



CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE EROSÕES NO CONJUNTO DE VOÇOROCAS NA VILA ISAÍAS E NO BAIRRO CAEMINHA EM BURITICUPU-MA: UMA ABORDAGEM GEOMORFOLÓGICA E GEOTECNOLÓGICA

Josué Carvalho Viegas¹
Taíssa Caroline Silva Rodrigues²
Nívea Sousa Fonseca³
Marcelino Silva Farias Filho⁴
Paulo Roberto Mendes Pereira⁵
Andre Luis Silva Dos Santos⁶
Antonio Queres da Silva Neto⁷

RESUMO

Notadamente, a cidade de Buriticupu-MA, situada na região da Amazônia Legal, enfrenta há cerca de 50 anos uma intensa degradação ambiental causada por processos erosivos, sobretudo pela formação de ravinas e sua evolução para voçorocas de grande porte. Essa problemática é agravada por fatores naturais, como a alta pluviosidade e a presença de solos suscetíveis à erosão (Argissolos e Neossolos Quartzarênicos), combinados com ações antrópicas como desmatamento, urbanização desordenada e drenagem deficiente. As áreas mais afetadas localizam-se nos bairros Vila Isaías e Caeminha, onde a expansão urbana tem avançado sobre áreas frágeis do ponto de vista geomorfológico. Este estudo teve como objetivo classificar e analisar o conjunto de voçorocas nesses bairros, identificando formas, estágios de evolução e fatores condicionantes. A abordagem metodológica integrou o uso de geotecnologias — como imagens de satélite, drones (RPAs), Modelos Digitais de Elevação (MDEs), Google Earth Pro e GNSS de alta precisão — com levantamentos de campo e análises morfológicas. Foram analisados aspectos como declividade, uso e ocupação do solo, rede de drenagem, arruamento e direção do fluxo hídrico. Os resultados permitiram categorizar as voçorocas em diferentes tipos morfológicos e graus de desenvolvimento, revelando sua rápida evolução e a influência direta das intervenções humanas. A pesquisa oferece subsídios técnicos e cartográficos que podem orientar ações de planejamento urbano, controle de riscos e recuperação ambiental. Além disso, o trabalho contribui para projetos acadêmicos em andamento, como um TCC e parte de uma tese de doutorado voltada à cartografia de riscos geomorfológicos naturais em Buriticupu.

INTRODUÇÃO

¹Doutorando do curso de Geografia Física da Universidade de Coimbra - Portugal, josueviegasgeo@hotmail.com;

²Doutora em Geografia pela Universidade Estadual de São Paulo - UNESP, taissa.rodrigues@uemasul.edu.br;

³Graduanda do Curso de Geografia pela Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, niveasfonseca@gmail.com;

⁴Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual de São Paulo - UNESP, marcelino.farias@ufma.br;

⁵Doutor em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, p.roberto18@hotmail.com;

⁶Doutor em Ciência e Engenharia de Petróleo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, andresantos@ifma.edu.br;

⁷ Graduando do Curso de Geografia pela Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL, antonio.quares@uemasul.edu.br.



Os processos erosivos são formas de degradação ambiental que afetam o solo, a vegetação e os recursos hídricos, especialmente em áreas de microbacias de contribuição. Sulcos e ravinas, quando se aprofundam, dão origem às voçorocas, resultado de diferentes graus de incisão erosiva (Guerra, 1993; Costa; Alves; Wachholz, 2023).

Segundo Pinheiro (2023), a erosão pode ser natural (geológica) ou acelerada, sendo esta agravada por ações humanas. No Maranhão, o avanço desordenado do uso do solo tem contribuído para o aumento de voçorocas em diversas cidades, como Buriticupu (Farias Filho et al., 2019).

A população da cidade de Buriticupu-MA enfrenta há 50 anos graves problemas com erosões profundas, especialmente em áreas urbanas e rurais. As feições ocorrem em bordas de vales encaixados e são intensificadas por chuvas fortes e relevo suscetível à erosão (Fernandes et al., 2023; Viegas, 2024).

Nesse cenário, a utilização de geotecnologias tem se mostrado eficaz para o mapeamento e análise desses processos. Técnicas como Sensoriamento Remoto (Oliveira, 2020), Georreferenciamento e Geoprocessamento, auxiliadas por SIGs, possibilitam coleta e análise precisa de dados (Moura; Santos; Alves Junior, 2021).

