



APLICAÇÃO DO PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA DE RIOS NO MÉDIO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SANTO ANTÔNIO, ILHA DO MARANHÃO - BRASIL

Thaís da Silva Rodrigues

Discente do Curso Pós-graduação em Topografia e Sensoriamento Remoto, na Instituição
Faveni, Maranhão, Brasil
thaisrodrigues.geo@gmail.com

Danyella Vale Barros França

Membro do Grupo de Pesquisa Geomorfologia e Mapeamento - GEOMAP, Maranhão, Brasil
danyellab Barros-geo@hotmail.com

Quésia Duarte da Silva

Professora do Departamento de História e Geografia da Universidade Estadual do Maranhão,
Maranhão, Brasil
quesiaduartesilva@hotmail.com

RESUMO – O Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR) é uma ferramenta desenvolvida com a finalidade de auxiliar o monitoramento ambiental dos recursos hídricos, gerando informações qualitativas sobre a situação do sistema fluvial em análise. Em bacias hidrográficas urbanas, a dinamicidade do uso e cobertura da terra promove alterações no sistema fluvial que precisam ser avaliadas. Para isso, necessitam-se de instrumentos metodológicos que proporcionem o aprimoramento desta análise. Neste sentido, o presente artigo objetiva analisar as alterações ocorridas no médio curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio a partir da aplicação do protocolo de avaliação rápida de rios, conforme os modelos de Carvalho et al (2010) e Lobo et al (2011). Para alcançar o objetivo proposto realizou-se o mapeamento do uso e cobertura da terra para o ano de 2020, mapeamento comparativo da drenagem entre os anos de 1980 e 2020, trabalhos de campo e aplicação dos dois modelos de PAR. Constatou-se que nos últimos 40 anos mais de 50% da drenagem foi perdida, o que está diretamente associado ao processo de urbanização da área de estudo e a construção de condomínios residenciais nas cabeceiras de drenagem. Os resultados obtidos através do PAR indicaram canais alterados ora pela atividade antrópica direta, ora pela pressão do uso e cobertura da terra. Concluiu-se que o PAR se constituiu como um importante instrumento metodológico de análise em bacias hidrográficas e que os resultados obtidos através do mesmo podem contribuir para a tomada de decisão nas áreas estudadas.

Palavras-chave: Processos geomorfológicos; Geomorfologia urbana; Uso e cobertura da terra; PARS..

APPLICATION OF THE RAPID ASSESSMENT PROTOCOL OF RIVERS TO THE MIDDLE COURSE OF THE SANTO ANTÔNIO WATER BASIN, ISLAND OF MARANHÃO – BRAZIL

ABSTRACT – The Rapid River Assessment Protocol (RAP) is a tool developed with the purpose of assisting the environmental monitoring of water resources, generating qualitative information about the situation of the river system under analysis. In urban river basins, the dynamics of land use and land cover promote changes in the river system that need to be evaluated. To achieve this, methodological instruments are needed to improve this analysis. In this sense, this article aims to analyze the changes that occurred in the middle course of the Santo Antônio river basin based on the application of the rapid

river assessment protocol, according to the models of Carvalho (2010) and Lobo (2011). To achieve the proposed objective, land use and land cover mapping were carried out for the year 2020, comparative mapping of drainage between the years 1980 and 2020, fieldwork and application of the two RAP models. It was found that, in the last 40 years, more than 50% of the drainage was lost, which is directly associated with the urbanization process of the study area and the construction of residential condominiums in the drainage headwaters. The results obtained through RAP indicated channels altered either by direct human activity or by pressure from land use and land cover. It was concluded that RAP constituted an important methodological instrument for analysis in river basins and that the results obtained through it can contribute to decision-making in the studied areas.

Keywords: Geomorphological processes; Urban geomorphology; Land Use and Land Cover; RAP.

INTRODUÇÃO

O *Homo sapiens sapiens* – o homem que tudo sabe que sabe – surgiu há cerca de cinquenta mil anos, durante a última glaciação que se desenvolveu entre cem e dez mil anos (REBOUÇAS, 2002). Desde então, as paisagens vêm passando por diversas alterações ao longo dos séculos, devido à necessidade do ser humano de evoluir, buscar novos caminhos e alternativas para o seu desenvolvimento, o que causa promover mudanças no ambiente, seja em maior ou menor escala. Porém, nos últimos 60 anos, percebeu-se que a paisagem tem sido alterada de maneira acelerada devido ao crescente processo de urbanização e a necessidade constante de locais para o exercício das atividades antrópicas.

Esse aumento exponencial da população urbana tornou imperativa a análise dos processos, materiais e formas produzidos nas interfaces entre a natureza e os espaços construídos, pois estes provocam alterações importantes na paisagem natural (GUERRA e MARÇAL, 2006; SANTOS FILHOS, 2011), e essas alterações tem corroborado em diversos problemas de cunho urbano e ambiental.

Com o crescimento populacional e a densificação, fatores como a poluição doméstica e industrial se agravaram, criando condições ambientais inadequadas, propiciando o desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica, poluição do ar e sonora, aumento da temperatura, contaminação da água subterrânea, entre outros. Esse processo, que se agravou principalmente a partir do final da década de 1960, mostrou que o desenvolvimento urbano sem qualquer planejamento ambiental, urbano e/ou territorial resulta em prejuízos significativos para a sociedade (TUCCI, 2002, p. 399).

Esses prejuízos dos quais fala Tucci têm sido alvo de estudos nas diferentes áreas do conhecimento e a ocorrência deles está relacionada, dentre vários fatores, à diminuição e/ou perda da qualidade de vida das populações que residem nas cidades e às modificações nos sistemas geomorfológicos/ambientais.

Desta forma, para se analisar o ambiente urbano deve-se levar em consideração não apenas a morfogênese em um tempo que escoia, mas a morfodinâmica em um tempo que faz (FRANÇA, 2020), ressaltando a atividade antrópica neste processo, uma vez que o ser humano é parte constituinte do ambiente em que habita e da construção do espaço em que está inserido, sendo considerado por Veyret (2013) o agressor e a vítima do meio em que está.

A análise do uso e cobertura da terra, pode contribuir na compreensão das alterações geomorfológicas de uma área, tendo em vista a diversidade de temas em que essa análise é utilizada. De acordo com Santana et al (2023), a análise do uso e cobertura da terra serve de base aos modelos clássicos de estimativas de perdas de solo (WISCHMEIER e SMITH, 1978), ao estudo da ecologia de paisagem (CASIMIRO, 2000), aos modelos hidrológicos (SANTOS, 2010), mapeamento de pressões antrópicas (SANTOS e GOMIDE, 2015), estimação e cartografia das mudanças dos padrões de reflectância de alvos terrestres (MELO e SOUZA, 2016), análise das

territorialidades e seus conflitos (SANTOS e MENDONÇA, 2016), análise dos riscos geoambientais e suas relações com o ordenamento territorial (MELO, 2016), modelos de cenários futuros (OLIVEIRA et al., 2018), análise de parâmetros morfométricos e riscos a inundações (BARROS et al., 2016), análise de conflitos de uso (SANTANA; SILVA; FRANÇA, 2019), conflitos em áreas de preservação permanente (COSTA et al., 2019), entre outros.

Além do mapeamento dos tipos de uso e cobertura da terra, outros instrumentos metodológicos podem ser utilizados nas análises de bacias hidrográficas urbanas, tendo em vista a necessidade de compreender e analisar a intensidade e a velocidade com que os processos acontecem no ambiente urbano. De acordo com Rodrigues e Castro (2008) a preocupação com o estado de degradação do meio ambiente induz a necessidade de se estabelecer métodos de avaliação que sejam eficientes tanto em nível da própria avaliação, quanto como auxiliares nas tomadas de decisões. É nesse contexto que surge o Protocolo de Avaliação Rápida – PAR, com o objetivo de auxiliar o acesso e a compreensão dos sistemas hídricos com fácil aplicabilidade e baixo custo, conforme Sales (2022).

O PAR é utilizado desde 1980, sobretudo nas análises de bacias hidrográficas urbanas, pois estes sistemas, em sua maioria, passam abruptamente por alterações geomorfológicas oriundas do crescimento populacional e que intensificam os processos naturais. De acordo com Cairns Júnior et al (1993), a habilidade de proteger os ambientes ou de planejar as modificações de forma a não se tornarem extremamente agressivas ao meio natural depende da capacidade de distinguir os efeitos das ações antrópicas das variações naturais, buscando categorizar a influência das ações humanas sobre os sistemas. Nesta perspectiva, o PAR pode contribuir, haja vista a sua variada aplicação, como instrumento complementar no monitoramento dos recursos hídricos (RODRIGUES; CASTRO 2008), em análises de monitoramento ambiental (BERSOTE; MENESES; ANDRADE, 2015), para a análise de nascentes em ambientes rurais e urbanos (GUIMARÃES; FERREIRA, 2016), como recurso didático na educação ambiental (MACHADO, 2019), como subsídio ao planejamento das paisagens (CAMPOS, 2020), como um referência prática na educação ecossistêmica e transdisciplinar (CAMPOS; NUCCI; OLIVEIRA, 2021).

Desta forma, o PAR pode ser utilizado como um instrumento metodológico associado ao mapeamento do uso e cobertura na terra para o diagnóstico das principais alterações ocorridas nas bacias hidrográficas urbanas. Diante desta perspectiva, observou-se que nos últimos 60 anos a Ilha do Maranhão apresentou um crescimento populacional intenso e as bacias hidrográficas da ilha tem apresentado consequentemente diversos problemas ambientais em virtude deste crescimento populacional e urbano.

