

ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA COSTEIRA SUJEITA A MODIFICAÇÕES POR URBANIZAÇÃO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CALHAU NA ILHA DO MARANHÃO

INTEGRATED ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF A COASTAL WATER BASIN SUBJECT TO CHANGES DUE TO URBANIZATION: CALHAU RIVER BASIN ON MARANHÃO ISLAND

Luciana Amorim Soares
Universidade Federal do Maranhão

Paula Verônica Campos Jorge Santos
Universidade Federal do Maranhão

Adilson Matheus Borges Machado
Universidade Federal do Maranhão

Leonardo Silva Soares
Universidade Federal do Maranhão

RESUMO: O processo de urbanização transforma a paisagem e a dinâmica natural do ambiente. Bacias hidrográficas têm sido cada vez mais impactadas por processos urbanos, influenciando na qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos, e consequentemente de todos os serviços ambientais dependentes da sistemática de funcionamento da bacia. Como forma de entender as implicações dessas alterações para o ambiente natural e para a cidade, que o presente trabalho objetivou analisar de forma integrada a qualidade e dinâmica da bacia hidrográfica costeira do rio Calhau, localizada na ilha do Maranhão, na capital do estado do Maranhão. Para que tal avaliação fosse possível, foram aplicadas três metodologias, caracterização da área através de indicadores morfométricos relacionados aos aspectos areal, linear e hipsométricos, análise da dinâmica de paisagem para os anos de 2007, 2015 e 2020; e aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats para pontos entre o alto, médio e baixo curso da bacia. Os resultados demonstram que a bacia possui formato circular, relevo suave estando mais propensa a inundações. Os principais impactos foram causados pelo aumento da malha urbana, diminuição de vegetação, com muitos pontos caracterizados como impactados. Os resultados encontrados podem subsidiar uma gestão mais eficiente para a área.

Palavras-chave: Avaliação Ambiental; Impacto Ambiental; Crescimento Urbano.

ABSTRACT: The urbanization process transforms the landscape and the natural dynamics of the environment. River basins have been increasingly impacted by urban processes, influencing the quality and availability of water resources, and consequently all environmental services dependent on the basin's operating system. As a way of understanding the implications of these changes for the natural environment and for the city, this work aimed to analyze in an integrated way the quality and dynamics of the coastal watershed of the Calhau River, located on the island of Maranhão, in capital of the state of Maranhão. To make such an assessment possible, three methodologies were applied: characterization of the area through morphometric indicators related to areal, linear and hypsometric aspects, analysis of landscape dynamics for the years 2007, 2015 and 2020; and application of the Rapid Habitat Diversity Assessment Protocol to points between the upper, middle and lower reaches of the basin. The results demonstrate that the basin has a circular shape, smooth relief and is more prone to flooding. The main impacts were caused by the increase in the urban area and the decrease in vegetation, with many points characterized as impacted. The results found can support more efficient management for the area.

Keywords: Environmental Assessment; Environmental impact; Urban growth.

INTRODUÇÃO

A urbanização, sem diretrizes de ocupação, modifica o espaço e traz vários impactos às bacias hidrográficas, dentre eles, Benini e Mendiando (2015) destacam as alterações severas ao ciclo hidrológico, que podem levar a drásticas alterações na drenagem, elevando a possibilidade de ocorrência de enchentes e deslizamentos, impondo riscos à saúde e à vida humana. Os autores evidenciam que é perceptível a associação entre a razão de crescimento de enchentes nas regiões urbanas do Brasil e a impermeabilização do solo, sendo este processo responsável por acentuar a fragilidade das bacias hidrográficas.

A Lei 9.433/1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil, institui que o instrumento básico para o planejamento dos recursos hídricos é a bacia hidrográfica, desta forma a gestão dos territórios diante dos múltiplos usos aos quais está sujeito, precisa entender a dinâmica específica de cada bacia.

Sobre essa ótica, Carvalho (2020) considera que gerir bacias hidrográficas deve passar por processos de integração nos quais se considerem os aspectos físicos, sociais e econômicos que formam essa unidade de planejamento, ressaltado que os impactos das ações indiretas derivadas da urbanização, por exemplo, causam mudanças nos processos fluviais, refletindo nos processos de erosão, transporte e deposição, que levam ao aumento do pico de descarga e ao assoreamento, não só pelo aumento de material sedimentar disponível, mas também pela adição do lixo urbano, que podem contribuir para a majoração da recorrência de eventos de enchentes (GIRÃO; CORRÊA, 2015; CARVALHO *et al.*, 2017).

A caracterização das bacias hidrográficas depende da interação entre a rede fluvial, elementos geológicos, geomorfológicos e biológicos. De acordo com Santos e Morais (2012, p. 617), estudos morfométricos em bacias hidrográficas “são um conjunto de procedimentos metodológicos que tem como intuito a investigação e o entendimento científico dos seus componentes naturais”. As análises

realizadas têm como base um estudo quantitativo do meio, de forma a compreender sua dinâmica hidrológica e morfológica, e identificar possíveis alterações ambientais da região.

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são importantes ferramentas na avaliação de parâmetros morfométricos, pois ajudam na compreensão dos parâmetros do terreno que afetam diretamente o processo hidrológico da bacia, como capacidade de infiltração, escoamento, litologia e relevo, sendo eficaz na conservação do solo, da água e na gestão de recursos naturais (BOGALE, 2021). Ademais, o comportamento hidrológico pode variar com base nas interferências e influências que atuam sobre ele, principalmente, em decorrência da dinâmica climática e de diferentes usos do solo (SANTOS *et al.*, 2010).

A evolução dos processos antrópicos resulta em diferentes formas de exploração dos recursos ambientais e mudanças nas condições ecossistêmicas da região. Nota-se nas grandes cidades o constante e desordenado espalhamento urbano, que vem impactando diretamente nos recursos hídricos associados aos centros urbanos. A falta de planejamento para uso e ocupação do solo, tem se tornado uma problemática comum, afetando tanto o âmbito social e urbano, quanto o ambiental.

