Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 91-101, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981-4089

CARTOGRAFIA E ANÁLISE DAS BOÇOROCAS NO PERÍMETRO URBANO DE BURITICUPU-MARANHÃO

CARTOGRAPHY AND ANALYSIS OF GULLIES IN URBAN TOWN BURITICUPU-MARANHAO

ALYSON BUENO FRANCISCO
UNESP – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente
alysonbueno@gmail.com

Resumo: A região oeste do Estado do Maranhão apresenta crescimento populacional e expansão das áreas urbanas, com riscos de desenvolvimento de boçorocas. A cidade de Buriticupu, localizada a cerca de 430 km de São Luís, capital do estado, e com população de 73 mil habitantes, teve eventos alarmantes no verão de 2023 com a ativação dessas grandes formas erosivas. Este artigo visa apresentar uma estimativa de produção de sedimentos gerados por 10 boçorocas nas vertentes dos rios Buritizinho e Inhuma. Para realizar a estimativa, foram mapeadas as boçorocas por vetorização das imagens de sensoriamento remoto contidas no Google Earth Pro e importação dos dados vetorizados em projeto do sistema de informação geográfica QGIS, onde foram extraídas as áreas. O volume das boçorocas foi estimado pela profundidade média entre 3 parcelas de áreas de cada boçoroca. As 10 boçorocas geraram 1,8 milhão de metros cúbicos de sedimentos, sendo 2,7 milhões de toneladas de sedimentos. A estimativa de produção de sedimentos indica problema de assoreamento de cursos d'água, impactando na qualidade da água e marcas na paisagem com áreas degradadas.
Palavras-chave: Erosão; Mapeamento; Assoreamento; Topografia

Abstract: The western region of the State of Maranhão presents population growth and expansion of urban areas, with risks of development of gullies. The city of Buriticupu, located about 430 km from São Luís and with a population of 73,000 inhabitants, had alarming events in the summer of 2023 with the activation of these large erosive forms. This article aims to present an estimate of sediment production generated by 10 gullies in the slopes of the Buritizinho and Inhuma rivers. To perform the estimate, the gullies were mapped by vectorization of the remote sensing images contained in Google Earth Pro and import of the vectorized data in a project of the QGIS geographic information system, where the areas were extracted. The volume of the gullies was estimated by the average depth between 3 plots of areas of each gully. The 10 gullies generated 1.8 million cubic meters of sediment, of which 2.7 million tons of sediment. The estimate of sediment production indicates a problem of silting of watercourses, impacting on water quality and marks on the landscape with degraded areas.
Key-words: Erosion; Mapping; Siltation; Topography

Introdução

A erosão de solos é um fenômeno intensificado pelas mudanças na cobertura da terra e concentração dos escoamentos superficiais nas vertentes. Esse fenômeno para ser compreendido, precisa ser quantificado através de estimativas, cuja elaboração de bases cartográficas favorece a análise da distribuição geográfica das formas erosivas lineares. Na área da Geomorfologia, a erosão de solos é classificada em erosão laminar ou linear. As boçorocas são classificadas como grandes formas erosivas do tipo linear.

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 91-101, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981-4089

A erosão de solos produz, no mundo, aproximadamente 1,4 bilhão de toneladas de sedimentos por ano, sendo necessária a elaboração de uma base de dados para estimar essa produção diante do cenário das mudanças climáticas (BORRELLI et al., 2022).

As boçorocas são formas erosivas produzidas pela ação de escoamentos superficiais e subsuperficiais, cuja erosão interna (*piping*) provoca movimentos de massa localizados com perdas de solo. As boçorocas possuem mais de 3 m de profundidade, sendo em algumas regiões tropicais e equatoriais atingem cerca de 20 m de profundidade, cujas maiores profundidades estão nas áreas próximas das cabeceiras. As boçorocas localizadas em áreas periurbanas são preocupantes, devido aos riscos de erosão remontante em períodos de precipitações volumosas (IONITA *et al.*, 2015).

Essas formas erosivas de grande porte, denominadas boçorocas, são passíveis de mapeamento, cujas dimensões de áreas e volumes podem gerar bases de dados em sistemas de informação geográfica para garantir a precisão das informações e elaboração de projetos na escala topográfica (BARRIO *et al.*, 2018). As boçorocas são geradoras potenciais (*hotspots*) de sedimentos nas bacias hidrográficas, principalmente quando se tornam ativas, devida erosão remontante nas proximidades de áreas urbanas. Os sedimentos produzidos pelas boçorocas assoreiam os fundos de vale gerando depósitos tecnogênicos (GOSOLOV; WALLING, 2019).