Segundo dados do IBGE (1996), em 1960 foi diagnosticado um acréscimo populacional em São Luís de 4,3% confirmando um intenso processo de urbanização já iniciado. De 1970 a 1980, a população migrante de origem rural cresceu 99,56%, correspondendo a 41,25% sobre o total de São Luís, em 1980. Em 1991, a população da capital do Maranhão era de 695.199 habitantes, o equivalente a um aumento de 261% em relação a 1970. Em 1996, a população de São Luís passou a ser de 780.833 habitantes (IBGE, 1996).

No ano 2000 a população do município de São Luís era de 870.028 habitantes. Somando este valor aos dos outros municípios da ilha, São José de Ribamar, 107.384 habitantes; Raposa, 17.088 habitantes e Paço do Lumiar, 76.188 habitantes, tem-se um total de 1.070.688 habitantes residindo numa área de um pouco mais de 900 km² (IBGE, 2008). Em 2010, de um total de 1.309.330 habitantes, 77,50% residiam no município de São Luís, 12,45% em São José de Ribamar, 8,03% em Paço do Lumiar e 2,01% em Raposa, o que confirma uma grande concentração populacional na Ilha do Maranhão (IBGE, 2012).

Diante desse aumento populacional e consequente diminuição de áreas propícias para ocupação sobretudo em São Luís, a população tem escoado em direção aos demais municípios que compõem a ilha, e ocupado áreas impróprias para fixação de moradias. Porém, dentre os estudos realizados destacam-se as bacias dos rios Bacanga, Anil e Paciência, sendo necessário o

desenvolvimento de estudos a respeito das demais bacias, considerando as transformações ocorrente em toda a ilha do Maranhão.

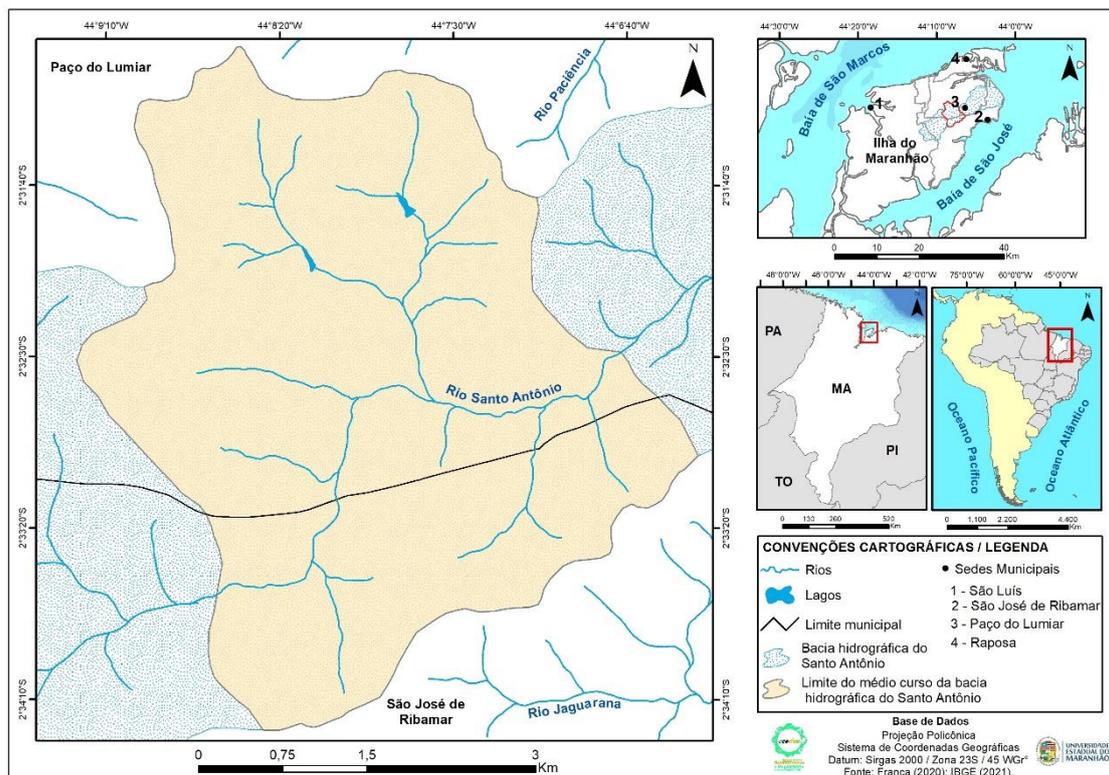
Neste contexto, tem-se a bacia hidrográfica do Santo Antônio, que segundo França (2020) é a quarta maior da ilha do Maranhão, possuindo uma área de 92,4 km², tendo sua nascente principal no bairro Jardim América, município de São Luís, e desaguando no Oceano Atlântico, drenando três municípios da ilha, sendo eles: São Luís, São José de Ribamar e Paço do Lumiar. Considerando a área drenada por esta bacia hidrográfica e os processos distintos que ocorrem em cada curso fluvial em virtude dos diferenciados níveis de urbanização em cada um deles, conforme a Companhia de Recursos Minerais – CPRM (2020), optou-se neste trabalho por utilizar como recorte de análise o médio curso da bacia em questão.

Neste sentido, o presente artigo tem como objetivo analisar as alterações ocorridas no médio curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio a partir da aplicação do protocolo de avaliação rápida de rios, conforme os modelos de Carvalho et al (2010) e Lobo et al (2011).

ÁREA DE ESTUDO

O médio curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio está situado na porção leste da ilha do Maranhão, com área de 19,2 km², limitando-se ao norte com a bacia hidrográfica do Paciência, a leste com o alto curso do Santo Antônio, ao sul com a bacia hidrográfica do Jeniparana e a oeste com o baixo curso do Santo Antônio, drenando áreas pertencentes aos municípios de São José de Ribamar e Paço do Lumiar (**Figura 1**).

Figura 1. Localização do médio curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio, Ilha do Maranhão



Org. Os autores (2023).

Em relação às características geoambientais da área de estudo, salienta-se que o clima da ilha do Maranhão e entorno é caracterizado por ser tropical úmido com dois períodos distintos, chuvoso e seco. Em termos geológicos tem-se como formações superficiais o Perfil Intempérico Imaturo completo associado a solo espesso ou coberto por sedimentos Pós-Barreiras e Depósitos Aluvionares, conforme a classificação proposta pela CPRM (2020).

O Perfil Intempérico Imaturo ocorre com duas feições distintas na Ilha do Maranhão, um produto de alteração de crosta laterítica e outra como sedimentos alóctones pertencentes à Formação Pós-Barreiras (CPRM, 2020). Sob esta formação superficial se desenvolveram unidades geomorfológicas como tabuleiros com topos planos e colinas esparsas, conforme Silva (2012).

No médio curso do Santo Antônio 44% da área corresponde a colinas esparsas e 15,2% aos tabuleiros com topos planos. Os demais 40% da área estão relacionadas as planícies fluviais que se desenvolveram sobre os depósitos aluvionares. Estes depósitos apresentam-se com uma constituição eminentemente arenosa ou areno-silto-argilosa, com granulometria variante entre fina e média, com presença de seixos e outros grãos na sua constituição, mas de forma bem dispersa, segundo a CPRM, (2020).

Em relação a morfometria do relevo, a área de estudo tem amplitude altimétrica de 50 metros e declividades que variam entre 2% e maior que 12%. Constitui-se em uma área relativamente plana, com predomínio de vertentes do tipo planar retilínea, as quais segundo França (2020) são geoformas que contribuem de maneira significativa para a ocorrência de alagamentos, uma vez que a maioria dos compartimentos planos ou suave ondulados favoreceram a ocupação dos terrenos e o acúmulo de águas pluviais.

Sobre as unidades geológico-geomorfológicas supracitadas desenvolveram-se Argissolos Vermelho-Amarelo (38%), Neossolos Quartzarêncios (29,6%) e Gleissolos (9,8%), restando 22,6% da área de estudo classificada como uso urbano, em decorrência das alterações antrópicas oriundas do processo de urbanização, impossibilitando a caracterização de um perfil pedológico na área, conforme a CPRM (2020). Os aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos estão apresentados na **Figura 2**.

