidrometeorologia e geofísica: relatório parcial 04. São Luís: CPRM, 2017.

CPTEC. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Previsão climática elaborada em Fórum de consenso entre o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). **Boletim Prognóstico Climático para Fevereiro, Março e Abril de 2014.** ano 11, n. 1, 2014. Disponível em: http://infoclima.cptec.inpe.br/~rinfo/progclima/jan_2014.shtml. Acesso em: 17 jun. 2020.

DE LUIS, M.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; BRUNETTI, M.; LONGARES, L. A. Precipitation concentration changes in Spain 1946–2005. **Natural Hazards and Earth System Science**, v. 11, n. 5, p. 1259-1265, 2011.

FERNÁNDEZ, D. S.; LUTZ, M. A. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. **Engineering Geology**, v. 111, n. 1-4, p. 90–98, 2010.

FERREIRA, R.V. Uso e ocupação do solo da Ilha de São Luís. *In*: CPRM. **Estudos hidrogeológicos da Região Metropolitana de São Luís**: subsídio para o uso sustentável dos recursos hídricos. Recife, 2018.

FREIRE, F. G. C.; OLIVEIRA, A. M. P.; SOBRINHO, J. E.; BATISTA, R. O.; SANTOS, W. O.; BARRETO, H. B. F. Estudo das precipitações máximas para o município de Mossoró-RN, Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 6, n. 1, p. 3-7, 2012.

FUNCEME. Prognóstico Climático para o Trimestre Fevereiro, Março e Abril de 2014. *In*: WORKSHOP INTERNACIONAL DE AVALIAÇÃO CLIMÁTICA PARA O SEMIÁRIDO NORDESTINO, 15., 2014, Fortaleza. **Anais [...].** Fortaleza: FUNCEME, 2014. Disponível em: http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/02/PrevisaoClimaticaPara2014_FMA.pdf. Acesso em: 10 jun. 2020.

GARRITO, A. C.; BARROS, D. V.; SILVA, Q. D. Análise de suscetibilidade de risco a inundações a partir da morfologia das vertentes do baixo curso da bacia hidrográfica do rio Paciência. *In*: SEABRA, G. (org.). **Terra:** paisagens, solos, biodiversidade e os desafios para um bom viver. Ituiutaba: Barlavento, 2016. v. 1, p. 702-707.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa, 2005.

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R.G. Influência de eventos El Niño e La Niña sobre a frequência de eventos extremos de precipitação no Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. **Anais [...].** Fortaleza: CBMET, 2004. 1 CD-ROM.

G1-MARANHÃO. Chuvas causam mais transtornos em áreas de risco em São Luís. 2014. Disponível em: http://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2014/05/chuvas-causam-mais-transtornos-em-areas-de-risco-em-sao-luis.html. Acesso em: 16 maio 2014.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Mapa geológico do Estado do Maranhão**: mapa colorido, escala 1: 400.000, Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Áreas Urbanizadas.** Rio de Janeiro: IBGE,