São Luís, capital do estado Maranhão, vem sofrendo inúmeros processos com o aumento do contingente demográfico urbano ao longo do tempo, trazendo problemas estruturais e ambientais cada vez mais expressivos, à cidade.

Em virtude das pressões exercidas sobre o ambiente natural, é crescente a necessidade da realização de monitoramento das alterações na qualidade ambiental (RODRIGUES; CASTRO, 2008). Atendendo a essa necessidade foi desenvolvido o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), que tem como objetivo a análise qualitativa do meio. A utilização do PAR oferece a oportunidade de monitoramento ambiental das bacias hidrográficas, principalmente relacionados aos impactos antrópicos sobre os recursos hídricos de uma região (CALLISTO *et al.*, 2002).

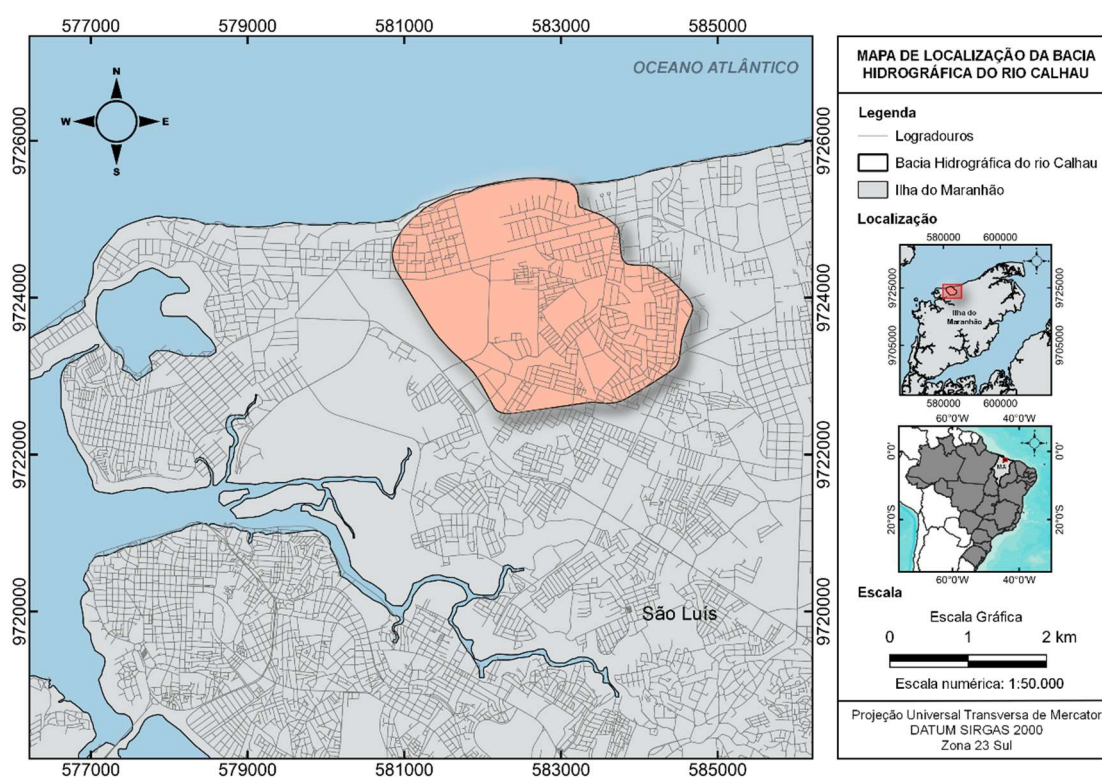
Assim, diante da necessidade de caracterização das alterações ambientais que vem ocorrendo do município de São Luís, o presente trabalho objetivou realizar uma avaliação ambiental integrada na bacia do rio Calhau, como forma de caracterizar o status atual de degradação ambiental e gerar subsídios para o planejamento e gestão ambiental deste território.

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a bacia hidrográfica costeira do rio Calhau, que se encontra situada na porção norte da Ilha do Maranhão, na região costeira e urbana do município de São Luís, capital do Estado do Maranhão. O rio Calhau, principal recurso hídrico da bacia, deságua na praia de São Marcos, no oceano atlântico (Figura 1).

Figura 1: Mapa de Localização da Bacia hidrográfica do rio Calhau.



Fonte: Autoria própria.

A bacia do rio Calhau possui a maior área de drenagem dentre as outras bacias litorâneas da ilha (COELHO, 2010), se dividindo amplamente na região entre os bairros do Calhau e Planalto Vinhais II.

De acordo com Araújo e Rangel (2012), o clima da região em que a bacia está inserida é equatorial quente-úmido, tendo predominância de ventos NE com uma velocidade média de 6m/s. A temperatura apresenta médias de 28° C e com uma média pluviométrica de 2900 mm/ano. Caracteriza-

se pela ocorrência de duas estações bem definidas, sendo elas: chuvosa, nos meses de janeiro a julho e estiagem, nos meses de agosto a dezembro. A vegetação é composta por florestas secundárias e regiões de matas baixas com intrusões de babaçu. Apresenta também áreas de cerrados e formações pioneiras, além de buritizais e juçarais compondo a mata ciliar (REBÊLO *et al.*, 1999). Na região litorânea, nota-se a presença de dunas (consolidadas e transversais), recobertas pela vegetação característica, além da presença de vegetação de mangue nas proximidades das desembocaduras dos rios (MASULLO, 2016).

A ilha de São Luís encontra-se localizada no centro da planície flúvio-marinha do Golfão Maranhense. A geologia local é formada por rochas sedimentares da Formação Itapecuru (Cretáceo), Barreiras (Mesomioceno) e Açuí (Pleistoceno), recobertas por uma camada ferruginosa próxima a superfície. O relevo da região apresenta baixas altitudes, com grandes extensões de manguezal entre as cotas de 0 e 5 m, suaves formações colinosas e tabuleiros esculpidos nos sedimentos da Formação Barreiras e Itapecuru, apresentando cota máxima de 60 m (PEREIRA; ZAINE, 2007).

MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CALHAU

Para caracterização morfométrica da bacia utilizou-se metodologia de Soares *et al.*, (2016), conforme procedimentos apresentados a seguir:

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi derivado da imagem SRTM, obtida pelo projeto Topodata (www.dsr.inpe.br/topodata) com resolução espacial de 30 metros, que emprega método de interpolação especificamente projetado para criar modelos digitais do terreno hidrológicamente corretos. As características morfométricas foram mensuradas com base nos estudos de Horton (1945), Smith (1950), Müller (1953), Schumm (1956; 1963), Strahler (1957; 1958), Christofolletti (1980) e Lima (1969).

Todas as informações cartográficas foram preparadas em ambiente de geoprocessamento, com geração de um banco de dados digital no software QGIS versão 3.10.9, na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 23S e Datum SIRGAS 2000, com implementação de produtos de sensoriamento remoto e mapas temáticos produzidos.

MÉTODOS E PROCESSAMENTO DOS DADOS PARA USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

De acordo com Rudorff *et al.*, (2007) a utilização de imagens de satélite através técnicas de sensoriamento remoto vem se tornando estratégias que auxiliam cada vez mais no estudo e compreensão da dinâmica de interações ecossistêmicas dos mais diversos ambientes.

No presente trabalho, a primeira etapa realizada foi a aquisição dos dados cartográficos em formato digital pelo Google Earth Pro e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que foram utilizados para levantamento dos dados de base para vetorização do uso e cobertura do solo da região estudada e criação dos mapas temáticos.

As análises de uso e cobertura da terra foram feitas para os anos de 2007, 2015 e 2020, utilizando o software QGIS versão 3.10.9. Iniciou-se então o processo de vetorização manual das classes de usos e cobertura da terra, conforme Fitz (2008). Na forma manual é estabelecido sobre a imagem os polígonos que representam regiões homogêneas. Para o mapeamento, foram utilizadas as classes de uso e cobertura: área construída, vegetação densa, vegetação rasteira e solo exposto.

APLICAÇÃO DO PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA (PAR)

O diagnóstico foi feito com base no que foi proposto por Callisto *et al.*, (2002) no Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats, adaptado dos protocolos desenvolvidos pela Agência de Proteção Ambiental de Ohio, EUA (EPA, 1987), onde analisa o nível de degradação nas bacias de acordo com os impactos antrópicos, nos quais são feitas considerações como tipos de ocupação das margens, erosão, vegetação nas margens, odor nas águas e sedimento, dentre outros, e Hannaford *et al.*, (1997), que avalia o estado e nível de conservação das condições naturais do ambiente estudado com base em mais de 10 parâmetros.

A metodologia organiza-se com base em dois quadros com os parâmetros organizados, de forma que o primeiro é pontuado de 0 a 4 e o segundo de 0 a 5. Cada valor é atribuído de acordo com as condições observadas nos ambientes. O resultado final se dá pelo somatório de cada parâmetro

independentemente, com intuito de identificar as condições ecológicas observadas. Os pontos que se apresentam com valores entre 0 e 40 são caracterizados como “impactado”, com valores entre 40 e 60, como “alterado”, e os pontos com valores acima de 61, como ambientes “naturais”.

A seleção dos pontos para a aplicação do PAR foi realizada através de visitas a área e a partir de uma análise prévia utilizando o Google Earth Pro. Foi considerado a distribuição da rede hidrográfica, assim como os melhores locais para acesso. Foram avaliados 3 pontos, marcando o alto (2°30'13.10" S 44°15'30.60" O), médio (2°29'30.25" S 44°15'33.23" O) e baixo (2°29'5.32" S 44°15'49.89" O) curso da bacia hidrográfica. A aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats foi realizada durante duas visitas a região de estudo, ocorridas nos dias 11 de maio e 15 de junho de 2021.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

MORFOMETRIA

A bacia do rio Calhau é considerada como uma unidade de pequeno porte, possui área de 7,81 km², com densidade hidrográfica mensurada de 7,302 canais/km², apontando para uma alta capacidade hídrica e competência para formar novos canais fluviais de acordo com a classificação de Lollo (1995).

O padrão altimétrico variou entre 4 e 55 m, com áreas de maior nível topográfico localizadas nas regiões das nascentes e próximos aos divisores de água, enquanto que as zonas mais baixas ocorrem nas proximidades do rio principal da bacia e próximo da foz do rio (Tabela 1).

Tabela 1: Características morfométricas das bacias hidrográficas dos rios Calhau.

Características	Calhau
Área total	7,81 km ²
Perímetro	10,80 km
Perímetro	10800,73 m
Comprimento do canal principal	3639,07 m
Comprimento total dos cursos d'água	23,26 km
Número de cursos d'água	57,00 unid
Altitude máxima	49,00 m
Altitude mínima	4,00 m
Altitude média	22,42 m
Amplitude Altimétrica	0,05 km
Amplitude Altimétrica	45,00 m

Comprimento do eixo da bacia	3,42 km
Altitude máxima do canal	39,00 m
Altitude mínima do canal	4,00 m
Distância vetorial do canal principal	2,99 km
Ordem da Drenagem	4ª

Fonte: Autoria própria.

As características definidas de acordo com os parâmetros de coeficiente de compacidade (K_c), fator de forma (K_f) e índice de circularidade (I_c), caracterizam a bacia principalmente quanto à forma e o tempo de permanência da água dentro do território (Tabela 2). A bacia se mostram favoráveis a enchentes, apresenta K_c de 1,09, K_f médio de 0,67 e I_c de 0,84, o que caracteriza a bacia como mais circular devido à proximidade com a unidade, podendo então possui maior tempo de permanência de água no deflúvio e alta tendência a enchentes. A razão de alongamento (R_e), com base no proposto por Schumm (1956) classifica a bacia do Calhau como circular.