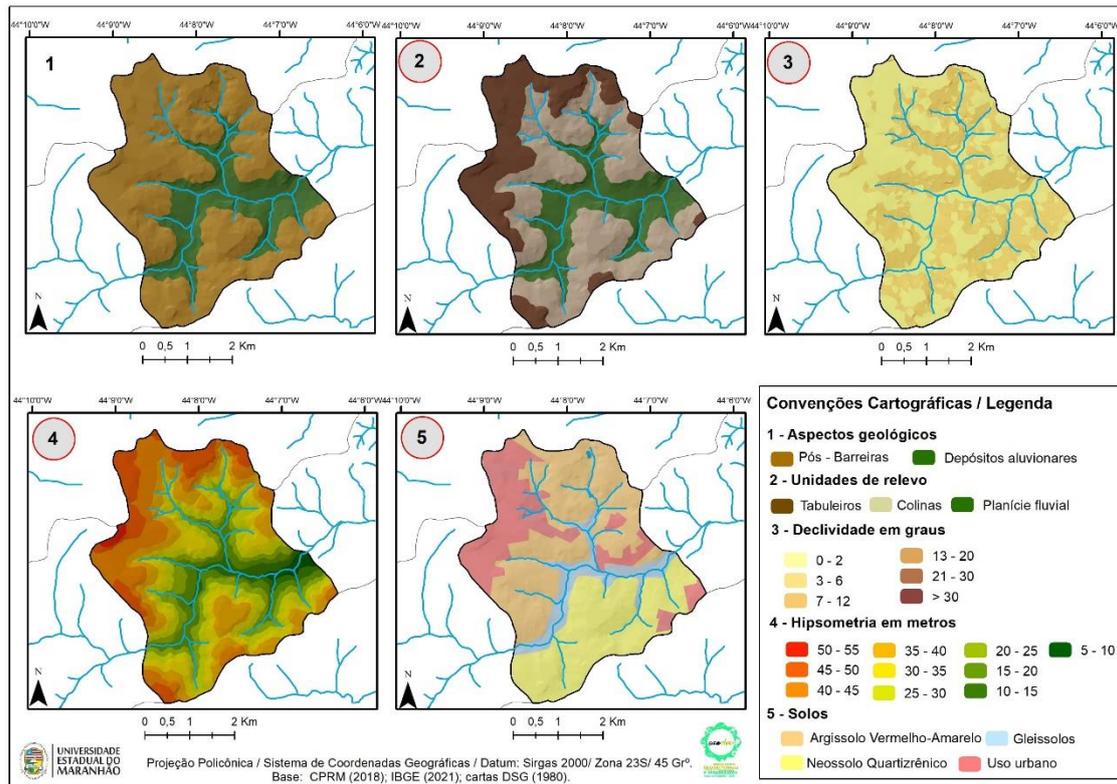
Em relação a drenagem do médio curso, ela é caracterizada como dendrítica, e está relacionada a situação predominante de rochas sedimentares horizontais, e sem proeminência de controle estrutural, conforme Silva (2012) e Jesus e Barreto (2021). A hierarquia fluvial inicial era de quarta ordem, conforme a classificação de Strahler (1952). Em 1980, apresentava 18 canais de primeira ordem, 5 de segunda, 2 de terceira e 1 de quarta.

No que tange as formações vegetais da área de estudo, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2011) são encontradas no médio curso Vegetação Secundária e Áreas Antrópicas ou Antropismos. Cerca de 47% da área é classificada como vegetação secundária, a qual embora considerada natural ou espontânea é resultante principalmente do uso inadequado das áreas ocupadas por atividade agropecuária; ocorrem sobretudo em áreas de passado florestal, e a palmeira babaçu se torna abundante (*Attalea speciosa*), conforme o IBGE (2011). Os demais 53% da área correspondem as áreas antrópicas, com terrenos ocupados por vegetação rasteira relacionada a agropecuária com pastagem plantada ou áreas urbanizadas.

Em relação ao uso e cobertura da terra, conforme a classificação da CPRM (2020) a área de estudo possui três níveis de urbanização: baixo, médio e alto, além de classes como mata secundária fragmentada e culturas agrícolas. Apenas 4,6% da área de estudo está relacionada as culturas agrícolas, já 32,8% está recoberta por mata secundária fragmentada, a qual está relacionada a vegetação resultante do processo de urbanização, ficando inúmeras manchas interdigitadas nas áreas urbanas. Conforme Barros e Bandeira (2020) essa vegetação ainda contém fragmentos mais esparsos que os da mata secundária, com uma tendência de supressão total.

Dentre os níveis de urbanização, 6% da área está classificada como alta, a qual está relacionada a núcleos mais adensados, onde o revestimento do solo, e consequente impermeabilização, representam a quase totalidade da superfície ocupada.

Figura 2. Aspectos geoambientais do médio curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio, Ilha do Maranhão



Org. Os autores (2023).

Pouco mais de 15% corresponde à média urbanização, que são áreas com padrão residencial horizontal, com média densidade populacional, ocupações mais espaçadas, com presença de terrenos baldios e quintais, além de um menor índice de pavimentação nas ruas, conforme Barros e Bandeira (2020). Já o nível de baixa urbanização ocupa cerca de 41% da área do médio curso, que conforme os autores supracitados, é classificado como ocupação incipiente no entorno das áreas de média densidade, representando zonas de expansão urbana, com baixa densidade populacional, com vilas, vilarejos e loteamentos em processo de ocupação, misturando-se áreas residenciais com áreas de sítios e chácaras.

METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo proposto, seguiram-se as etapas metodológicas descritas a seguir, considerando como etapa inicial o levantamento bibliográfico e cartográfico.

Organização da base de dados

Utilizou-se como *software* de referência para o mapeamento o *ArcGis for Desktop Advanced*®, versão 10.2, licença EFL999703439 pertencente ao Grupo de Estudos em Geomorfologia e Mapeamento – GEOMAP, vinculado ao Laboratório de Geociências da Universidade Estadual do Maranhão (LABGEO/UEMA).

Foram gerados arquivos vetoriais, a partir da vetorização das Cartas Planialtimétricas da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército/ Ministério do Exército – Ministério do Interior (DSG/ME-MINTER) datadas de 1980, com escala de 1:10.000. Obteve-se assim arquivos *shapefiles* referentes as curvas de nível, cotas altimétricas, drenagem e os divisores de águas.

Mapa comparativo da drenagem de 1980 e 2020

Elaborou-se um mapa comparativo da drenagem na área de estudo a fim de se entender e pontuar as alterações ocorridas no médio curso do rio Santo Antônio nos últimos 40 anos. Utilizou-se a drenagem vetorizada das cartas DSG de 1980 e comparou-se com a drenagem do ano de 2020, delimitada através das imagens do Google Earth Pro e da análise do relevo sombreado extraído para a área de estudo através da ferramenta *Hillshade* do ArcMap, principal componente do ArcGis®.

Mapa de uso e cobertura da terra

Elaborou-se o mapa de uso e cobertura da terra do médio curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio, a partir da imagem do sensor OLI do LANDSAT- 8 para o ano de 2020, a qual foi adquirida pelo site do Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS. A cena foi tratada no pré-processamento e então realizou-se a classificação supervisionada, conforme as classes apresentadas na **Figura 3**. Essa classificação foi realizada pelo modelo MaxVer - Máxima Verossimilhança, criado pelo estatístico Sir Ronald Fisher em 1920, segundo Justi (2020) e Assunção (2018), o qual define a maior probabilidade de semelhança entre os pixels, sendo necessária, no processo de aplicação do mesmo, a coleta de amostras na qual os pixels que apresentam uma relação correspondente juntam-se formando uma única classe (ABONÍZIO, 2023).

Figura 3: Sistema de classificação para cobertura e uso da Terra simplificado baseado nas propostas de Heymann (1994); IBGE (2006)

NÍVEL I CLASSE	NÍVEL II SUBCLASSE	UNIDADE DÍGITO	AMOSTRA	LEGENDA R G B
Áreas antrópicas não agrícolas	Áreas urbanizadas	1.1.4 Cidades, vilas, edificações, sistema viário, entre outros.		
Áreas de vegetação natural	Floresta	3.1.27 Vegetação secundária com e sem vegetação arbustiva		

Fonte: FRANÇA (2020).

A classificação supervisionada na área de estudo consistiu na coleta de amostras para vegetação, solo exposto e área antropizada. A partir dessas chaves de identificação criou-se uma assinatura no ArcMap, e através da ferramenta *Classification - Maximum* gerou-se a carta imagem, a qual passou por adequações conforme a realidade apresentada na imagem. Uma vez realizado o mapeamento, foram extraídos os dados quantitativos das classes de uso e cobertura. Para validação das informações referente aos usos em 2020 foram realizados trabalhos de campo.

Protocolo de Avaliação Rápida de Rios – PAR

O PAR é uma ferramenta que visa analisar as alterações antrópicas nas bacias hidrográficas urbanas, pois estas passam por modificações mais intensas em seu sistema natural. Para a área de estudo, foram trabalhados dois modelos de PAR, tendo em vista que os dois modelos possuíam perguntas que contemplavam as questões de análise para a área de estudo, bem como o objetivo proposto no trabalho.

Primeiramente aplicou-se o modelo de Lobo et al (2011), onde o autor fez uma adaptação do modelo de Callisto et al (2002), destacando as condições do rio e os impactos antrópicos associados. Lobo et al (2011) justifica que foi realizada a adaptação do protocolo com o objetivo de ajustar as condições ambientais para ambientes fluviais, desenvolvendo um protocolo de avaliação eficiente, de fácil utilização e capaz de identificar os impactos predominantes nas bacias (**Quadro 1**).