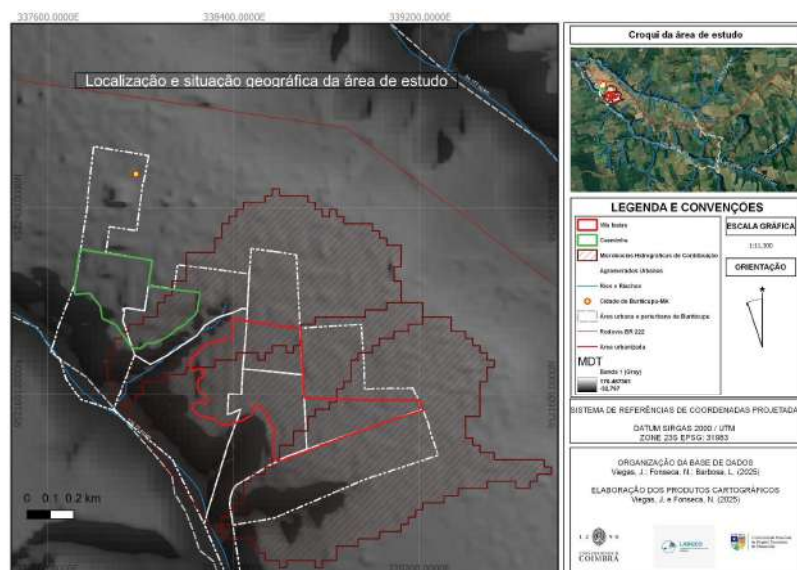
Drones também têm se destacado como ferramenta de alta resolução para identificação de áreas críticas. Assim, este estudo buscou classificar as voçorocas entre os bairros Vila Isaías e Caeminha, em Buriticupu-MA, revelando estágios evolutivos, formas e dinâmicas desses processos erosivos.

Localização e situação geográfica da área investigada

A cidade de Buriticupu está localizada na porção oeste do Maranhão, com acesso pela BR-222, e pertence à Região Imediata de Açailândia, dentro da Região Intermediária de Imperatriz (IBGE, 2017). Os bairros Vila Isaías e Caeminha, foco do estudo, situam-se sobre três microbacias de contribuição que drenam aproximadamente sete setores censitários da área urbana.

A cidade de Buriticupu-MA está inserida na Bacia Sedimentar do Parnaíba, com predominância da Formação Geológica Itapecuru e de depósitos detrítico-lateríticos e flúvio-lacustres (Bandeira, 2013). Seu relevo é ondulado, com colinas dissecadas e altitudes entre 60 e 200 metros, apresentando formas de tabuleiros separados por vales orientados de nordeste a sudoeste (Viegas, 2024). Nas bordas dos tabuleiros, predominam remanescentes de vegetação amazônica, reflexo da localização do município na zona de transição entre os biomas Amazônico e Cerrado.

Figura 1 - Mapa de localização dos bairros Vila Isaías e Caeminha.



Fonte: Autores (2025).

O clima é caracterizado por chuvas entre 1500 e 1600 mm ao ano, com temperaturas médias de 25°C a 27°C, distinguindo-se em períodos chuvoso (janeiro a junho) e seco (julho a dezembro) (Viegas, 2024; Bandeira, 2013). A instalação urbana sobre tabuleiros favorece processos de erosão remontante e rebaixamento de divisores fluviais, com vales encaixados que demonstram equilíbrio entre matéria e energia (Christofolletti, 1980). Quanto aos solos, destacam-se os Latossolos Amarelos nos tabuleiros e platôs cretáceos, e os Argissolos Vermelho-Amarelos nas encostas (Campos, 2019; Farias Filho; Serra; Ferreira, 2023).

METODOLOGIA UTILIZADA

Procedimentos metodológicos

O presente estudo adotou uma abordagem teórico-conceitual, integrando levantamento bibliográfico nacional e internacional, análise interpretativa e trabalhos de campo exaustivos. Além disso, foram realizadas entrevistas com moradores locais e aplicada uma metodologia baseada em geotecnologias, como sensoriamento remoto e SIG, para gerar dados precisos sobre os impactos das voçorocas.