Cardoso (2006) argumenta que bacias circulares possuem maior chance de ter concentração de água nos tributários e rio principal, devido as maiores chances de ocorrência de precipitação em toda a extensão da bacia, simultaneamente.

A razão de relevo relativo (R_{rl}) é baixa, com valor de 0,0042 sugerido que o escoamento superficial na bacia é mais lento devido o ambiente se encontrar em uma região com relevo suave. O baixo índice de rugosidade (I_r) indica que os resultados são reflexo da baixa amplitude altimétrica, ocorrentes devido à baixa declividade e pequena dimensão da bacia.

O índice de sinuosidade (I_s), de acordo com Alves e Castro (2003), é influenciado pela estruturação geológica, declividade dos canais, compartimentação litológica e carga de sedimentos existentes. Com base nos valores obtidos, as bacias apresentam canais que tendem a serem retilíneos, possuindo valores mais próximos da unidade, com isso podendo acarretar em um maior transporte de sedimentos.

Villela e Mattos (1995), determinam que valores de D_d acima de 3,5 caracterizam bacias hidrográficas excepcionalmente bem drenadas. A bacia do rio do Calhau apresentou drenagem menos

desenvolvida com valor de 2,98. Em relação a T a bacia está classificada como de tipologia média, conforme classificação proposta por Smith (1950). Os dados seguem detalhados na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros morfométricos da bacia do rio Calhau.

Parâmetro	Calhau
Padrão de drenagem	Dendrítica
Relação de relevo (<i>Rr</i>)	0,012
Razão de Relevo Relativo (<i>RrA</i>)	0,0042
Índice de rugosidade (<i>Ir</i>)	0,134
Coefficiente de compacidade (<i>Kc</i>)	1,09
Fator de forma (<i>KA</i>)	0,67
Índice de circularidade (<i>Ic</i>)	0,84
Densidade de Drenagem (<i>Dd</i>) (km/km²)	2,98
Densidade hidrográfica (<i>Dh</i>) (canais/km²)	7,302
Razão de Textura (<i>T</i>) (Nt/km)	5,278
Índice de sinuosidade (<i>Is</i>)	1,217
Coefficiente de manutenção (<i>Cm</i>) (m²/m)	335,6
Gradiente de canais (<i>Gc</i>) (%)	1,07
Razão de alongamento (<i>Re</i>)	0,92

Fonte: Aatoria própria.

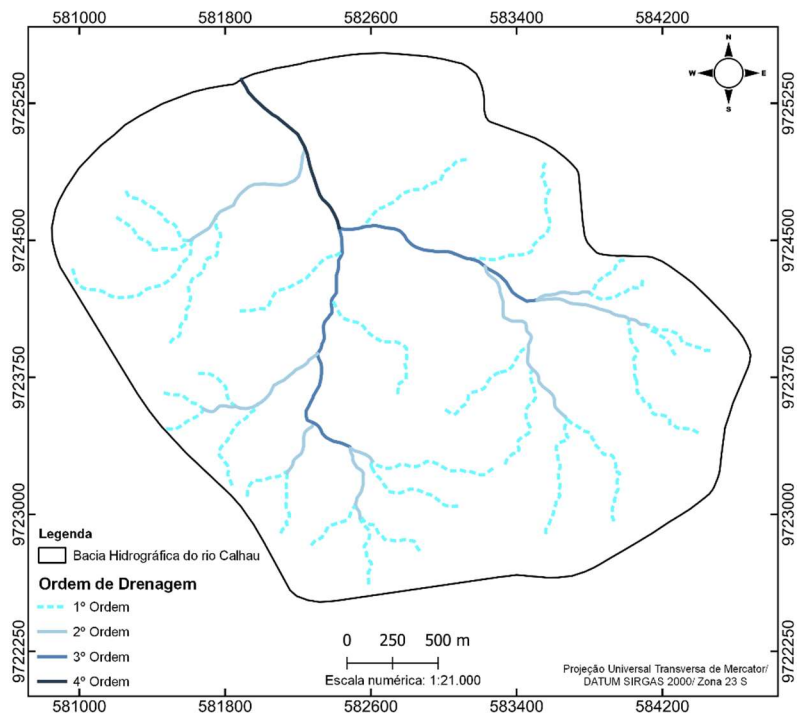
O gradiente de canais (*Gc*), determina o nível de declividade dos cursos d'água (Horton, 1945), o valor encontrado foi de 1,07%, sendo um reflexo do baixo padrão altimétrico da área.

Conforme os valores de *Dd*, *Dh* e *Gc*, foi possível determinar que o escoamento dos canais fluviais apresenta boa capacidade de transporte e de erosão, porém, devido à baixa declividade da área de estudo, o processo de erosão laminar pode ser atenuado nas áreas de drenagem, uma vez que o escoamento se tornará mais lento. Os parâmetros ainda caracterizam a região como possuindo grande potencial para infiltração, tanto em consequência do relevo suave, como por influência da composição litológica, com predominância de rochas sedimentares (DAS; PARDESHI, 2018). O coeficiente de manutenção (*Cm*) indica, para o rio Calhau necessita de uma área mínima de 335,6 m²/m para a manutenção de 1 metro do canal de escoamento da bacia.

O padrão de drenagem, de acordo com o predefinido por Christofolletti (1980), é caracterizado como dendrítico (Figura 2), onde apresenta a espacialização dos canais semelhante a uma árvore. O

mesmo é característico de regiões que possuem como composição litológica rochas sedimentares ou estruturas sedimentares horizontais (MANOEL; ROCHA, 2017; FLORES *et al.*, 2018).

Figura 2: Mapa da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Calhau.



Fonte: Autoria própria.