Quadro 1. Modelo de Protocolo de Avaliação Rápida conforme Lobo et al (2011)

PARÂMETROS	PONTUAÇÃO - PTS			
	4 pts	2 pts	0 pts	
1. Tipo de ocupação das margens do corpo d'água (principal atividade)	Vegetação natural	Campo de pastagem/Agricultura/Monocultura/Reflorestamento	Residencial/Comercial/Industrial	
2. Impactos antrópicos na margem	Ausente	Moderada	Acentuada	
3. Impactos antrópicos no leito	Ausente	Moderada	Acentuada	
4. Odor na água e/ou do sedimento	Ausente	Moderada	Acentuada	
5. Oleosidade da água e/ou do sedimento	Ausente	Moderada	Acentuada	
6. Presença de plantas aquáticas	Parcial	Total	Ausente	
7. Tipo de fundo	Pedras/Cascalho/Areia	Lama/Areia	Cimento/Canalização	
PARÂMETROS	PONTUAÇÃO			
	5 pts	3 pts	2 pts	0 pts
8. Diversidade de habitats	> 50% de habitats diversificados	30 a 50% de habitats diversificados	10% a 30% de habitats diversificados	< 10% de habitats diversificados
9. Deposição da lama	< 25% do fundo coberto	Entre 25% e 50% do fundo coberto	Entre 50% e 75% do fundo coberto	> 75% do fundo coberto
10. Alterações no canal do rio	Canalização (Retificação) ou Dragagem ausente ou mínima; rio com padrão normal.	Alguma canalização presente, normalmente próximo à construção de pontes.	Alguma modificação presente nas duas margens; 40 a 80% do rio modificado.	Margens modificadas; acima de 80% do rio modificado.
11. Presença de mata ciliar	Acima de 90% com vegetação ripária nativa, árvores,	Entre 70 e 90% com vegetação ripária nativa; desflorestamento evidente, mas não afetando o	Entre 50e 70% com vegetação ripária nativa; Desflorestamento	Menos de 50% da mata ciliar nativa; desflorestamento

	arbustos; mínima evidência de desmatamento.	desenvolvimento da vegetação.	óbvio; trechos com solo exposto ou vegetação eliminada.	muito acentuado.
12. Estabilidade das margens	Margens estáveis; evidência de erosão mínima ou ausente; pequeno potencial para problemas futuros. Menos de 5% da margem afetada.	Moderadamente estáveis; pequenas áreas de erosão frequentes. Entre 5 e 30% da margem com erosão.	Moderadamente instável; entre 30 e 60% da margem com erosão. Risco elevado de erosão durante enchentes.	Instável; muitas áreas com erosão; frequentes áreas descobertas nas curvas do rio; erosão óbvia entre 60 e 100% da margem. Canalização

Fonte: LOBO et al (2011).

Após a aplicação do modelo de Lobo et al (2011) aplicou-se o modelo de PAR desenvolvido por Carvalho et al (2010), que adaptou um modelo de protocolo utilizando quatro níveis de avaliação, sendo o primeiro nível as características morfológicas do canal; o segundo destaca o uso do solo nas margens do trecho do canal; o terceiro está relacionado pelo uso do solo nos interflúvios (**Quadro 2**) e o quarto nível é a matriz de tipologias.

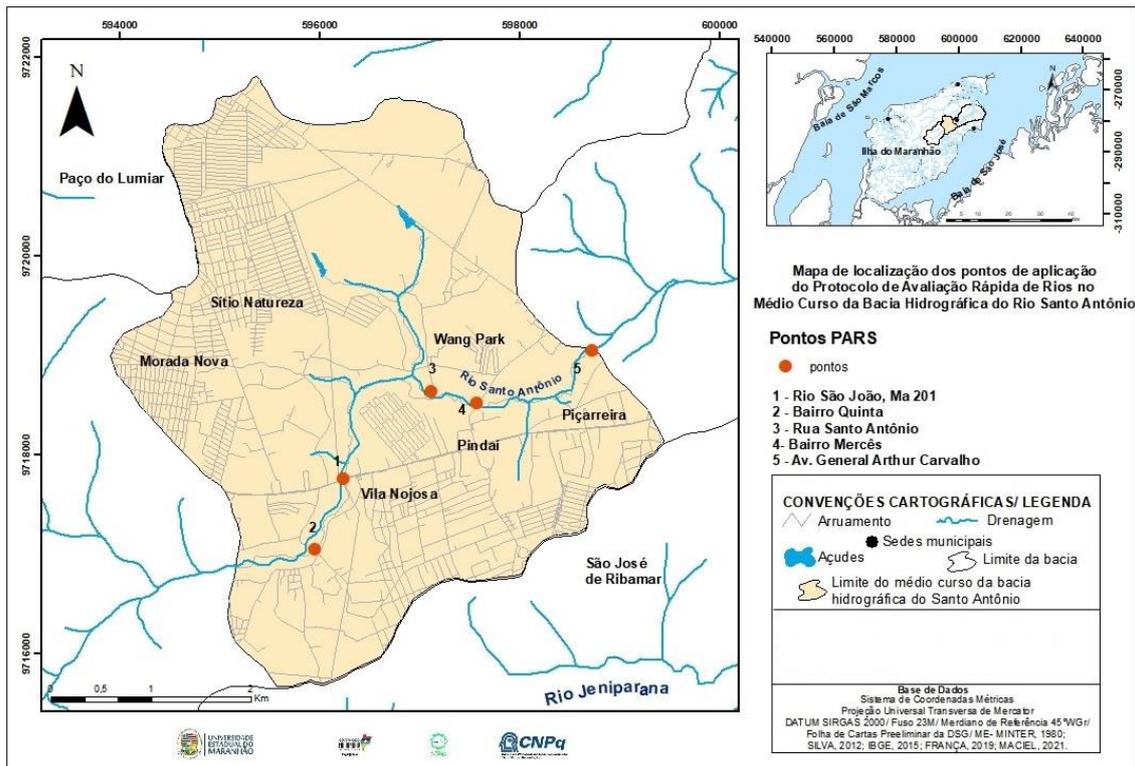
Quadro 2. Modelo de Protocolo de Avaliação Rápida conforme Carvalho et al (2010)

TRECHO DO RIO	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DO CANAL (NÍVEL 1)			PONTUAÇÃO REFERÊNCIA	
Canal fluvial	Não Alterado			NA (100)	
	Alterado	Aberto	Retificado	AL (200)	
			Retificado e Canalizado	MA(300)	
		Fechado			MA(300)
	USO DO SOLO NAS MARGENS (NÍVEL 2)				
	USO DO SOLO NOS INTERFLÚVIOS (NÍVEL 3)				
	Vegetação preservada			BAIXO (10)	
	Vegetação residual			BAIXO (10)	
	Urbanização fraca			MÉDIO (20)	
	Urbanização média			ALTO (30)	
Urbanização intensa			ALTO (30)		

Fonte: CARVALHO et al (2010).

Para aplicação dos protocolos na área de estudo, foram selecionados 5 sítios, sendo eles de fácil acesso para a análise dos parâmetros exigidos de cada um dos protocolos. O primeiro sítio de aplicação foi um trecho do principal curso da bacia do Santo Antônio, mas que nesta área recebe o nome de São João, localizado na Rodovia MA 201- São José de Ribamar. O segundo sítio localiza-se no bairro Quinta; o terceiro na rua Santo Antônio, próximo ao Parque Aquático, no município de Paço do Lumiar. O quarto sítio no bairro Mercês e o quinto na Avenida General Arthur Carvalho (**Figura 4**).

Figura 4. Localização dos pontos de aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios no médio curso da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, Ilha do Maranhão



Org. Os autores (2023).

Após a aplicação dos protocolos em campo, realizou-se em gabinete a somatória dos parâmetros de cada um deles. Em cada sítio visitado na área de estudo e através dos números de referência, foi analisada e identificada a classificação de cada área estudada no médio curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio. Para a matriz de referência de Lobo et al (2011), após a somatória de todos os parâmetros realizou-se a classificação do sítio analisado na área de estudo, de acordo com a **Tabela 1**.

Tabela 1. Classificação dos parâmetros do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios por Lobo et al

Pontuação	Nível de Perturbação
0 - 22	Impactado
23 - 32	Alterado
> 32	Natural

Fonte: LOBO et al (2011).

Para a classificação dos três níveis de tipologias do protocolo de Carvalho et al (2010), os parâmetros foram analisados individualmente em cada sítio, de acordo com o somatório da pontuação e com as propostas dos autores citados. Segundo Carvalho et al (2010), a combinação dos valores de referência dos níveis 1, 2 e 3 é capaz de gerar 27 combinações diferentes que foram agrupadas em nove tipologias, conforme a **Tabela 2**. Após a análise dos parâmetros de cada protocolo aplicado, caracterizou-se os 5 sítios analisados e comparou-se os diferentes tipos de alterações fisiográficas presentes no médio curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio.