A classificação das voçorocas seguiu os critérios estabelecidos por Pereira e Rodrigues (2022), que propõem três eixos: dimensionais, morfológicos e genéticos. A distinção entre ravinas e voçorocas considera principalmente a profundidade superior a 0,5 m, presença de paredes verticais, conexão com o lençol freático e permanência na paisagem. As formas transversais em V ou U variam conforme a erodibilidade do solo.

Ainda segundo Pereira e Rodrigues (2022), a tipologia morfológica das voçorocas pode ser agrupada conforme a conectividade com a rede de drenagem, conectadas, desconectadas e

integradas, e quanto à forma em planta: linear, bulbiforme, composta e dendrítica. Essa categorização permite compreender melhor a origem e evolução dessas feições erosivas.

O artigo também adotou a metodologia de Vieira (2008a; 2008b), que classifica as voçorocas segundo seu grau de evolução e características morfológicas. A terminologia proposta por Santos et al. (2001) foi utilizada para distinguir voçorocas simples e compostas, estas últimas predominantes em áreas urbanas com maior impacto sobre a infraestrutura.

Com base nessa abordagem, as voçorocas da área de estudo foram agrupadas em cinco formas principais: linear, bifurcada, ramificada, irregular e retangular. Essa tipologia está associada às dinâmicas erosivas locais, às condições ambientais específicas e ao caráter de transição amazônico da paisagem de Buriticupu-MA.

Figura 2 - Proposta de classificação de voçorocas.

Formato da seção transversal		Complexidade		Tamanho	Profundidade	Área drenante	
U	Voçoroca Simples	-Erosão superficial	-Solos arenosos	Pequena	< 1m	2 ha	
		-Paredes quase verticais;	-Diferenciação de horizontes apenas quanto a granulometria;	Média	1 a 5 m	2 a 20 ha	
		-Ampliação lateral por erosão superficial e água subterânea.	-Inexistência de camadas de argila intercalada com as de textura arenosas.	Grande	> 5m	> 20 ha	
V	Voçoroca Complexa	-Solos mais resistentes a erosão;	-Acontece em solos com camadas alternadas de argilas entre os horizontes arenosos;	Tipo da Voçoroca (Oliveira, 1989)			
		-Ação do escoamento superficial concentrado é maior que a ação da água subterrânea;	-Ação hídrica intermitente,	Conectadas	Desconectadas	Integradas	
		-Formato comum no início do processo erosivo.	-Escoamento superficial (período chuvoso); -Escoamento subterrânea (período seco).	  			
Formas de Voçorocas		Linear	Bulbiforme	Composta	Dendrítica	Entrelaç	Paralela
Ireland; Sharpe; Eargle (1939) Bigarella e Mazuchowski, (1985)							
(Vieira, 2008)							

Fonte: Adaptado de Vieira, (2008); Pereira e Rodrigues (2022).

Figura 3 - Organograma das etapas e pilares da pesquisa.



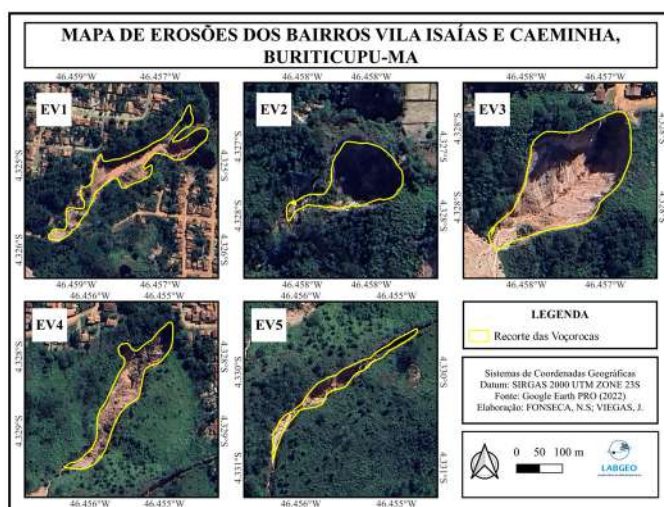
Fonte: Autores (2025).