A forma erosiva de grande porte denominada no Brasil por boçoroca ou voçoroca teve a origem do conceito apresentado por Vieira (1978), cujo termo boçoroca foi utilizado pelas publicações acadêmicas até meados da década de 1980. A mudança para o conceito de voçoroca ocorreu com a publicação de tese apresentada por Di Mauro (1989), cujo fonema com influência da linguagem do interior paulista, passou a utilizar a letra “v”. Os autores posteriores passaram a utilizar a expressão voçoroca devida ideia parcial de atualização, mas a origem do conceito de “boçoroca” foi apresentada por Ab’Sáber (1968) e Furlani (1969).

As boçorocas são comuns em fundos de vale de áreas urbanas com convergência de drenagem de águas pluviais e ausência de sistema de macrodrenagem para direcionar as águas até o curso d’água receptor. Francisco (2017) apresenta o exemplo de boçoroca em cidade de pequeno porte, com desenvolvimento de erosão remontante devida destruição do sistema de macrodrenagem urbana e riscos à infraestrutura.

O Estado do Maranhão possui áreas degradadas por boçorocas pesquisadas em Açailândia (GUERRA *et al.*, 2001) e em São Luís com a aplicação de técnicas de bioengenharia (BEZERRA, 2011). As técnicas de bioengenharia para recuperação das áreas degradadas por

boçorocas utilizaram a fibra do buriti e as habilidades do artesanato da cultura local (SUBEDI *et al.*, 2012).

O risco do desenvolvimento de boçorocas tornou-se alarmante, visto que pessoas vieram a óbito em decorrência do fenômeno (SOUZA, 2023). Apesar de o fenômeno erosivo possuir uma repercussão pelos meios de comunicação, são escassos os estudos acadêmicos para caracterizar, na escala topográfica, as boçorocas do município de Buriticupu.

Neste sentido esta pesquisa visa apresentar uma estimativa de produção de sedimentos através dos dados de área e volume das boçorocas mapeadas no perímetro urbano de Buriticupu, no estado do Maranhão, para destacar o impacto aos recursos hídricos pelo assoreamento induzido pelos sedimentos.

Neste trabalho foram identificadas 10 boçorocas totalizando uma área de 12 hectares. Campos (2019) analisou uma boçoroca, denominada do bairro Santos Dumont, com cerca de 24 mil m²; sendo identificada uma boçoroca com 31,7 mil m² na vertente da margem direita do rio Inhuma.

Procedimentos metodológicos

As metodologias utilizadas foram decorrentes de técnicas de geoprocessamento. O cadastro das boçorocas do perímetro urbano de Buriticupu foi realizado com vetorização no software Google Earth Pro e geração de arquivos KMZ.

No software Google Earth Pro foram vetorizados os cursos d'água e as curvas de nível pelos dados de altitude. Para extração das cotas altimétricas foi realizada um registro em planilha, dos pontos em tabela com coordenadas planas UTM e cotas, pela visualização da imagem de sensoriamento remoto. A partir dos dados das altitudes, com análise em cursor de tela, foram estimadas as declividades e as profundidades das boçorocas. Ao considerar a existência de boçorocas de cabeceiras, de acordo com Alves (2007), as profundidades aumentam de jusante para montante. Logo, as 10 boçorocas foram mensuradas na tela do projeto em 3 áreas, utilizando no cálculo a média de 20 m de profundidade para as áreas das cabeceiras, 15 m de profundidade para a área central do perfil da boçoroca e 8 m de profundidade para as áreas a jusante.

Os arquivos vetoriais em formato KMZ foram importados no sistema de informação geográfica QGIS (versão 3.28), onde as informações foram editadas para geração dos

documentos cartográficos. Os polígonos das áreas das boçorocas, vetorizados no aplicativo Google Earth Pro foram importados para criação das camadas no banco de dados do sistema de informação geográfica QGIS. As camadas contendo os polígonos foram editadas com cores para visualização na carta das boçorocas do perímetro urbano de Buriticupu. No QGIS, os dados contidos nas camadas do projeto foram utilizados para edição de carta das boçorocas em extensão de layout para geração em arquivos PNG, contendo os elementos do documento cartográfico. O procedimento semelhante foi adotado para elaboração da carta contendo a área urbana de Buriticupu, os depósitos tecnogênicos, as boçorocas e as curvas de nível.