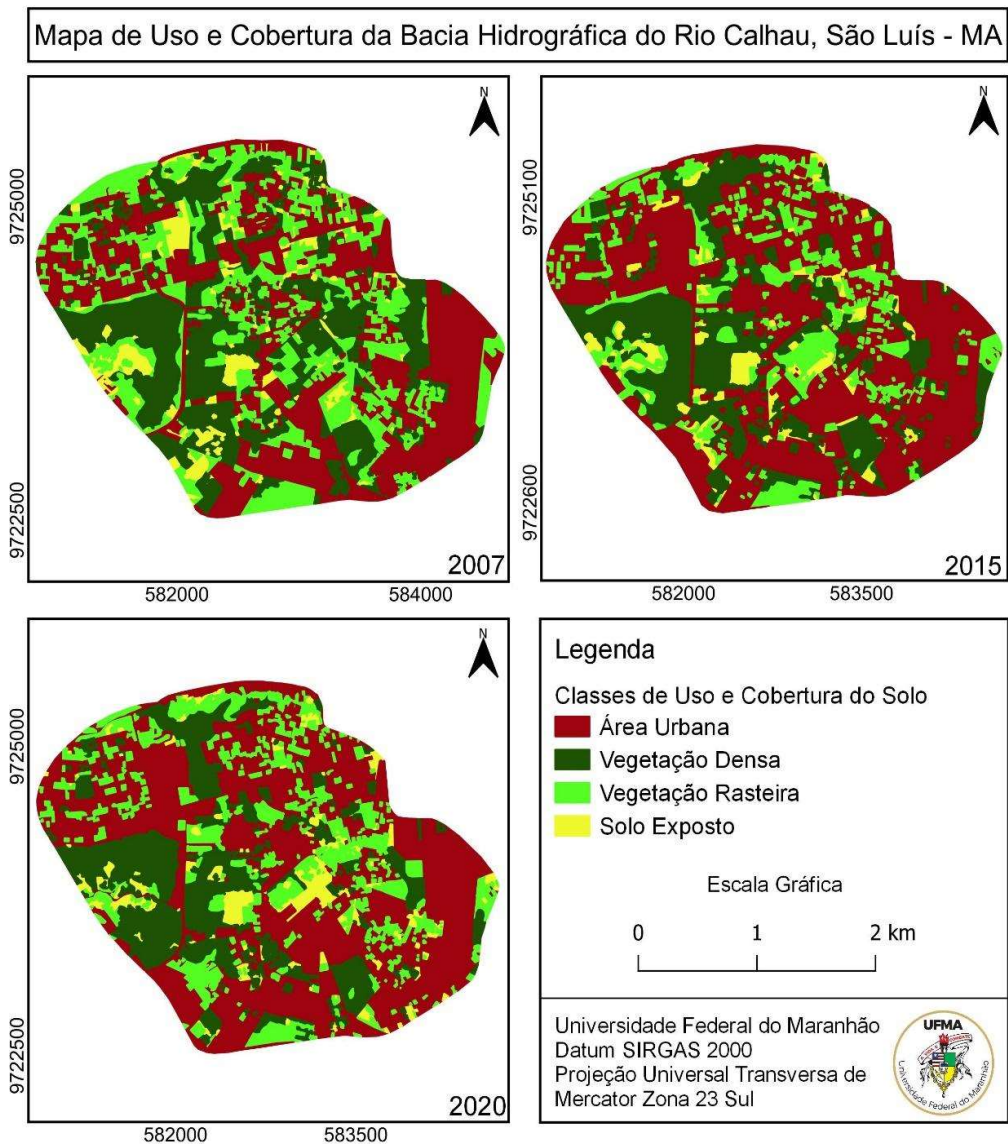
Em relação ao ordenamento hidrográfico, hierarquização dos cursos d'água, foi utilizada a metodologia de Horton (1945), modificada por Strahler (1964), na qual são determinados os menores tributários, aqueles que não recebem afluentes, são numerados como de 1ª ordem. A 2ª ordem dos tributários se forma com a junção de dois afluentes de 1ª ordem, e assim sucessivamente. O canal principal, o qual a recebe a maior parte da água dos tributários é marcado como o curso de ordem mais alta em qualquer bacia de drenagem (MAHALA, 2020).

A bacia apresenta ordem hierárquica de 4ª ordem, com 28 corpos hídricos de 1º ordem, 8 de 2º ordem, 2 de 3º ordem e 1 de 4º ordem. O resultado aponta para a necessidade de um manejo efetivo dos sistemas de drenagem, especialmente os de 1º e 2º ordem hierárquica, pois na maioria dos casos, constituírem rios de regime fluvial temporário ou intermitente. Considerando a pequena área da bacia hidrográfica, o ordenamento igual ou inferior a 4 é comum.

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CALHAU

Na bacia do rio Calhau (Figura 3), durante o ano de 2007, a porcentagem referente a vegetação rasteira é a mais alta do período, sofrendo uma diminuição de 14,63% até o ano de 2020, enquanto que, os valores referentes a área construída dentro do território da bacia, sofrem um aumento de 17,36% durante o mesmo período de tempo analisado. Ocorre também uma diminuição dos índices de solo exposto, onde no ano de 2007 totalizavam uma área de 0,56 km², sendo 7,20% do território total da bacia, esse maior número pode estar associado a áreas de terraplanagem para a construção civil. Posteriormente, observa-se o aumento da urbanização na região e a ocupação desses espaços. Vale ressaltar, que a área de estudo em questão, é um importante ponto turístico e habitacional da cidade, o que favorece a preferência pela região. O mesmo ainda possui a presença muitos bares e restaurantes, isso somado ao crescimento vertical urbano, favorece o espalhamento da área construída na região.

Figura 3: Mapa de uso e cobertura da bacia hidrográfica do rio Calhau.



Fonte: Autoria própria.