A metodologia para classificar e analisar as voçorocas na Vila Isafas e no bairro Caeminha foi organizada em quatro pilares integrados. A abordagem integrada permitiu uma análise aprofundada da dinâmica erosiva, gerando subsídios técnicos para pesquisas futuras e ações de planejamento em campo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O avanço das erosões profundas em Buriticupu-MA, sobretudo na área urbana, tem gerado preocupação por seus impactos ambientais e sociais. Esse processo está fortemente ligado à crescente impermeabilização do solo, provocada pelo asfaltamento e expansão urbana desordenada, agravada pela ausência de planejamento adequado e pela remoção da vegetação nativa em áreas naturalmente vulneráveis à erosão.

Figura 4 – Erosões na Vila Isaías e Caeminha, com base em imagem antiga (2022), Google Earth Pro.



Fonte: Autores (2025).

Quadro resumo 1: Classificação das voçorocas de Vila Isaías e Caeminha (Buriticupu-MA) em 2022, com base em imagem do Google Earth Pro.

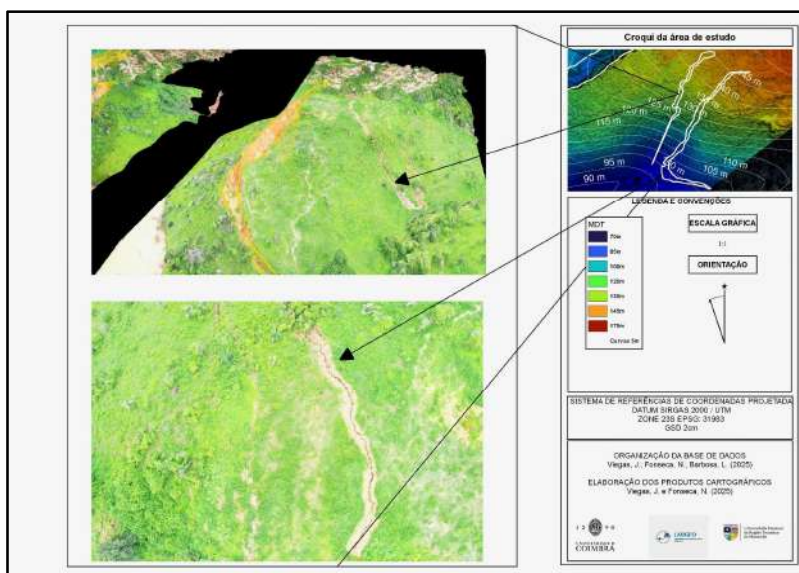
*Código	Forma Predominante	Descrição Morfológica	Tipo
EV1	Ramificada	Feição com múltiplas ramificações, ocupando áreas urbanas e encostas.	Voçoroca Ramificada
EV2	Bulbiforme	Forma arredondada, de expansão concentrada e curta extensão lateral.	Voçoroca Bulbiforme
EV3	Irregular	Contorno irregular, com alargamento central e margens instáveis.	Voçoroca Irregular
EV4	Linear / Composta	Forma alongada com subdivisões secundárias, ocupando encostas.	Voçoroca Composta
EV5	Linear	Estreita e retilínea, com direcionamento contínuo do fluxo erosivo.	Voçoroca Linear

*EV = Erosão por Voçoroca

A substituição de áreas vegetadas por superfícies impermeáveis, como asfalto e construções, tem intensificado os processos erosivos urbanos ao aumentar o escoamento superficial e reduzir a infiltração da água no solo (Costa, 2023). Em Buriticupu-MA, esse

escoamento ocorre de forma rápida e concentrada, direcionando-se para áreas já degradadas, favorecendo a evolução de sulcos para ravinas e, posteriormente, voçorocas. A proximidade dessas feições com áreas habitadas representa riscos à segurança da população e contribui para o assoreamento e poluição dos corpos hídricos, comprometendo a sustentabilidade urbana.

Figura 5: Modelo 3D com feição indicada pelas setas nas imagens ampliadas.



Fonte: Autores (2025).

A partir da análise integrada do mapa morfométrico com curvas de nível, MDT e ortoimagem das voçorocas nos bairros Vila Isaías e Caeminha (Figura 5), foi possível realizar a classificação morfológica dessas feições. Os critérios adotados incluíram a forma em planta com visão superior, conforme a tipologia de Vieira (2008), Oliveira (1989) e Guerra & Mendonça (2004), além do grau de entalhamento, gradiente altimétrico e padrão de dissecação do terreno. Um modelo 3D foi gerado para facilitar a visualização e interpretação.