No projeto em QGIS, através da ferramenta de informações do polígono da área da boçoroca foi obtida a área, anotada em planilha. Foram anotadas as áreas de 3 parcelas de cada boçoroca: montante, média e jusante; adotando a média de 15 m de profundidade para área montante, 12 m de profundidade para área da parcela média e 10 m de profundidade para área da parcela a jusante. Essas profundidades foram descritas em trabalho apresentado por Campos (2019). A partir das áreas e das profundidades, anotadas em planilha, utilizando o software Libre Calc, foram calculados os volumes das boçorocas.

A estimativa de perda de solo por erosão linear em boçorocas possui como fatores empíricos: volume da boçoroca (profundidade e área) e a densidade do solo que representa o peso do solo em razão do volume. Para estimar a quantidade de sedimentos produzidos a partir do volume gerado pelas boçorocas, foram utilizados os dados de densidade do solo por Campos (2019), pela média de 1,5 g/cm³.

Resultados e discussão

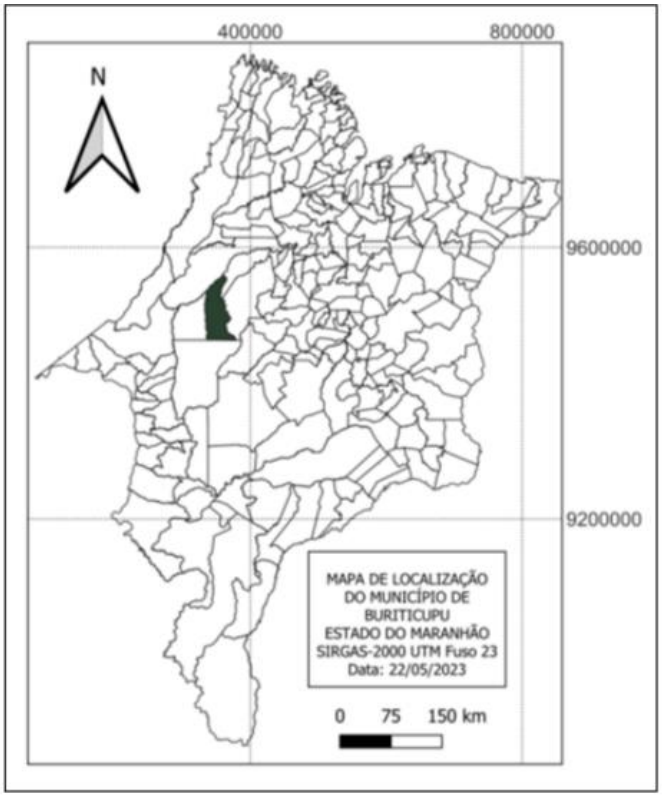
O município de Buriticupu, possuindo 73,6 mil habitantes (2021), está localizado na região oeste do Maranhão, cerca de 400 km da capital estadual, sendo uma área de expansão populacional, com proximidade de cidades com mais de 100 mil habitantes, tais como Imperatriz e Açailândia. Em 2010, a população de Buriticupu era de 65 mil habitantes, com um acréscimo de 12% nos últimos 10 anos (IBGE, 2023).

O mapa da figura 1 apresenta a localização de Buriticupu. A área urbana de Buriticupu está localizada entre os rios Buritizinho e Inhuma, afluentes do rio Buriticupu, na parte noroeste

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 91-101, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981-4089

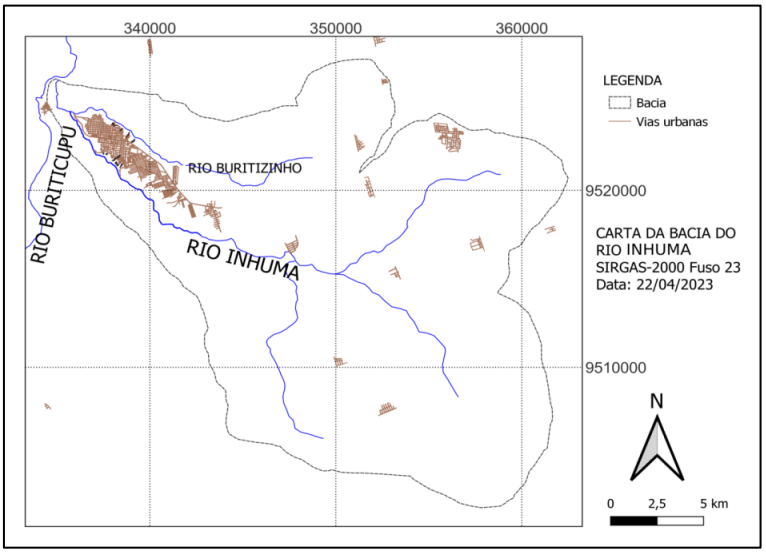
da microbacia hidrográfica, com proximidade da confluência desses cursos d'água, como apresenta a figura 2.