As classes de vegetação densa e rasteira, ocupam uma área de 4,35 km² do domínio da bacia, que corresponde a 55,70% da cobertura no ano de 2007. Em 2015, houve um decréscimo nos valores referentes a área da vegetação, onde a mesma ocupou apenas 3,24 km² (41,49%) do território da bacia, sugerindo uma crescente ocupação antrópica nos bairros e consequente supressão da vegetação. No ano de 2020, após todas as modificações causadas na paisagem durante o período de análise, a área de vegetação passou a ocupar 3,07 km², o que equivale a 39,31% da área total, enfim demonstrando a falta de planejamento e organização territorial dentro da bacia, impactando na conservação da vegetação, assim como nos aspectos da drenagem e na qualidade dos afluentes existentes.

As áreas de vegetação densa tiveram um aumento nas proximidades do Parque Estadual do Sítio do Rangedor, que é atualmente uma Unidade de Proteção Integral, conforme Lei Federal nº 9.985/2000, tendo como objetivo a conservação ecológica da fauna e flora local, assim como recreação, turismo e atividades voltadas para educação ambiental. Atribui-se esse desenvolvimento à proximidade com o Parque, o que sugere ser uma área de maior fiscalização e conservação quando relacionado a impactos ambientais.

A Unidade de Conservação, antes de se tornar Parque Estadual, era denominada Estação Ecológica, quando foi estabelecido o Decreto Estadual nº 21.797, em 15 de dezembro de 2005. A partir do ano de 2016, por meio da Lei Estadual nº 10.455, a categoria da Unidade de Conservação foi alterada de Estação Ecológica do Sítio do Rangedor para Parque Estadual do Sítio do Rangedor (SOARES; MARINHO, 2018).

A falta de planejamento e gestão urbana é um dos principais motivos para o mau uso/ aproveitamento e conservação do espaço. Durante o ano de 2007, o percentual de ocupação urbana no território da bacia era de 37,12% (2,90km²), apresentando um crescimento considerável durante os anos seguintes, possuindo até o ano de 2020 um percentual de 54,48% do território, um aumento de 17,36%.

AVALIAÇÃO AMBIENTAL

A avaliação de um ambiente, caracterizando as principais zonas de impacto e pressões, promove uma discussão acerca das forças e fragilidades presentes, possibilitando a criação de estratégias que auxiliem no manejo adequado para recuperação e proteção do meio natural. Com o Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats, foi possível realizar uma análise integral das condições físicas dos trechos identificando as principais intervenções. O aumento da urbanização já evidenciado, é o principal causador das mudanças que influenciaram nos parâmetros avaliados nas bacias.

Todos os pontos foram avaliados como impactados, com exceção de localizado na foz do rio Calhau, contudo, os mesmos foram caracterizados como ambiente alterado (Tabela 3).

Tabela 3: Resultado da aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida da Diversidade de Habitats para a bacia hidrográfica do rio Calhau.

Parâmetros	Bacia do Rio Calhau		
	Alto Curso	Médio Curso	Baixo Curso
1	4	0	4
2	2	0	2
3	0	0	2
4	4	4	2
5	2	4	4
6	0	2	2
7	0	2	0
8	2	4	4
9	0	2	2
10	2	2	2
11	2	2	3
12	0	2	0
13	0	0	2
14	0	0	0
15	0	0	0
16	0	0	3
17	3	0	2
18	5	5	5
19	3	2	5
20	2	0	3
21	2	2	2
22	0	2	5
Pontuação	33	35	54
Avaliação	Impactado	Impactado	Alterado

Fonte: Autoria própria.

A pouca diferença na avaliação se dá devido as condições atuantes sobre os ecossistemas serem semelhantes para toda a região de estudo. Ademais, vale ressaltar, que o tempo em ambos os dias de visitação se mostrava nublado, e o período entre a aplicação do PAR se deu durante os meses da estação chuvosa, oferecendo assim pouca interferência para os parâmetros analisados.

No que tange a qualidade do recurso hídrico, a descarga de esgoto *in natura* na região, é a principal forma de contaminação e poluição da água. O impacto produzido devido o despejo de efluentes é cada vez mais visível nos rios e pequenos tributários, sendo causadas principalmente por tubulações que se encontram sem manutenção e em constante vazamento. Em virtude disso, os rios se tornam reservatório para efluentes não tratados e um ambiente propício para vetores de doenças.

No município de São Luís, de acordo com o estudo de Silva (2020), o sistema de esgotamento sanitário está dividido em 5 bacias, sendo elas: Anil, Bacanga, Paciência, Oceânica (onde se enquadram as bacias dos rios Calhau, Pimenta e Claro) e Jeniparana. As mesmas sofrendo com constante descarga de esgoto, dentre outros usos que constantemente tem degradado a qualidade do ambiente (Figura 4).

Figura 4: Fotos de diferentes usos na bacia do rio Calhau. A: Vista aérea do parque estadual do sítio do rangedor. B: Descarte irregular de lixo no alto curso do rio e C: estrutura de enrocamento no médio curso do rio.



Fonte: Autoria própria.

Uma condição que se mostrou constante em todos os trechos avaliados, é a oleosidade da água e do solo, atribuída à carga de esgoto doméstico lançado in natura na bacia. Segundo Faria e Serra (2020), a presença de óleos e graxas, oriundos de produtos como o sabão, gorduras e óleos vegetais, pode acarretar em impactos diretos ao ambiente, influenciando nos processos biológicos necessários para a manutenção do ecossistema. Isso acontece porque eles atuam como uma película sobre o rio, dificultando a entrada de luz e, conseqüentemente, a oxigenação da água. O desequilíbrio causado, pode influenciar na eutrofização do ambiente aquático e impedir existência de animais e vegetais na região, além da utilização do recurso pela população.