A feição destacada nas imagens ampliadas corresponde a uma voçoroca em estágio inicial a intermediário, caracterizada por um canal bem definido e estreito, com aproximadamente 0,70cm no ponto inicial de incisão. Apresenta taludes íngremes, indicando colapsos recentes nas bordas, e um direcionamento linear contínuo do escoamento superficial proveniente de uma via pavimentada. Está situada em uma área de declividade acentuada, evidenciada pela concentração de curvas de nível, o que intensifica a concentração do fluxo hídrico.

Em termos morfológicos, trata-se de uma feição típica de erosão linear profunda, com origem associada à evolução de ravinas. Está localizada em encosta convexa voltada para um

curso d'água, o que favorece a dinâmica de escoamento e aprofundamento do canal. A ausência de cobertura vegetal, causada por intervenção humana, reforça a atuação recente da água na abertura da voçoroca. O Modelo Digital de Terreno (MDT) revela que essa feição se inicia a jusante de uma área plana — potencial zona de captação —, avançando em direção a um vale encaixado.

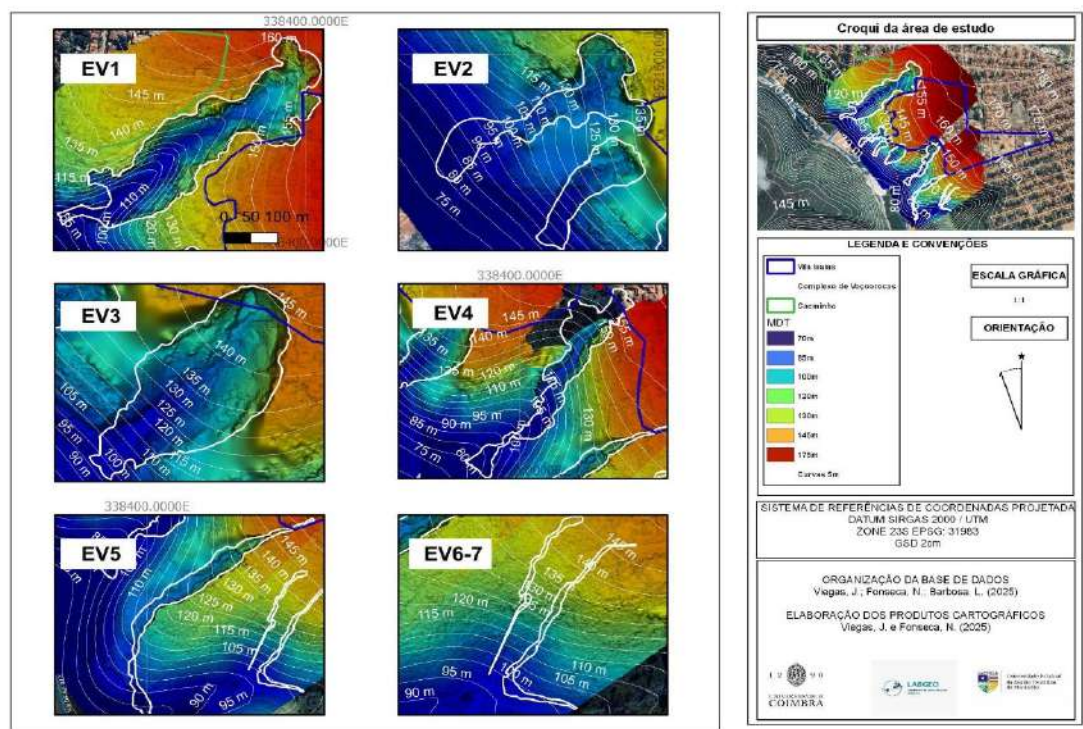
Quadro Resumo 2 - Classificação proposta da erosão identificada

Código	Elemento	Característica identificada
EV6-7	Tipo Morfológico	Linear / Composta
	Estágio Evolutivo	Inicial a Intermediário
	Localização	Encosta íngreme, zona de transição entre urbano e vegetado
	Agentes Dominantes	Escoamento superficial concentrado e ausência de contenção

*EV = Erosão por Voçoroca

Apresenta-se o mapa com a identificação e classificação das voçorocas da área estudada, acompanhado do quadro-resumo referente ao Complexo de Voçorocas da Vila Isaías e Caeminha.