2005. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/15789-areas-urbanizadas.html?edicao=16668&t=sobre. Acesso em: 29 maio 2020.
IBGE. **Malha municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads. Acesso em: 11 mar. 2018.
INMET. **Normais climatológicas do Brasil**. Brasília: INMET, 2014. Disponível em: https://www.inmet.gov.br. Acesso em: 29 maio 2014a.
INMET. **Boletim de Prognóstico Climático**. Brasília: INMET, ano 11, n. 3, mar. 2014b. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/arq/clima/prognostico-climatico-trimestral/PC1403.pdf. Acesso em: 10 jun. 2020.
IPT. **Mapeamento de áreas de alto e muito alto risco a deslizamentos e inundações do município de Potim, SP**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo Relatório Técnico 142750-205. São Paulo: IPT, 2015.
JHA, A. K.; BLOCH, R.; LAMOND, J. **Cities and Flooding**: a guide to integrated urban flood risk management for the 21st century, 2012. Disponível em: https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/978-0-8213-8866-2. Acesso em: 02 maio 2020.
JUSTINO, E. A.; PAULA, H. M.; PAIVA, E.C.R. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG. **Espaço em Revista**, UFG, v. 2, n. 13, p. 16-38, 2011.
KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F. Relations between ENSO and the South Atlantic SST modes and their effects on the South American rainfall. International. **Journal of Climatology**, v. 33, n. 8, p. 2008-2023, 2013.
KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Montly Weather Review**, n. 107, p. 1140-1153, 1979.
LEONARDO, I. Decretado estado de emergência em 41 bairros de São Luís-MA. **180 Graus**, São Luís, 2014, 23 jun. 2014, p. 1 e 2. Disponível em: http://180graus.com/maranhao/decretado-estado-de-emergencia-em-41-bairros-de-sao-luisma/impressao. Acesso em: 25 out. 2014.
MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. Two contrasting severe seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in northeast Brazil. **Journal of climate**, v. 26, n. 22, p. 9137-9154, 2013.
MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil: past, present, and future. *In*: MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. **Theoretical and Applied Climatology.** Rio de Janeiro: Springer, 2016. p. 1-12.
MARTIN-VIDE, J. Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. **International Journal of Climatology**, v. 24, n. 8, p. 959-971, 2004.
MENEGHETTI, G. T., FERREIRA, N. J. Variabilidade anual e interanual da precipitação no nordeste brasileiro. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal, Brasil. **Anais [...].** Natal: INPE, 2009. p. 1685-1689.
MENEZES FILHO, F. C. M.; AMARAL, D. B. Histórico da expansão urbana e ocorrência de inundações na cidade de Cuiabá-MT. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 159-170, 2014.
MOLION, L. C. B; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro (RJ), v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.
NASA. National Aeronautics and Space Administration. **The fickle El Nino of 2014**. 2014. Disponível em: https://www.nasa.gov/jpl/news/fickle-el-nino-of-2014/. Acesso em: 10 jun. 2020.

NOAA. El Nino/Southern Oscillation (ENSO): diagnostic discussion. **Climate Prediction Center/NCEP and the International Research Institute for Climate and Society**. NOAA, 2014. Disponível: https://search.usa.gov/search?utf8=%E2%9C%93&affiliate=noaa.gov&query=El+Ni%C3%B1o+2014&commit=. Acesso em: 10 jun. 2020.

O ECO**.** O que é fragmentação. Dicionário Ambiental. **O eco**, Rio de Janeiro, jan. 2014. Disponível em: https://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/27923-o-que-e-fragmentacao/. Acesso em: 30 maio 2020.

OLIVER, J. E. Monthly precipitation distribution: a comparative index. **The Professional Geographer**, v. 32, n. 3, p. 300-309, 1980.

POVOA, L. V.; NERY, J. T. **Manual do usuário do pacote Precintcon**. Laboratório Computacional da Universidade Estadual Paulista, Ourinhos: UNESP, 2016.

PLATE, E. J. Flood risk and flood management. J**ournal of Hydrology**, v. 267, Issues 1–2, p. 2-11, oct. 2002.

PRATES, T. O. B.; AMORIM, R. R. Vulnerabilidade socioambiental de áreas sujeitas às inundações no município de São João da Barra, RJ, Brasil. **Revista do Departamento de Geografia,** USP, v. esp., p. 164-171, 2017.

QUEIROZ ROSENDO, E. E. Q.; SOUZA, B. I.; PIRES, A. L.; PEDROSA, L. P. D.; FILGUEIRA, H. J. A. Extreme rainfall and territorial disorder in the construction of risk: a case study in the Cabaceiras Municipality of Paraíba, Brazil. **Cuadernos de Geografía:** Revista Colombiana de Geografía, v. 24, n. 2, p. 189-203, 2015.

RADMEHR, A.; ARAGHINEJAD, S. Flood vulnerability analysis by fuzzy spatial multi criteria decision making. **Water Resour Manage**, v. 29, p. 4427-4445, 2015.

REIS, C. H.; AMORIM, R. R.; FERREIRA, C. caracterização do uso e ocupação das terras de áreas com risco à inundação em Cardoso Moreira e Italva, Rio de Janeiro. **Caminhos de Geografia,** Uberlândia, v. 16, n. 55, p. 1-17, set. 2015.

RODRIGUES, T. O.; SILVA, Q. D. Situação das áreas com inundações, alagamentos, enxurradas na bacia hidrográfica do Bacanga, Ilha do Maranhão. *In*: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEMA, 27., 2015, São Luís. **Anais [...].** São Luís: Editora UEMA, 2015, v. 1, p. 526 – 528. Livro de Resumos.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, FFLCH-USP, n. 6, p. 17-29, 1992.