Tabela 2. Matriz de tipologias conforme Carvalho et al (2010)

NÍVEL 1	NÍVEL 2	NÍVEL 3	COMBINAÇÃO	TIPOLOGIA
100	10	1	111	A - Canal sem alterações e com baixo impacto pelo uso do solo
100	10	2	112	A-Canal sem alterações e com baixo impacto pelo uso do solo
100	10	3	113	B-Canal sem alterações e com impacto pelo uso do solo
100	20	1	121	A-Canal sem alterações e com baixo impacto pelo uso do solo
100	20	2	122	B-Canal sem alterações e com impacto pelo uso do solo
100	20	3	123	B-Canal sem alterações e com impacto pelo uso do solo
100	30	1	131	C-Canal sem alterações e com significativo impacto pelo uso
100	30	2	132	C-Canal sem alterações e com significativo impacto pelo uso
100	30	3	133	C-Canal sem alterações e com significativo impacto pelo uso
200	10	1	211	D-Canal alterado e com baixo impacto pelo uso do solo
200	10	2	212	D-Canal alterado e com baixo impacto pelo uso do solo
200	10	3	213	E-Canal alterado e com impacto pelo uso do solo
200	20	1	221	D-Canal alterado e com baixo impacto pelo uso do solo
200	20	2	222	E-Canal alterado e com impacto pelo uso do solo
200	20	3	223	E-Canal alterado e com impacto pelo uso do solo
200	30	1	231	F- Canal alterado e com significativo impacto pelo uso
200	30	2	232	F- Canal alterado e com significativo impacto pelo uso
200	30	3	233	F- Canal alterado e com significativo impacto pelo uso
300	10	1	311	G- Canal muito alterado e com baixo impacto pelo uso
300	10	2	312	G- Canal muito alterado e com baixo impacto pelo uso
300	10	3	313	H- Canal muito alterado e com impacto pelo uso do solo
300	20	1	321	G- Canal muito alterado e com baixo impacto pelo uso
300	20	2	322	H- Canal muito alterado e com impacto pelo uso do solo
300	20	3	323	H- Canal muito alterado e com impacto pelo uso do solo
300	30	1	331	I-Canal muito alterado e com significativo impacto pelo uso
300	30	2	332	I-Canal muito alterado e com significativo impacto pelo uso
300	30	3	333	I-Canal muito alterado e com significativo impacto pelo uso

Fonte: CARVALHO et al (2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao se caracterizar geoambientalmente uma bacia hidrográfica, considera-se os aspectos fisiográficos que operam e influenciam o sistema fluvial, com a finalidade de mostrar os fatores geomorfológicos inter-relacionados no funcionamento deste sistema, para então se compreender as alterações oriundas da urbanização. Os protocolos de avaliação rápida de rios contribuem nessa análise, mostrando a situação em que o sistema se encontra, considerando as características geoambientais iniciais e o contexto atual.

No item Área de estudo foram apresentados fatores como clima, geologia, geomorfologia, solos e vegetação, os quais segundo Parsons et al (2002) compõem uma hierarquia de influência dentro do sistema fluvial. Segundo Schumm e Lichty (1965), Lotspeich (1980), Knighton (1984), Frissell et al (1986), Naiman et al (1992) e Montgomery (1999) a geologia e o clima, por exemplo, são fatores que controlam direta e indiretamente a formação de todos os outros fatores presentes no sistema fluvial.

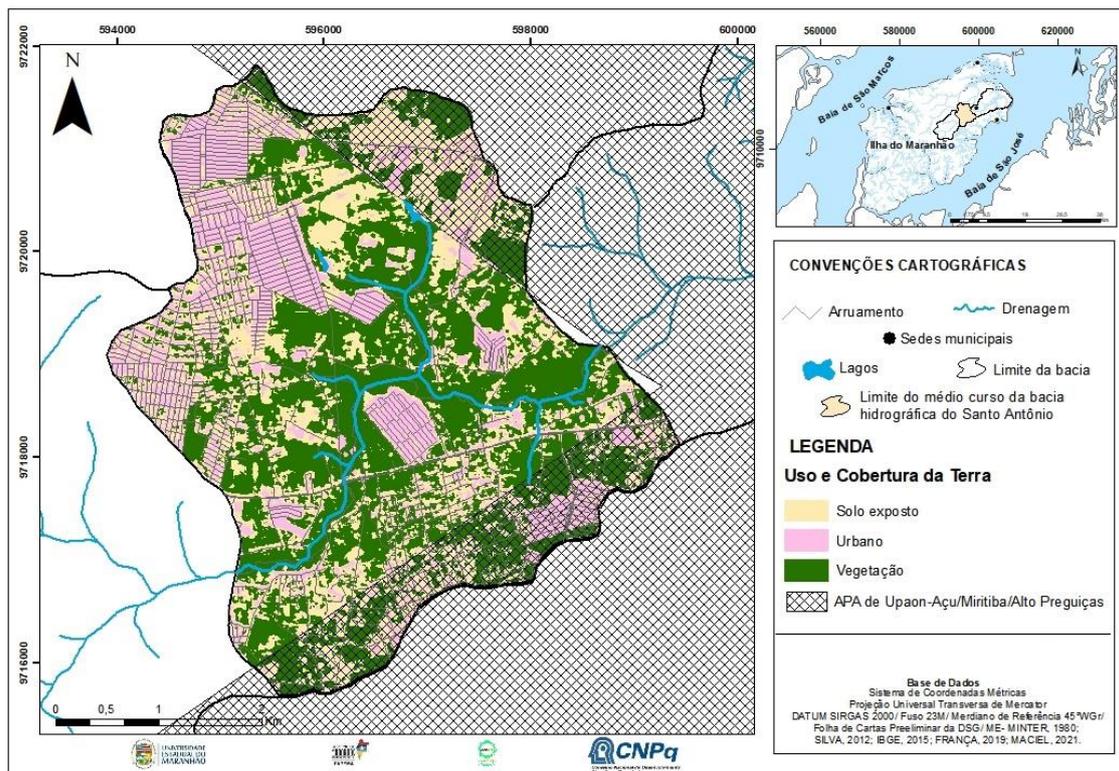
Para Parsons et al (2002) a geologia e o clima, atuam no controle fisiográfico da bacia hidrográfica, nos tipos de solos, vegetação e até dos usos antrópicos, o que reflete em processos geomorfológicos diversos na morfologia e dinâmica fluvial. Considerando os fatores geomorfológicos citados por Parsons et al (2002), tem-se atualmente no médio curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio processos geomorfológicos oriundos da dinâmica fluvial original, relacionados ao contexto geoambiental, como processos lineares e areolares, além da alteração e aceleração destes processos em virtude da atividade antrópica.

Neste sentido, é importante considerar os usos da área de estudo para se compreender as alterações ocorridas no sistema fluvial. A fim de comparar a classificação de uso e cobertura da terra da CPRM (2020) para o médio curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio, apresentada no item Área de estudo, realizou-se o mapeamento do uso e cobertura da terra do médio Santo Antônio através da classificação supervisionada. Foram mapeadas três principais classes, a saber: área urbana, vegetação e solo exposto (**Figura 5**), onde constatou-se que 47% da área total da bacia apresenta vegetação, estando associada no mapeamento da CPRM (2020), as classes de culturas agrícolas, mata secundária fragmentada e baixa urbanização. Apesar do uso antrópico, esta classe se identifica com a vegetação devido à presença de sítios, chácaras, intervalo espaçado entre as residências, além da presença de árvores e gramíneas, sobretudo nas porções sul, sudeste e sudoeste da área de estudo.

A maior concentração da vegetação se dá no canal principal, o que corresponde a mata ciliar na planície fluvial, e na porção pertencente ao município de São José de Ribamar, mais ao sul do médio curso. A categoria de solo exposto, está diretamente associada a área de culturas agrícolas, construções em execução e aos níveis de baixa e média urbanização. De acordo com Rodrigues et al (2022) além do solo exposto em si mesmo representar um problema ambiental, existem processos geomorfológicos que são intensificados tais como os processos erosivos lineares – sulcos, ravinas e voçorocas. Apesar desta categoria estar dispersa em todo o médio curso do Santo Antônio, a mesma é encontrada de forma mais fragmentada na porção sul, sudoeste, sudeste (municípios de São José de Ribamar) e mais concentrada na porção norte, porção esta pertencente ao município de São Luís.

A terceira classe de uso é a área urbana/urbanizada. Esse padrão de uso é o de menor representação areal, correspondendo a apenas 21,65% da área total do médio curso, e está associada aos níveis de média e alta urbanização no mapeamento da CPRM (2020), porém é uma categoria que tem se expandido e provocado inúmeras alterações no sistema.

Figura 5. Uso e cobertura da terra do médio curso da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, Ilha do Maranhão



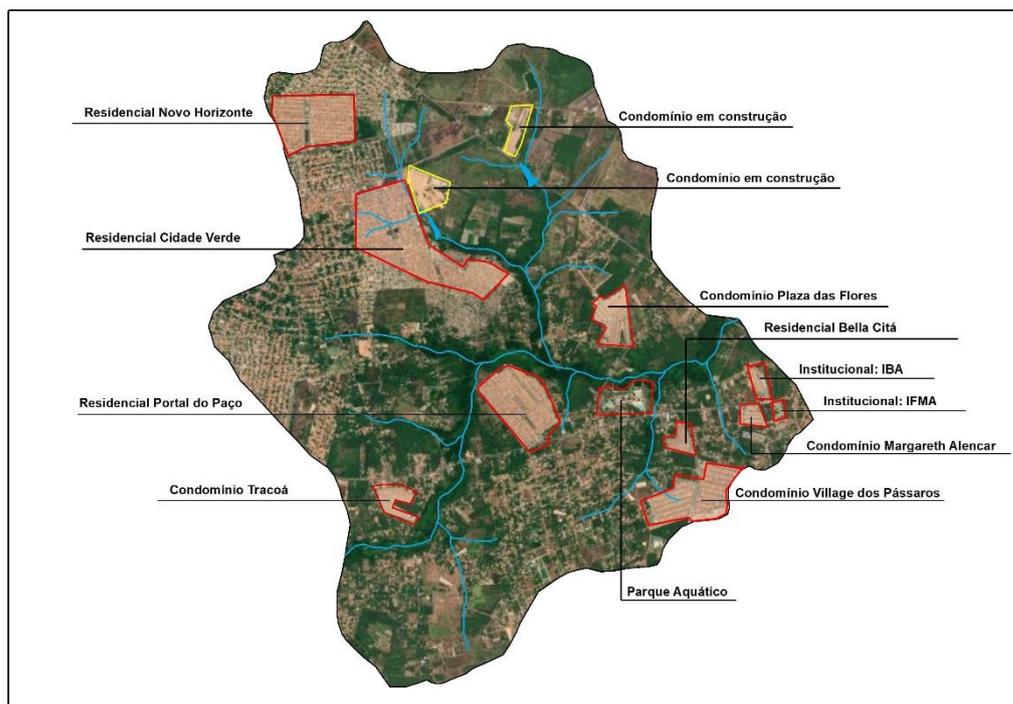
Org. Os autores (2021).