Figura 5 - Mapa com extração de erosões recentes, gerado a partir de MDT e ortomosaico de fevereiro de 2025.





Quadro Resumo 3 : Classificação das Voçorocas – ortoimagem de fev. 2025.

* Código	Tipo Morfológico	Características Observadas
EV1	Ramificada	Apresenta múltiplos braços divergentes e bifurcações. Estágio avançado de evolução. É considerada por moradores a voçoroca mais antiga da cidade.
EV2	Irregular	Contorno assimétrico e sem padrão definido. Influência topográfica e antrópica.
EV3	Linear / Bifurcada	Canal retilíneo com leve divisão superior. Estágio inicial a intermediário.
EV4	Composta / Dendrítica	Padrão de ramificação semelhante a redes de drenagem. Alta complexidade.
EV5	Bulbiforme	Forma de alvéolo largo na extremidade. Expansão radial do fluxo.
EV6-7	Linear	Canal estreito e bem definido. Escoamento superficial concentrado. Voçoroca em processo inicial

*EV = Erosão por Voçoroca

A combinação entre ortoimagem e Modelo Digital de Elevação (MDE) oferece uma visão detalhada da dinâmica erosiva, sendo fundamental para o diagnóstico ambiental e o planejamento de ações de controle. Ferramentas como o Google Earth Pro se destacam por sua acessibilidade e utilidade no mapeamento de voçorocas, conforme demonstrado por Petek et al. (2024) e Vieira e Frota Filho (2023), permitindo análises multitemporais por meio de imagens históricas.

Neste estudo, foi realizada uma comparação entre dados do Google Earth Pro (2022) e ortoimagens obtidas por drone (2025) no Complexo de Voçorocas dos bairros Vila Isaías e Caeminha, em Buriticupu-MA. Essa integração de dados permitiu avaliar a evolução morfológica das voçorocas, identificar áreas de expansão e reforçar a importância do uso combinado de geotecnologias no monitoramento e gestão de processos erosivos.

Quadro-resumo 3: Comparativo dos tipos e classificações morfológicas e tipológicas das Voçorocas investigadas.

Código	Classificação - 2022 (Google Earth Pro)	Classificação - 2025 (Drone)	Considerações Comparativas
EV1	Ramificada	Ramificada	Coerência entre os anos; evolução visível e bifurcação mais nítida em 2025.
EV2	Bulbiforme	Irregular	A maior resolução revelou contorno assimétrico. Reclassificação necessária.
EV3	Irregular	Linear / Bifurcada	Canal retilíneo foi identificado com o Modelo gerado das imagens de Drone. Mudança significativa.
EV4	Linear / Composta	Composta / Dendrítica	Revisão confirma complexidade e subdivisões; classificação refinada.
EV5	Linear	Bulbiforme	A forma final bulbosa foi evidenciada; inversão da classificação.



EV6-7	Não mapeada	Linear	Novas voçorocas detectadas com Drone. Evidência de expansão erosiva em acelerado processo. Atenção.
-------	-------------	--------	--

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, a interpretação por Drone se mostrou mais confiável, contribuindo para diagnósticos mais precisos em laudos técnicos, planos de contenção e propostas de recuperação ambiental das áreas: 1- A evolução da tecnologia de aquisição de imagens (satélite vs. drone) resultou em maior precisão e detalhamento morfológico; 2- Algumas voçorocas apresentaram reclassificação significativa, revelando limitações das imagens orbitais na identificação de detalhes topográficos e na forma real das feições erosivas; 3- O monitoramento que seja contínuo, permiti identificar novas voçorocas (EV6-7), destacando a dinâmica ativa do processo erosivo na cidade de Buriticupu-MA, e 4- As reclassificações apontam para a necessidade de integração entre dados multitemporais e multiescalares, com validação de campo.

Palavras-chave: Complexo de Voçorocas, Erosão, Geotecnologias, Classificação Geomorfológica, Buriticupu-MA.

REFERÊNCIAS

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

CAMPOS, Augusto Antonio Carvalho. **Condicionamento dos processos erosivos na área urbana de Buriticupu -MA: O caso da voçoroca do bairro Santos Dumont**. Dissertação (Pós-graduação em geografia) Universidade Federal do Maranhão. Maranhão, São Luís, 2019.