RUDNIAK, A.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; ANDRADE, A. R. Aplicação de técnicas de análise espacial para mapear áreas suscetíveis a enchentes urbanas. **Revista Geo UERJ**, n. 35, p. 1-18, 2019.

SANTANA, R. G.; SILVA, Q. D.; BARROS, D. V.; COSTA, C. M. Enchentes e inundações na sub-bacia do Riacho do Angelim, São Luís – MA. *In*: ENCONTRO DE PRÁTICAS DE ENSINO DA GEOGRAFIA, 1., 2018, São Luís; COLÓQUIO SOBRE DESENVOLVIMENTO LOCAL E SUSTENTABILIDADE: NOVAS ABORDAGENS, VELHOS DILEMAS, 3., 2018, São Luís. **Anais [...]**. São Luís: EDUEMA, 2018, v. 1, p. 189–192.

SANTANA, R. G.; SILVA, Q. D.; BARROS, D. V. Análise espacial em áreas de inundações na sub-bacia hidrográfica do Riacho do Angelim, São Luís - MA. **Revista da Casa da Geografia de Sobral:** Dossiê: Estudos da Geografia Física do Nordeste brasileiro, Sobral/CE, v. 21, n. 2, p. 502-520, set. 2019. Disponível em: https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/580/415. Acesso em 25 out 2019.

SEMA. **Diagnóstico ambiental da microrregião da aglomeração urbana de São Luís e dos municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário**. São Luís: SEMA/MMA/PNMA, 1998.

SHI, P.; QIAO, X.; CHEN, X.; ZHOU, M.; QU, S.; MA, X.; ZHANG, Z. Spatial distribution and temporal trends in daily and monthly precipitation concentration indices in the upper reaches of the Huai River, China. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 28, n. 2, p. 201-212, 2014.

SILVA, Q. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. 2012. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", UNESP, Presidente Prudente, 2012.

SILVA, Q. D. A rede de drenagem, os seus aspectos morfométricos e a situação atual das inundações na Ilha do Maranhão. **Revista Geonorte**, v. 10, p. 19-22, 2014.

SILVA, Q. D. Inundações na área urbana do município de São Luís, Maranhão – Brasil. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 8., 2017, Porto. **Anais [...].** Livro de Atas. Porto: Associação Portuguesa de Geomorfólogos, 2017. v. 1. p. 209 – 210.

SILVEIRA, V. S.; ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R. Estudo das inundações na cidade de São Gabriel, RS. **Revista Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 26, p. 270-287, 2015.

SOUSA, F. de A.; VIEIRA, V. R.; SILVA, V. P. R.; MELO, V. S.; GUEDES, R. W. S. Estimativas dos riscos de chuvas extremas nas capitais do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 09, n. 02, p. 430-439, 2016.

TEIXEIRA, E. C.; SILVA, Q. D. Enchentes e inundações no médio curso da bacia hidrográfica do Anil, Ilha do Maranhão *In*: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEMA, 29., 2017, São Luís. **Anais [...].** São Luís: Editora UEMA, 2017. v. 1. p. 735 – 737.

TEIXEIRA, E. C.; SILVA, Q. D. Situação das áreas com inundações na sub-bacia hidrográfica do Riacho do Turu, São Luís-MA. *In*: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEMA, 27., 2015, São Luís. **Anais [...].** São Luís: Editora UEMA, 2015, v. 1, p. 874–876. Livro de Resumos.

TORRES, R. R.; FERREIRA, N. J. Case Studies of Easterly Wave Disturbances over Northeast Brazil suing the Eta Model. **Weather and Forecasting**, v. 26, n. 2, p. 225-235, 2011.

TUCCI, C.E M.; BERTONI, J.C. (org.). **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Ed. Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. **REGA:** Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 1, n. 1, p. 59-73, 2004.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH, 2007.

UVO, C. R. B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região norte e nordeste brasileiro**. 1989. 81 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.

VALENTE, P. T.; AQUINO, F. E.; SCHOSSLER, V. Espacialização de Inundações na Foz do Rio Jacuí por NDWI e Reclass em Episódios de El Niño. **Revista do Departamento de Geografia USP**, v. esp., p. 11-19, 2017.

VENABLES, W. N.; SMITH, D. M. **An introduction to R:** notes on R, a programming environment fot data analysis and graphics. Dept.of Statistics and Mathematics, Development Core Team., Wien: Wirtschaftsuniversität Wien, 2008.