Figura 1: Mapa de Buriticupu no Maranhão



Fonte: Elaboração pelos autores (2024)

Figura 2: Carta da Bacia do Rio Inhuma-MA



Fonte: Elaborado por Francisco, A.B. (2024)

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 91-101, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981-4089

A área urbana de Buriticupu está localizada em colinas entre 2 cursos d'água com cotas altimétricas entre 182 e 120 m, cujos leitos dos rios Buritizinho e Inhuma estão aproximadamente na cota altimétrica de 75 m.

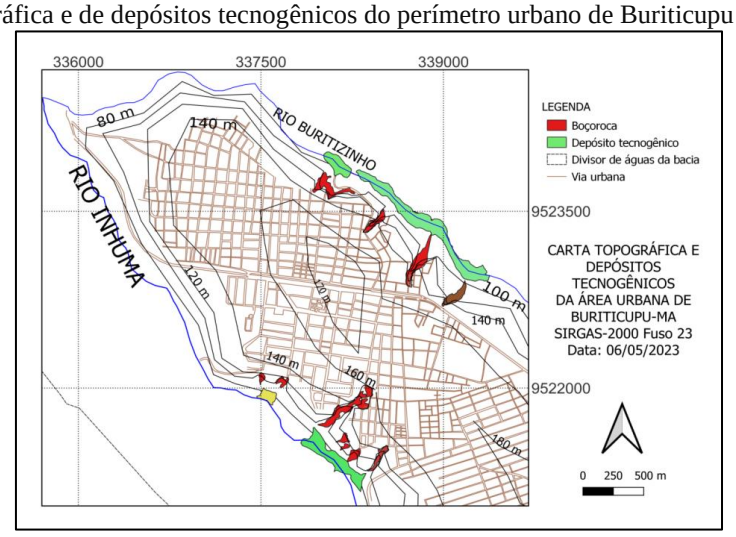
Sobre a litologia, a cidade de Buriticupu está localizada na Formação Itapecuru da Bacia Sedimentar do Parnaíba, incluindo rochas de depósitos detrito-lateríticas e flúvio-lagunares. O município de Buriticupu está localizado no Planalto Dissecado do Gurupi-Grajaú, com superfícies tabulares delimitadas com rebordos erosivos. Os solos de Buriticupu são de textura grosseira, com cerca de 50% de areia, 4 g/cm³ de matéria orgânica, principalmente com domínio de Latossolos Amarelos (FARIAS FILHO et al., 2019).

A cidade de Buriticupu foi recentemente influenciada pela expansão urbana com abertura de loteamentos na direção das vertentes com declividades relevantes (média 12%) e solos com textura arenosa e grosseira. Em Buriticupu, as boçorocas são utilizadas como depósitos de resíduos sólidos (FARIAS FILHO; MACEDO; SANTOS, 2019).

Apesar dos índices de precipitação no oeste do Maranhão serem de 1.800 mm anuais para garantir a vazão (CAMPOS, 2019), os cursos d'água não conseguem transportar a grande quantidade de sedimentos produzidos pelas boçorocas, tornando notável por imagens de sensoriamento remoto, o assoreamento nos fundos de vale.

A carta apresentada na figura 3 mostra a localização dos depósitos de assoreamento nos fundos de vale dos rios Buritizinho e Inhuma.