O descarte inadequado de lixo também é um impacto comum encontrado ao longo da bacia. Na prática o despejo de resíduos sólidos é comum nas grandes cidades e acaba por chegar de forma direta ou indireta aos rios. Portanto, o manejo adequado para a manutenção dos resíduos sólidos é de grande importância, sendo essencial para uma melhor qualidade ambiental e social da região. De acordo com o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Região Metropolitana da Grande São Luís (PGIRS/RMGSL), em 2019 a capital apresentava uma produção diária de resíduos sólidos de 901,44 t, possuindo, com base nos dados de coleta, um déficit de 111,44 t/dia, o que significa que 12% do lixo

produzido não recebia uma destinação adequada. Todos os pontos de avaliação apresentaram presença de lixo, com predominância de plásticos.

Foi possível observar áreas com erosão, marcadas por estruturas de enrocamento, como medidas para prevenir os deslizamentos das margens. O crescimento urbano desordenado favorece esses processos principalmente em decorrência da retirada da vegetação para limpeza em regiões próximas a moradias, ou para construções nos terrenos. A retirada da vegetação e a erosão das margens do canal, favorecem o processo de assoreamento do leito do rio, causado pelo acúmulo de sedimentos no canal de drenagem, e pode provocar, em períodos chuvosos, alagamentos, enchentes e inundações, levando prejuízos para a região.

Em relação à extensão e qualidade da vegetação ciliar, foi observado muitas modificações nas proximidades do canal de drenagem das bacias, principalmente no alto e médio curso, influenciada pela evolução da malha urbana. Mesmo em regiões onde ainda era possível encontrar resquícios de uma vegetação mais densa e conservada, a mesma era marcada pela presença de espécies invasoras, comuns na região.

Pinheiro (2019), mapeou as diferentes espécies que adentraram os ambientes no município de São Luís. Dentre as observadas na área do presente estudo, tem-se *Calotropis procera* (Saco de Velho), *Cuscuta racemosa* (Fios de Ouro), *Leucaena leucocephala* (Leucena) e *Terminalia catappa* (Amendoeira), sendo essa última a mais encontrada nos pontos de avaliação do PAR, estando presente na extensão da mata ciliar dos pequenos cursos d'água. Ainda segundo o autor, a presença de espécies invasoras evidencia a descaracterização dos ecossistemas, podendo causar grandes danos a vegetação local devido seu potencial para modificação de ambientes naturais.

Cabe destacar ainda, que modificações na vegetação representam modificações sobre a física da bacia hidrográfica, mas também aos sistemas biológicos, que podem afetar as comunidades de forma direta e indireta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise integrada dos índices morfométricos utilizados para determinar as condições dos habitats da bacia hidrográfica mostra que quanto a forma, a bacia do rio Calhau apresenta-se circular, com maior propensão a ocorrência de enchentes, influenciado pelo relevo mais suave da região, capacidade de drenagem com canais de retilíneos com boa capacidade de fluxo e potencial elevado de transporte de sedimentos, alta capacidade de infiltração associado ao baixo padrão altimétrico e padrão de drenagem dendrítico, com todas as características convergindo para ocorrência de processos de assoreamento.

Os padrões espaciais e temporais de uso e cobertura da terra mostram o aumento do contingente urbano, com declínio de áreas vegetadas. As duas situações convergem para intensificação de degradação da bacia que já não apresenta potencial natural. Além disso foi observado que problemas típicos de processos urbanos são encontrados ao longo da bacia, como despejo de rejeitos e resíduos de forma inadequada.

Somado aos demais problemas reportados, a falta de saneamento básico converge para problemas de saúde pública e para a degradação de mananciais e outros sistemas encontrados na bacia.

Cabe destacar que a falta ferramentas e estratégias de monitoramento dos órgãos governamentais confluem para o aumento da apropriação e usos inadequados das terras da bacia hidrográfica do rio Calhau, o que tende a médio e longo prazo acentuar os processos de degradação, levando a cenários irreversíveis de degradação ambiental.

Assim, observa-se a necessidade de atenção pelos gestores públicos quanto a execução de estratégias de gestão territorial, especialmente com ações para proteção das nascentes e dos pequenos córregos, assim como para monitoramento e controle dos usos das terras da bacia hidrográfica.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. M. D. P.; CASTRO, P. D. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, p. 117-124, 2003.

ARAÚJO, J. P. M.; ALBUQUERQUE, E. L. S. Expansão urbana e seus impactos na bacia hidrográfica nos residenciais Torqueto Neto II, III e IV em Teresina, Piauí. **Estudos Geográficos: Revista eletrônica de geografia**, v. 20, n. 1, p. 22-35, 2022.