Com a crescente demanda populacional e por equipamentos urbanos que supram minimamente as necessidades das populações que escoam para essa localidade, tem-se identificado a inserção de condomínios residenciais na área de estudo, dentre os quais Rodrigues et al (2022) e Rodrigues (2022) ressaltam: Residencial Village dos Pássaros I, II e III; Residencial Novo Horizonte, Condomínio Margareth Alencar, Residencial Plaza das Flores, Residencial Cidade Verde, Residencial Portal do Paço, Condomínio Tracoá, além de um Parque Aquático com área na planície de inundação (**Figura 6**). Dentre os 10 condomínios residenciais mapeados, dois estão em construção e cinco estão em áreas de planície e/ou cabeceiras de drenagem.

Esses diferentes usos da terra mudam a dinâmica hidrográfica, sobretudo quando envolvem a inserção de construções em compartimentos geomorfológicos que devem ser preservados, como é o caso das planícies fluviais, pois compromete o funcionamento correto do sistema fluvial. Para Santos et al (2021) as diferentes formas de ocupação do solo urbano em bacias hidrográficas urbanas, mudam o cenário da vazão hídrica, bem como do escoamento superficial. Menezes et al (2010) salienta ainda que dependendo das alterações na bacia hidrográfica, pode aumentar a intensidade do escoamento superficial, gerando degradação no solo e causando assoreamento nos canais, em virtude dos sedimentos transportados.

Sobre isto, na área de estudo tem ocorrido intensificação de processos naturais como enchentes e inundações, além de processo geomorfológicos como assoreamento e erosões, associados as atividades antrópicas de aterramento de canais, impermeabilização de planícies e tabuleiros, corte de vertente e aumento do escoamento superficial, como pontuado por Menezes et al (2010).

Figura 6. Espacialização dos condomínios residenciais construídos no médio curso da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, Ilha do Maranhão

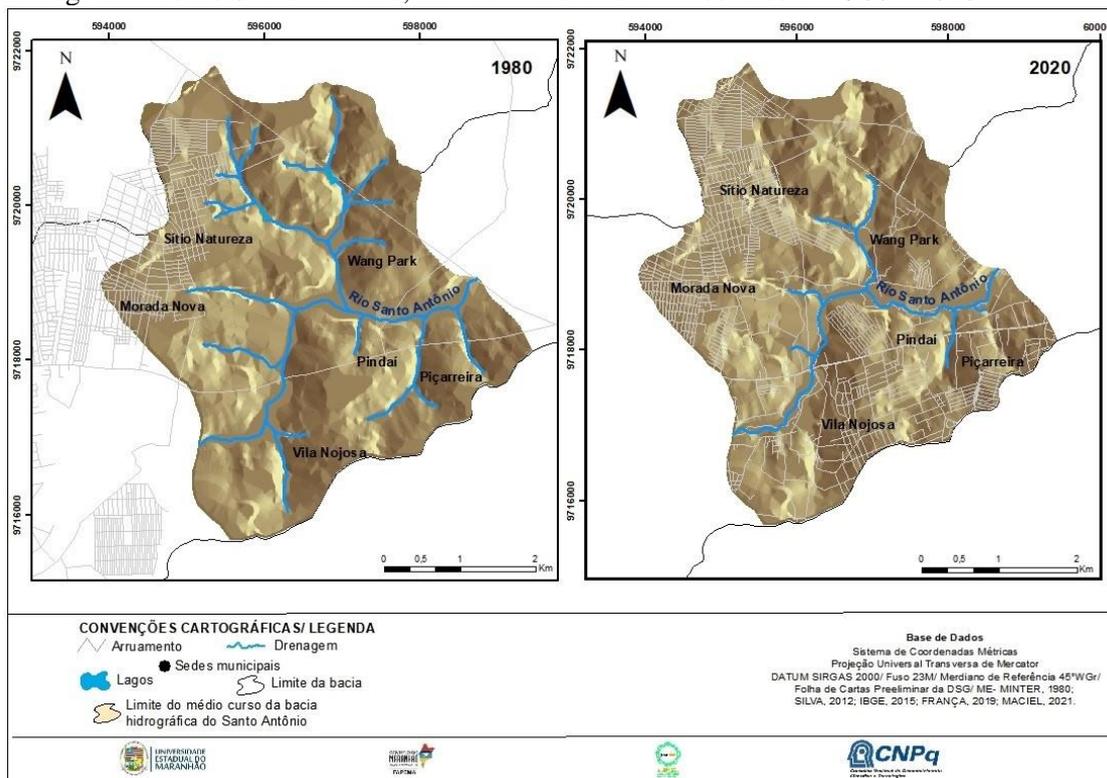


Org. Os autores (2021); Imagem Google Earth (2021).

Através do mapeamento do uso e cobertura da terra, identificou-se um processo de alteração dos canais fluviais, o que resultou na análise comparativa da drenagem nos últimos 40 anos. Tendo como referência a malha hídrica do ano de 1980 e do ano de 2020 (**Figura 7**), observou-se que em 1980 a drenagem apresentava extensas ramificações, com diversos canais de primeira ordem, os quais alimentavam outros canais de segunda, terceira e quarta ordem em relação a sua hierarquia fluvial. Com o avanço da urbanização, registrou-se em 2020, a perda significativa de canais, sobretudo os de primeira ordem. Essas cabeceiras de drenagem em sua maioria foram assoreadas e/ou aterradas, principalmente ao norte do médio curso da bacia hidrográfica em questão.

De forma semelhantes, outros estudos apontam alterações na drenagem oriunda da urbanização, a exemplo do estudo de Galvão (2008) que também percebeu alterações intensas na rede hidrográfica da bacia do rio João Mendes, no Rio de Janeiro. Segundo a autora, em virtude da urbanização 3 canais foram diminuídos e 2 extintos. Duas sub-bacias foram extintas causando perda significativa na malha hídrica. Em 20 anos de análise as autoras concluíram que houve a perda de 25 segmentos fluviais, alterando a dinâmica hidrográfica. No médio Santo Antônio, houve uma redução de aproximadamente 50% dos seguimentos fluviais, no intervalo de 40 anos, o que tem contribuído para a degradação da área de estudo. Os canais fluviais que não foram aterrados para a construção de condomínios residenciais, encontram-se ocultos devido as tubulações realizadas.

Figura 7. Comparativo das alterações na rede de drenagem no médio curso da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, Ilha do Maranhão entre os anos de 1980 e 2020



Org. Os autores (2021).

Tendo em vista que as intervenções antrópicas decorrentes da urbanização estão associadas aos canais fluviais, aplicou-se então os dois modelos de protocolos de avaliação rápida de rios, a fim de analisar o diagnóstico indicado por essa técnica metodológica (**Tabelas 3 e 4**). De maneira geral os parâmetros analisados apresentaram valores quase uniformes para o modelo de Lobo et al (2011) e variações apenas em dois pontos para o modelo de Carvalho et al (2010), obtendo-se pontuações entre 29 e 32 para o primeiro modelo e entre 111 e 133 para o segundo.

O primeiro ponto de aplicação do PAR foi no curso principal localizado na Rodovia MA – 201, trecho popularmente conhecido como rio São João, pertencente ao município de São José de Ribamar. Neste ponto identificou-se presença significativa de vegetação ripária, embora secundária, com porte arbóreo e grande quantidade de serrapilheira. Destacando-se aqui o parâmetro de estabilidade das margens, tal ponto apresentou margem moderadamente instável, pois está localizado próximo a uma rodovia, com construções residenciais e comerciais próximas. Em relação a este parâmetro Callisto et al (2002) afirma que se trata de margens com risco elevado de erosão durante enchentes e que podem apresentar áreas descobertas nas curvas do rio.

O ponto 2 está localizado no bairro Quinta e apresentou vegetação natural em suas margens apesar da existência de construções residenciais próximas, bem como a presença de resíduos sólidos nas margens e no canal fluvial. Identificou-se odor moderado, presença de plantas aquáticas em determinados trechos e constatou-se o tipo de fundo presente, sendo lama e areia. Para American Water Works Associa (1987), Ferreira Filho (1996), Oliveira e Molica (2017) e Costa et al (2021) os fatores que podem estar influenciando no odor da água são compostos orgânicos (fontes antropogênicas) e/ou aromáticos (tetracloroeto de carbono, tetracloroetileno), orgânicos originários de fontes biogênicas e constituintes inorgânicos em concentrações elevadas

provocadas por rejeitos domésticos lançados de forma indiscriminada nos leitos de rios, lagos, lagoas e outros ambientes aquáticos.