Figura 3: Carta topográfica e de depósitos tecnogênicos do perímetro urbano de Buriticupu

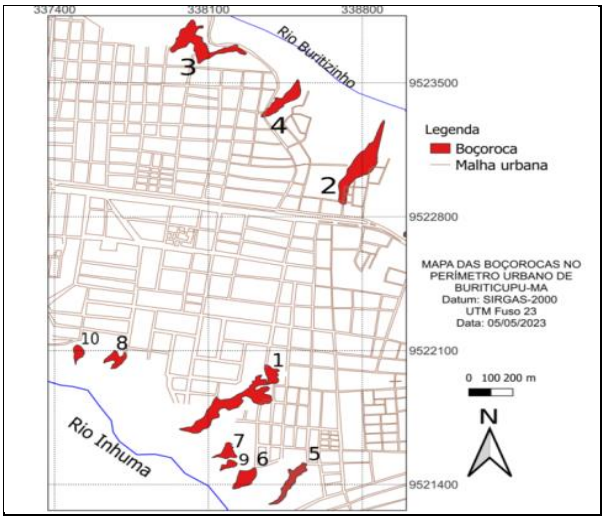


Fonte: Elaborado por Francisco, A.B. (2024)

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 91-101, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981-4089

As boçorocas mapeadas do perímetro urbano de Biriticupu estão presentes na carta da figura 4, assim como a identificação por números.

Figura 4: Carta das boçorocas do perímetro urbano de Buriticupu



Fonte: Elaborado por Francisco, A.B. (2024)

A tabela 1 apresenta as áreas e volumes das 10 boçorocas analisadas na pesquisa.

Tabela 1: Áreas e volumes das boçorocas do perímetro urbano de Buriticupu

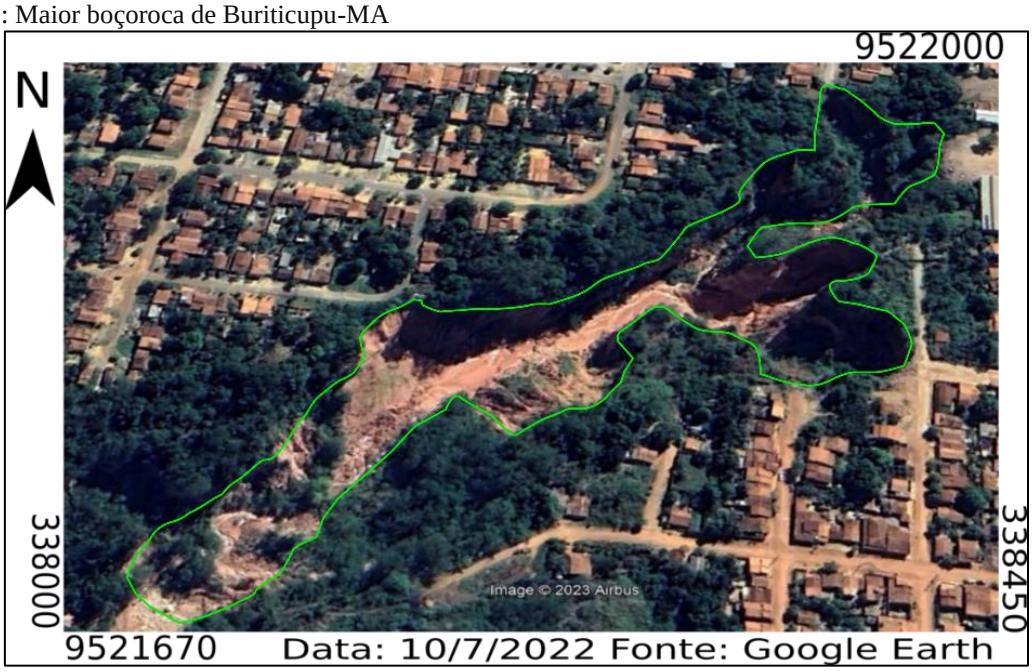
Boçoroca	Área (m^2)	Volume (m^3)
Boçoroca 1	31.700	580.934
Boçoroca 2	21.890	324.800
Boçoroca 3	18.720	225.800
Boçoroca 4	13.170	201.960
Boçoroca 5	9.030	134.900
Boçoroca 6	7.460	116.020
Boçoroca 7	6.240	104.000
Boçoroca 8	6.230	68.970
Boçoroca 9	3.470	36.300
Boçoroca 10	2.220	23.500
Total	**120.130**	**1.817.184**

Fonte: Elaborada por Francisco, A.B. (2024)

A maior boçoroca apresentada no estudo, denominada “Boçoroca 1” com 370 m de comprimento, possui uma cabeceira de 45 m de largura com residências destruídas pelo solapamento do talude. A imagem da figura 5 apresenta a boçoroca com ramificações das cabeceiras no sentido do escoamento superficial das vias urbanas.