- ARAÚJO, R. R.; RANGEL, M. E. S. Crescimento urbano e variações térmicas em São Luís – MA. **Revista Geonorte**, v. 3, p. 308-318, 2012.
- BENINI, R. M.; MEDIONDO, E. M. Urbanização e impactos no ciclo hidrológico na bacia de mineirinho. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 211-222, 2015.
- BOGALE, A. Morphometric analysis of a drainage basin using geographical information system in Gilgel Abay watershed, Lake Tana Basin, upper Blue Nile Basin, Ethiopia. **Applied Water Science**, v. 11, p. 1-7, 2021.
- CALLISTO, M.; FERREIRA, W.; MORENO, P.; GOULART, M. D. C.; PETRUCIO, M. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 14, p. 91-98, 2002.
- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista árvore**, v. 30, p. 241-248, 2006.
- CARVALHO, A. T. F. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: Discussão sobre os impactos da produção social na Gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 42, p. 140-161, 2020.
- CARVALHO, A. T. F.; GIRÃO, O. S.; CABRAL, J. J. S. P. Efeitos do revestimento de canal e impermeabilização do solo à dinâmica de inundação do Rio Arrombados – PE. **Revista Geociências**, v. 36, p. 76-88, 2017.
- CASTRO, S. B.; CARVALHO, T. M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo – GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia plena**, v. 5, p. 1-7, 2009.
- CHISTOFOLETTI, A. 1980. **Geomorfologia**. Edgard Blücher 2 ed, p. 1-188.
- COELHO, A. G. S. Para que serve a legislação ambiental: um estudo de caso da Estação Ecológica do Rangedor na cidade de São Luís - MA. **Encontro Nacional da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Ambiente e Sociedade IV**, p. 1-17, 2010.
- DAS, S.; PARDESHI, S. D. Morphometric analysis of Vaitarna and Ulhas river basins, Maharashtra, India: using geospatial techniques. **Applied Water Science**, v. 8, p. 1-11, 2018.
- EPA - Environmental Protection Agency. Biological criteria for the protection of aquatic life. Columbus: **Division of Water Quality Monitoring and Assessment**. Ohio. 1987.
- FARIA, A. K. C. A.; SERRA, J. C. V. Gerenciamento de óleo residual-Proposta de intervenção para a cidade de Palmas - TO. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v. 17, p. 17-24, 2020.
- FITZ, P. R. 2008. Geoprocessamento sem complicação. São Paulo: **Oficina de Textos**, p. 19-29.
- FLORES, M.; FARIA, M. P. G.; COELHO, P. A.; BOM, T. F.; BRUCH, A. F.; CIROLINI, A. Mapeamento dos padrões de drenagem e avaliação morfométrica da sub-bacia hidrográfica do Arroio João Dias. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 10, 2018.
- GIRÃO, O. S.; CORRÊA, A. C. B. Progressos nos estudos de Geomorfologia fluvial urbana ao final do século XX. **Geo UERJ**, v. 26, p. 245-269, 2015.
- GONZAGA, W. J. D.; PEREIRA, C. C. Delimitação da sub-bacia do rio pimenta localizada no município de São Luís, Maranhão. **Congresso ABES – FENASAM IV**. 2017.
- HANNAFORD, M. J.; BARBOUR, M.T.; RESH, V. H. Training reduces observer variability in visual-based assessments of stream habitat. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 16, p. 853-860, 1997.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, p. 275-370, 1945.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística 2000. **Estimativa de população**. São Luís.

JUNIOR, R.V.; VARANDAS, S. G. P.; FERNANDES, L. S.; PACHECO, F. A. L. Environmental land use conflicts: a threat to soil conservation. **Land use policy**, v. 41, p. 172-185, 2014.

LIMA, W. P. 1969. Manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba: **ESALQ**.

LOLLO, J. A. O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadricula de Campinas. **Tese** (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

MAHALA, A. The significance of morphometric analysis to understand the hydrological and morphological characteristics in two different morpho-climatic settings. **Applied Water Science**, v. 10, p. 1-16, 2020.

MANOEL, J. L.; ROCHA, P. C. Levantamento e análise comparativa dos padrões de drenagem das bacias hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 64-74, 2017.

MASULLO, Y. A. G. Evolução do processo de urbanização e alterações ambientais na praia de São Marcos, São Luís-MA. **Revista Espaço e Geografia**, v. 19, p. 561-595, 2016.

MULLER, V. C. A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area. New York: Virginia and Tennessee. **Dept. of Geology**, v. 3, p. 1-30, 1953.

PEREIRA, E. D.; ZAINÉ, J. E. Mapa geológico-geotécnico da bacia do rio Bacanga - São Luís (MA). **Geociências**, v. 26, p. 45-54, 2007.

PINHEIRO, C. U. B.; LINHARES, J. F. P. Levantamento e mapeamento da ocorrência, identificação de espécies e avaliação de ambientes infestados por plantas invasoras na ilha de São Luís, Maranhão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, p. 1484-1508, 2019.

REBÊLO, J. M. M.; ARAÚJO, J. A. C. D.; CARVALHO, M. L.; BARROS, V. L. L.; SILVA, F. S.; OLIVEIRA, S. T. D. Flebotomos (Diptera, Phlebotominae) da Ilha de São Luis, zona do Golfão Maranhense, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 32, p. 247-253, 1999.

RODRIGUES, A. S. L.; CASTRO, P. T. A. Protocolos de avaliação rápida: instrumentos complementares no monitoramento dos recursos hídricos. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, p. 161-170, 2008.

RUDORFF, C. M.; NOVO, E. M. L. M.; GALVÃO, L.S.; PEREIRA FILHO, W. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 37, p. 269-280, 2007.

SANTOS, D. A. R.; MORAIS, F. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Lago Verde como subsídio à compartimentação do relevo da região de Lagoa da Confusão –TO. **Revista Geonorte**, v. 3, p. 617-629, 2012.

SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 826-834, 2010.

SCHUMM S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, p. 597-646, 1956.

SCHUMM, S. A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. **Geological Society of America Bulletin**, v. 74, p. 1089-1100, 1963.

SILVA, D. D. S. Saneamento básico: um estudo na Região Metropolitana da Grande São Luís. **Revista Monografias Ambientais**, v. 19, p. 1-11, 2020.

SMITH, K. G. Standards for grading textures of erosional topography. **American Journal of Science** v. 248, p. 655-668, 1950.

SOARES, L. S. V.; MARINHO, R. C. O. As modificações de tipologia de unidade de conservação de proteção integral: uma análise do caso “Rangedor” em São Luís (MA) *Revista Ceuma Perspectivas*, v. 31, p. 27-33, 2018.

SOARES, L. S.; LOPES, W. G. R.; CASTRO, A. C. L.; ARAUJO, G. M. C. Análise morfométrica e priorização das bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. **Revista do departamento de geografia**, v. 31, p. 82-100, 2016.

STIPP, N. A. F.; CAMPOS, R. A.; CAVIGLIONE, J. H. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Taquara – Uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. **Portal de Cartografia das Geociências**, v. 3, p. 105-124, 2010.

STRAHLER A. N. Part II - Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. **Applied Hydrology**, p. 4-39, 1964.

STRAHLER, A. N. Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. Bulletin **Geological Society America**, v. 69, p. 279-300, 1958.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transaction of American Geophysical Union**, v. 38, p. 913-20, 1957.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. 1958. Hidrologia aplicada. **Editora McGraw-Hill do Brasil**.