Tabela 3. Resultados da aplicação do PARS - modelo de Lobo et al (2011)

PARÂMETROS	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
01	4	4	0	0	4
02	0	2	2	2	2
03	0	2	2	2	2
04	2	2	4	4	0
05	4	4	4	4	4
06	2	4	0	0	0
07	4	2	2	2	2
08	5	3	2	2	2
09	2	0	0	0	5
10	2	3	3	3	2
11	2	3	2	2	3
12	2	3	3	3	0
PONTUAÇÃO	29	32	24	24	26
AVALIAÇÃO	ALTERADO	ALTERADO	ALTERADO	ALTERADO	ALTERADO

Org. Os autores (2021).

Tabela 4. Resultados da aplicação do PARS - modelo de Carvalho et al (2010)

NÍVEIS	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 4	PONTO 5
01	100	100	100	100	100
02	30	20	30	30	10
03	3	3	3	3	1
PONTUAÇÃO	133	123	133	133	111
	C	B	C	C	A
AVALIAÇÃO	<i>Canal sem alterações e com significativo impacto pelo uso do solo</i>	<i>Canal sem alterações e com impacto pelo uso do solo</i>	<i>Canal sem alterações e com significativo impacto pelo uso do solo</i>	<i>Canal sem alterações e com significativo impacto pelo uso do solo</i>	<i>Canal sem alterações e com baixo impacto pelo uso do solo</i>

Org. Os autores (2021).

Já o ponto 3, localizado na rua Santo Antônio, próximo a um parque aquático no município de Paço do Lumiar, tem como características áreas residenciais e comerciais próximas ao canal. Nessa localidade, parte do canal foi represado e é utilizado para atividades recreativas bem como pesque-pague. Nos seguimentos fluviais externos aos limites do parque, o canal apresenta lâmina d'água expressiva e vegetação ciliar preservada.

O ponto 4 está situado na localidade Mercês, apresentando residências próximas as margens. O impacto em seu leito é moderado, não apresenta odor e o fundo é composto por lama e areia. O canal possui um nível de fluxo e turbidez elevado e apresenta moderada quantidade de resíduos sólidos. O último ponto analisado está localizado na Avenida General Arthur Carvalho, área conhecida popularmente como “Joelho de Porco”, no município de Paço do Lumiar. O ponto apresenta vegetação natural, porém possui resíduos sólidos em suas margens e os impactos

antrópicos nas suas margens são moderados. Apesar da existência de resíduos, a presença de vegetação natural densa neste ponto minimiza o acúmulo dos mesmos e contribui para o processo de infiltração, com exceção das porções impermeabilizadas, relacionadas a Avenida General Artur Carvalho.

De forma geral, os parâmetros analisados no modelo de Lobo et al (2011) indicaram que todos os pontos são classificados como alterados, tendo em vista que a maioria dos parâmetros relacionados a impactos antrópicos receberam pontuações relacionadas a moderado ou acentuado impacto em quase todos os pontos. Tal fato justifica-se pela intensidade do crescimento das ocupações urbanas, sobretudo de condomínios residenciais que consequentemente tem gerado alterações no médio curso do rio Santo Antônio, modificando o sistema fluvial, afetando assim sua dinâmica natural.

Em relação ao modelo de Carvalho et al (2010), o primeiro parâmetro analisado se refere às características morfológicas do canal; em todos os pontos analisados os canais foram classificados como abertos. O segundo parâmetro trata do uso do solo nas margens, onde caracterizou-se os pontos 1, 3 e 4 com urbanização média em suas margens, pois apesar da existência de vegetação, há presença de ocupações residenciais e comerciais. O ponto 2 possui uma urbanização fraca, pois a margem direita do canal está mais preservada em relação a margem esquerda e o ponto 5 apresentou vegetação residual, de características de áreas degradadas, porém não apresentaram ocupações residenciais em suas margens. O parâmetro 3 identifica o uso do solo nos interflúvios. Nos pontos 1, 2, 3 e 4 identificou-se urbanização média em seus interflúvios, com destaque para o ponto 2 que predominou a existência de chácaras e sítios em seus interflúvios e o ponto 5, que apresentou vegetação residual, de porte arbóreo e árvores frutíferas.

De acordo com as tipologias, foram pontuados cada parâmetro em relação à tabela de referência. Os pontos 3 e 4 somaram 133 pontos cada, sendo classificados como “*C - canal sem alterações e com significativo impacto pelo uso do solo*”; o ponto 2 somou 123 pontos, identificado na tipologia “*B - Canal sem alterações e com impacto pelo uso do solo*”; o ponto 5 somou 111 pontos, sendo identificado como “*A - Canal sem alterações e com baixo impacto pelo uso do solo*”.

Diante da análise da aplicação dos dois modelos de PAR, pode-se destacar que ambos, apesar de obterem diferentes tipologias de avaliação, identificaram todos os pontos de aplicação alterados seja na morfologia, considerando então a questão geomorfológica e estrutural, seja no uso e cobertura da terra, ressaltando então a pressão antrópica e os padrões de uso. Desta forma, os dois modelos de PAR corroboraram para as análises relacionadas as alterações ocorrentes por decorrência das ações antrópicas no médio curso da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O médio curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio possui características urbanas muito mais acentuadas na porção norte, à qual pertence ao município de São Luís, e uma dinâmica de urbanização mais lenta e com padrões de urbanização diferenciados nas porções sul, sudeste e sudoeste, pertencentes ao município de São José de Ribamar. Analisando os mapeamentos realizados e a aplicação do PAR, identificou-se que as principais alterações ocorridas no médio curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio estão relacionadas a pressão antrópica sobre os cursos d'água. A construção de condomínios residenciais nas planícies fluviais e cabeceiras de drenagem, alteração dessas morfologias pela pavimentação asfáltica das vias, o aumento de parcelas de solo exposto em virtude de atividades agrícolas ou de construções de residenciais. Poluição dos cursos d'água em virtude do lançamento de dejetos líquidos dos residenciais in natura diretamente no canal fluvial. Além do aumento do escoamento superficial, surgimento de processos erosivos lineares e impermeabilização das vertentes.

Os protocolos de avaliação rápida de rios, por sua vez, contribuíram na constatação da situação geoambiental dos rios na área de estudo, onde todos os canais atingiram pontuação na classificação de alterados e em algum grau impactos pelo uso e cobertura da terra. Desta forma, o PAR contribuiu como instrumento metodológico na análise das alterações ocorridas no médio curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio, Ilha do Maranhão. Ressalta-se que o PAR se destaca como instrumento metodológico na avaliação de rios pela facilidade na obtenção e aplicação do mesmo, pela possibilidade de as informações obtidas contribuírem em questões relacionadas a preservação dos recursos hídricos, e sobretudo pela possibilidade de adaptação do protocolo para diferentes áreas, considerando-se a realidade da localidade em estudo.

Salienta-se que não se tem pesquisas na área de estudo que utilizam a aplicação dos protocolos de avaliação rápida de rios, bem como não é uma prática comum em estudos de bacias hidrográficas na ilha do Maranhão. Por esta razão, esse estudo contribui para o desenvolvimento e ampliação desta temática na ilha do Maranhão, bem como para a disseminação do conhecimento esta temática e este instrumento metodológico.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Estadual do Maranhão e a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA pela bolsa concedida e por proporcionar o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABONÍZIO, M. G.; FRANÇA, D. V. B.; NUNES, J. O. R. Dinâmica do uso e cobertura da terra e a expansão da cana-de-açúcar no município de Ouro Verde (SP) entre os anos de 2004 a 2018. *Revista Geotextos*, v. 19, n. 1, p. 125-148, 2023.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Identification and treatment of taste and odors in drinking water. Denver: AWWARF, 1292 p, 1987.
- ASSUNÇÃO, R. M. Estimador de Máxima Verossimilhança – Motivação. 2018.
- BARROS, D. V.; SILVA, Q. D.; TEIXEIRA, E. C.; COSTA, C. M.; SANTANA, R. G. Morfometria, uso e cobertura do solo como indicadores de enchentes e inundações na Bacia do Rio do Prata, Ilha do Maranhão. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 3, n. 5, p. 217-226, 2016.
- BARROS, J. S.; BANDEIRA, I. C. N. (Org.). Geodiversidade da Ilha do Maranhão. Teresina: CPRM, 2020.
- BERSOT, M. R. O. B.; MENEZES, J. M.; ANDRADE, S. F. Aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida de Rios (PAR) na bacia hidrográfica do rio Imbé – RJ. *Ambiência Guarapuava (PR)* v.11, n.2, p. 277 – 294, 2015.
- CAIRNS JÚNIOR, J.; PRATT, J. R. A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. In: ROSENBERG, D. M.; RESH FRESHWATER, V. H. (Orgs). *Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. New York: Chapman & Hall. p. 10-27, 1993.
- CALLISTO, M.; FERREIRA, W.R.; MORENO, P.; GOULART, M.; PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnológica Brasileira*, v. 34, p. 91-97, 2002.
- CAMPOS, J. C. Protocolo de avaliação rápida de rios urbanos como subsídio ao planejamento da paisagem: estudo de caso da bacia do rio Palmital na Região Metropolitana de Curitiba (PR). *Dissertação (Mestrado em Geografia) – Curitiba: UFPR*. 2020.
- CAMPOS, J. C.; NUCCI, J. C.; OLIVEIRA, C. Protocolo de avaliação rápida de rios como referencial prático para uma educação ecossistêmica e transdisciplinar. *RAEGA: o espaço geográfico em análise*, v. 50, n.04, p. 207-230, 2021.