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 91-101, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981-4089

Figura 5: Maior boçoroca de Buriticupu-MA



Fonte: Elaborado por Francisco, A.B. (2024)

A “Boçoroca 1” está localizada com uma proximidade de cerca de 100 m de 150 residências, cuja situação representa risco para a população local.

O município de Buriticupu, localizado em uma área de expansão populacional do oeste do Maranhão, necessita de uma política para garantir o zoneamento ambiental, instrumento do Plano Diretor, e impedir que áreas de risco sejam loteadas, devido à alta suscetibilidade à erosão.

Para aplicar as obras de controle de erosão, em caráter imediato, o município precisa desapropriar as residências próximas e garantir a abertura de conjuntos habitacionais em áreas próximas dos divisores de águas sem risco de erosão. Na execução das obras de controle de erosão urbana, é necessária a elaboração de projeto com informações geográficas e topográficas das áreas degradadas e buscar recursos junto aos órgãos estaduais. No controle da erosão urbana são necessárias implantação de galerias de águas pluviais para direcionar diretamente as vazões para o curso d’água receptor: rios Inhuma e Buritizinho, a fim de evitar o desenvolvimento da erosão remontante. As obras de controle da erosão urbana são necessárias pelos cenários de intensidade das precipitações, principalmente sobre influência dos fenômenos de alteração das temperaturas das águas do Oceano Pacífico.

Nas cabeceiras das boçorocas, principalmente como prioridade na “Boçoroca 1”, é necessária suavização dos taludes para garantir o fim do processo de erosão remontante com

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 91-101, dez. 2024 (edição extra). ISSN 1981-4089

solapamentos e destruição das galerias existentes, com necessidade de implantação de novas e mais amplas galerias em rampas com terraplenagem. Nas áreas de suavização dos taludes podem ser plantadas mudas de buritis para recuperação das áreas degradadas.

A denominada “Boçoroca 2”, apesar de possuir quase 10 mil m² a menos do que a “Boçoroca 1” está próxima do centro de Buriticupu e da principal via pública, representando altos custos pelo risco de solapamentos e danos à infraestrutura. A denominada “Boçoroca 3” foi resultado da formação de uma área degradada com a junção de várias boçorocas menores. Apesar da “Boçoroca 5” apresentar menos de 10 mil m² de área, foi confirmada a maior expansão nos últimos 10 anos em comprimento, através da série temporal das imagens de sensoriamento remoto.

Na margem direita do Rio Inhuma existem 5 boçorocas com áreas menores que 7,5 mil m² e menos que 50 m de comprimento, mas podem se desenvolver devida expansão dos loteamentos urbanos e área altamente suscetível com a proximidade da “Boçoroca 1”.

Ao considerar a densidade do solo da área apresentada por Campos (2019) em 1.500 kg/m³, estima-se uma quantidade de sedimentos produzidos em 2.725.776 toneladas ou 272 mil caçambas de 10 t de material. Esse material sedimentar, associado aos resíduos sólidos provenientes da área urbana, representa grande perda da qualidade ambiental do fundo de vale dos rios Inhuma e Buritizinho.

Considerações finais

Os processos erosivos deixam marcas na paisagem provocando reações nos cidadãos, mas o conhecimento científico precisa quantificar a dimensão do problema para apresentar soluções. Apesar da contextualização para explicar as causas dos fenômenos, não apresenta avanço na concretização por soluções caso não tenha dados topográficos e cartográficos da área degradada. Neste sentido, a pesquisa na escala topográfica e local contribui com a elaboração de uma cartografia detalhada para mensurar o problema do desenvolvimento de boçorocas. Os relatórios de pesquisa com documentos cartográficos na escala topográfica contribuem na futura elaboração de projetos para recuperação das áreas.

O conhecimento geomorfológico contribui com as explicações das causas do fenômeno da erosão de solos em boçorocas, sendo importantes as técnicas cartográficas com elaboração de bancos de dados geográficos para cadastrar e mensurar. Os estudos geográficos são

importantes com a integração das áreas da Geografia Física, para explicação das causas do fenômeno da erosão linear de solos. Os geógrafos são profissionais capazes de produzir documentos cartográficos e mensurações das boçorocas, para contribuir com a resolução dos problemas na escala municipal.

O caso de Buriticupu, com ocorrência de óbitos devido desenvolvimento das boçorocas necessita de profissionais capacitados para realização dos projetos com o uso do conhecimento geográfico aplicado às obras de engenharia, bem como implantação dos instrumentos de políticas públicas para evitar maiores danos, como o zoneamento das áreas de risco.

Referências

AB'SABER, A. N. As boçorocas de Franca. **Revista da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Franca**, n.1, p. 05-27, 1968.

ALVES, R. R. **Monitoramento dos processos erosivos e da dinâmica hidrológica e de sedimentos de uma voçoroca**. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Uberlândia, 2007, 109f.

BARRIO, P. O.; CAMPO-BESCÓS, M. A.; GIMÉNEZ, R.; CASALÍ, J. Assessment of soil factors controlling ephemeral gully erosion on agricultural fields. **Earth Surface Processes and Landsforms**, v.43, n.9, 2018.

BEZERRA, J. F. R. **Geomorfologia e reabilitação de áreas degradadas por erosão com técnicas de bioengenharia de solos na bacia do rio Bacanga, São Luís – MA**. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

BORRELLI, P.; BALLABIO, C.; YANG, J. E.; ROBINSON, D. A.; PANAGOS, P. GloSEM: high-resolution global estimatives of present and future soil displacement in croplands by water erosion. **Scientific Data**, n. 406, v. 9, 2022.

CAMPOS, A. A. C. **Condicionantes dos processos erosivos na área urbana de Buriticupu-MA**: o caso da voçoroca do bairro Santos Dumont. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual do Maranhão, 2019, 109f.

DI MAURO, C. A. **Voçorocas**: marcas das relações sociedade-natureza na bacia do Rio Monjolinho, São Carlos, SP. Tese (Doutorado em Geografia Física), Universidade de São Paulo, 1989.

FARIAS FILHO, M. S.; MACEDO, L. T. S.; SANTOS, A. L. Processos erosivos urbanos e a qualidade dos corpos hídricos em Buriticupu, Maranhão. **Geografia em Atos**, n. 9, v. 2, p. 44-57, 2019.

FRANCISCO, A. B. **A erosão periurbana em Rancharia-SP**: a análise espaço-temporal e as propostas de recuperação da boçoroca do Córrego do Grito. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017, 201p.

FURLANI, G. M. As boçorocas de Casa Branca e seu significado geomorfológico. **Geomorfologia**, Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, p. 12-15, 1969.

GOLOSOV, V. N.; WALLING, D. E. **Erosion and sediment problems**: global hotspots. Paris: UNESCO, 2019.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S.; BOTELHO, R. H. M.; GARCIA, S. F. Solos e feições erosivas em Açailândia-Maranhão. **Sociedade e Natureza**, v. 13, n. 25, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Maranhão**: dados populacionais. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/buriticupu.html Acesso em: 2 mai. 2023.

IONITA, I.; FULLEN, M. A.; ZGLOBICKI, W.; POESEN, J. Gully erosion as a natural and human-induced hazard. **Natural Hazards**, v. 79, 2015.

MACEDO, L. T. S.; MORAES JÚNIOR, J. L. S.; SANTOS, A. L.; FARIAS FILHO, M. S. Mapeamento de voçorocas e do risco de erosão em área urbana no oeste do Estado do Maranhão. **Revista GeoUECE**, v.8, n.14, p. 298-313, 2019.

SOUZA, R. **Em dez anos, cinco pessoas já morreram após caírem dentro de voçorocas em Buriticupu, no MA**. Disponível em: https://g1.globo.com/ma/maranhao/noticia/2023/05/04/em-dez-anos-cinco-pessoas-ja-morreram-apos-cairem-dentro-de-vocorocas-em-buriticupu-no-ma.ghtml Acesso em: 5 mai. 2023.

SUBEDI, M.; FULLEN, M. A.; BOOTH, C. A.; CHAU, D.T.; CUONG, T. H.; TRUONG, T.T.; ELLIS, F.J.; COLE, A. GUERRA, A. J. T.; BEZERRA, J. F. R.; ZHENG, Y.; YONGMEI, L.; PATERSON, D. G. Contribution of biogeotextiles to soil conservation and socioeconomic development. **Agriculture**, v. 41, n. 3, 2012.

VIEIRA, N. M. **Estudo geomorfológico das boçorocas de Franca, SP**. Franca: Instituto de História e Serviço Social, Universidade Estadual Paulista, 1978.