CARVALHO, L. E. P; BITOUN, J; CORREA, A. C. B. Canais fluviais urbanos: proposta de tipologias para a região metropolitana do Recife (RMR). Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. especial VIII SINAGEO, n. 3, 2010.

CASIMIRO, P.C. Uso do Solo – Ecologia da Paisagem, Perspectivas de uma Nova Abordagem do Estudo da Paisagem em Geografia. GeoInova, n.2, p. 45-65, 2000.

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 & Pesquisa, v. 23, n. 44, p. 1-23, 2019. <https://doi.org/10.5902/2236499438074>.

COSTA, B. N; COSTA, B. N.; MARQUES, A. M. Avaliação das condições ambientais do rio Preguiças no município de Barreirinhas, Maranhão, Brasil

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. BARROS, J. S.; BANDEIRA, I. C. N. (Orgs.) Geodiversidade da Ilha do Maranhão. Teresina: CPRM, 2020.

FERREIRA FILHO S.S. Otimização da aplicação do CAP no tratamento de água visando a redução de compostos orgânicos causadores de odor e sabor em águas de abastecimento. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 1, n. 4, p. 131-43, 1996.

FRANÇA, D. V. B. Vulnerabilidade ambiental a alagamentos no alto curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio, Ilha do Maranhão. Dissertação (Mestrado em Geografia) – São Luís: PPGeo/UEMA. 2020.

FRISSELL, C. A.; LISS, W. J.; WARREN, C. E; HURLEY, M. D. A hierarchical framework for stream habitat classification: viewing streams in a watershed context. Environmental Management, p. 199-214, 1986.

GALVÃO, R. S. Drenagem urbana e planejamento ambiental: vale do rio João Mendes (Niterói/RJ). Dissertação (Mestrado em Geografia) – Niterói: PPGG/UFF. 2008.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. Geomorfologia Ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUIMARÃES, A.; FERREIRA, I. M. Protocolo de avaliação rápida para nascentes de cursos d'água: a relação urbano-rural no contexto ambiente e sociedade. In: NEVES, A. F.; PAULA, M. H.; ANJOS, P. H. R. (Orgs). Estudos Interdisciplinares em Ciências Ambientais, Território e Movimentos Sociais. São Paulo: Blucher, 2016, p. 148-160.

HEYMANN, Y. Corine land cover technical guide. Colaboração de Chris Steenmans, Guy Croisille e Michel Bossard. Luxembourg: European Commission, 1994. 136 p.

IBGE. Contagem da População – 1996: população residente, por sexo e população cedida, segundo o código e o nome dos municípios – Maranhão. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estatística/população/contagem/macont96.shtm>. > Acesso em 25 set 2023.

IBGE. Manual técnico de uso da terra. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em:<<http://biblioteca.ibge.gov.br>>. Acesso em 25 set. 2023.

IBGE - Diretoria de Pesquisas – DEP. Estimativa populacional 2008. Disponível em: [WWW.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 25 de set de 2023.

IBGE. Mapa e nota explicativa da vegetação do estado do Maranhão. 1º edição. 2011.

IBGE - Diretoria de Pesquisas – DEP. Estimativa populacional 2012. Disponível em: [WWW.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acesso em 25 de set de 2023.

JESUS, V. C.; BARRETO, H. N. Padrão de drenagem, um resgate conceitual como subsídio à classificação da bacia do rio Preguiças – MA. Revista Ciência Geográfica, v. 25, n. 4, p. 1533-1552, 2021.

JUSTIN, I. F. Métodos de estimativa de classes de uso e cobertura da terra em áreas com cobertura de nuvem baseados na distribuição espaço-temporal de classes. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – São José dos Campos: INPE. 2020.

KNIGHTON, D. Fluvial forms and processes. Edward Arnold, London, 1984.

LOBO, A. E.; VOOS, J. G.; ABREU JUNIOR, E. F. Utilização de um protocolo de avaliação rápida de impacto ambiental em sistemas lóticos do sul do Brasil. *Caderno de Pesquisa, Série Biologia*, v. 23, n. 1, p. 18-32, 2011.

LOTSPEICH, F. B. Watersheds as the basic ecosystem: this conceptual framework provides a basis for a natural classification system. *Water Resources Bulletin*, p. 581-586, 1980.

MACHADO, A. P. F. Adaptação de um protocolo de avaliação rápida de rios e sua utilização como recurso didático em educação ambiental no ensino médio. *Dissertação (Mestrado em Conservação dos Recursos Naturais do Cerrado)* – Urutá: IFG. 2019.

MELO, F.P.; SOUZA, R.M. Energia Eletromagnética na Superfície Terrestre: estimativa multitemporal do albedo em Garanhuns-PE. *Ciência e Natura*, v. 38, n.1, p. 170 –178, 2016.

MENEZES, P. H. B. J., ROIG, H. L., DE ALMEIDA, T., NETO, G. B. S., ISAIAS, F. B. Análise da evolução do padrão de uso e ocupação do solo na bacia de contribuição do Lago Paranoá-DF. *Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia*, v. 8, n. 1, P. 88-106, 2010.

MONTGOMERY, D. R. Process domains and the river continuum. *Journal of the American Water Resources Association*, p. 397-410, 1999.

NAIMAN, R.J., LONZARICH, D.G., BEECHIE, T.J. AND RALPH, S.C. General principles of classification and the assessment of conservation potential in rivers. In: BOON, P. J.; CALOW, P.; PETTS, G. E. *River Conservation and Management*. John Wiley and Sons, Chichester. p. 93-123, 1992.

OLIVEIRA, P.C.S.S.; FERREIRA, N.C.; SANTOS, A.M. Análise da pressão antrópica, evapotranspiração e temperatura em áreas especiais no sul da Amazônia brasileira. *Revista Geográfica Venezuelana*, v. 60, n. 1, p. 28-43, 2018.

OLIVEIRA, E. J. A.; MOLICA, R. J. R. A poluição das águas e cianobactérias. Recife: IFPE, 2017. 33 p.

PARSON, M.; THOMS, M.; NORRIS, R. Australian River Assessment System: AusRivAS Physical Assessment Protocol. Environment Australia, 2002.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 1 – 35.

RODRIGUES, A. S. L.; CASTRO, P. T. A. Protocolos de Avaliação Rápida: Instrumentos Complementares no Monitoramento dos Recursos Hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 13, n.1, p. 161-170, 2008.

RODRIGUES, T. S.; GOMES, E. C.; FRANÇA, D. V. B.; SILVA, Q. D. Padrões de uso e cobertura da terra do médio curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio, Ilha do Maranhão – MA. In: SOARES, L. S.; SOEIRO, J. E.M.; MARTINS, I. M.; LOUZADA, C. O.; SILVA, J. F. S.; BARBOSA, L. N. (Orgs.) *Planejamento e gestão territorial em suas diversas amplitudes*. São Luís: EDUFMA, 2022, p. 275-282.

RODRIGUES, T.S. Dinâmica do uso e cobertura da terra e a ocorrência de inundações no médio curso da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, Ilha do Maranhão. *Monografia (Graduação em Geografia)* – São Luís: UEMA, 2022.

SALES, B. E. S. S. Protocolo de avaliação rápida: ferramenta para análise da qualidade dos recursos hídricos. *Dissertação (Mestrado Profissional em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental)* – Ouro Preto: UFOP. 2022.

SANTOS, Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 8, p. 826-834, 2010.

SANTOS FILHO, R. D. Antropogeomorfologia Urbana. In: GUERRA, A. J. T. (Org.) *Geomorfologia Urbana*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, p. 227-246.

SANTOS, A. M.; GOMIDE, M. L. A ocupação no entorno das terras indígenas em Rondônia, Brasil. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 35, n. 3, p. 417-436, 2015.

SANTOS, A. M.; MENDONÇA, A. Conflitos territoriais no Corredor Etnoambiental Tupi-Mondé Rondônia-Mato Grosso. *Terr@ Plural*, v. 10 n. 2, p. 252-265, 2016.

SANTOS, K. A.; FORMIGA, K. T. M.; BRAGA, V. S.; FARIA, K. M. S. Mudanças morfológicas na bacia hidrográfica do Córrego Barreiro ao longo do processo de urbanização, Goiânia – GO. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v.13, p. 1-17, 2021.

SANTANA, R. G.; SILVA, Q. D.; FRANÇA, D. V. B. Análise espacial em áreas de inundações na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, São Luís-MA. *Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)*, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 502–520, 2019. DOI: 10.35701/rcgs.v21n2.580.

SANTANA, R. G.; FRANÇA, D. V. B.; AVELAR, C. M. C. Dinâmica do uso e cobertura da terra entre os anos 1985 e 2021 na bacia hidrográfica do rio Preguiças – MA, Brasil. *Revista GEOFRONTER*, v. 9, n.1, p. 1-23, 2023. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/7645>. Acesso em 25 set 2023.

SILVA, Q. D. da. Mapeamento Geomorfológico da Ilha do Maranhão. Tese (Doutorado em Geografia) Presidente Prudente: UNESP, 2012.

SCHUMM, S. A.; LICHTY, R.W. Time, space and causality in geomorphology. *American Journal of Science*, p. 110-119, 1965.

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of Geomorphology. *The Geological Society of America Bulletin*, v. 63, p. 923-938, 1952.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 399 – 432.

VEYRET, Y (Org.). *Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente*. São Paulo: Contexto, 2ª ed., 2013.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Washington: U.S. Department of Agriculture, (Agriculture Handbook n. 537), p. 58, 1978.