COSTA, Luiziane Sousa da. **Condicionantes Geomorfológicos De Deslizamento De Terra No Município De Buriticupu-MA**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha-MA, 2023.

COSTA, Rivaldo Junio Araújo da; ALVES, Neliane de Sousa; WACHHOLZ, Flávio. Mapeamento morfométrico de voçoroca no bairro Galo da Serra, Presidente Figueiredo – AM. **Revista Presença Geográfica**, v. 10, n. 1, p. 242-257, 2023.

CHRISTOFOLETTI, A. (1980). **Geomorfologia**. São Paulo, Ed. Edgard Blücher, 2a Ed.

FARIAS FILHO, Marcelino Silva; MACEDO, Larissa Thaís dos Santos de; SANTOS, Adriano de Lima; CAMPOS, Augusto Antônio Carvalho. Processos erosivos urbanos e a qualidade dos corpos hídricos em Buriticupu, Maranhão. **Geografia em Atos**, Departamento de Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente, v. 2, n. 9, p. 44-56, 2019.

FARIAS FILHO, Marcelino Silva; SERRA, Janilci; FERREIRA, Vitoria Gleyce Sousa. Do Pasto Ao Grão: Avanço E Consolidação Da Agricultura Intensiva No Município De Buriticupu/Ma. **GEOFRONTER**, v. 9, 2023.

FERNANDES, Helen Giovanna Pereira; RODRIGUES, Taíssa Caroline Silva; VIEGAS,



Josué Carvalho; SILVA, Ivanilde Lima; BRAGA, Eduarda Vaz. Detecção De Voçorocas Em Ambientes Urbanos Por Meio De Imagens De Drone No Município De Buriticupu, Maranhão. **Anais da III Semana de Tecnologia e Inovação de Açailândia**: Conectando ideias e soluções por meio do ecossistema de inovação. 2023.

GUERRA, Antônio Teixeira. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 8. ed. Rio Janeiro: IBGE, 1993. 464 p. ISBN 8524004584.

MOURA, Rafael Veloso de; SANTOS, Antônio Lazáro Ferreira; ALVES JUNIOR, Leomar Rufino. Mapeamento da Voçoroca Contorno em Anápolis–GO por Meio de Geotecnologias. **Brazilian Applied Science Review**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 1002-1012, 2021.

OLIVEIRA, Bianca Souza de; PARANHOS FILHO, Antonio Conceição; GUARALDO, Eliane. Identificação de processos erosivos com geotecnologias gratuitas. **Terr@ Plural**, v. 16, p. 1-17, 2022.

OLIVEIRA, Eduardo Negri de. **Geografia e sensoriamento remoto**: volume único / Eduardo Negri de Oliveira. Rio de Janeiro : Fundação Cecierj, 2020.

PETEK, Olívia Juliana Dias de Andrade; JACINTO, Moises de Araújo Santos; BATISTA, Thiago de Sousa; MARTINS, Juliana Bezerra; VAZ, Ana Paula de Melo e Silva; BARROS, Ranna de Sousa; NETO, Cláudio Luis de Araújo; FARIAS, Amanda Paiva. Uso do " Google Earth Pro" no mapeamento de voçorocas na área urbana de Buriticupu (MA), Brasil. **Revista Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, v. 16, n. 11, p. 27700-27716, 2023.

PINHEIRO, Gabriel Ruiz. **Mapeamento e análise espacial de ravinas e voçorocas associadas à formação tupanciretã em Santiago-RS, planalto meridional**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2023.

SANTIAGO, Victor Santos. **Análise e predição à erosão do solo com RUSLE no município de Ouro Preto, Minas Gerais, através de geoprocessamento e SIG**. Monografia (Curso de Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2023.

SANTOS, Daniel Carlos Alves; SOUSA, Silvio Braz de; AMORIM, Rodrigo de Freitas; FRAZÃO, Ana Paula Rodrigues Feitosa. Geotecnologias e o estudo da degradação do patrimônio natural costeiro: o caso do morro do careca, Natal–Rio Grande Do Norte (2023). **Revista Contexto Geográfico**, v. 9, n. 18, p. 326–336-326–336, 2024.

VIEIRA, Antônio Fábio Guimarães. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM)**: principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais. 2008. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

VIEIRA, Antonio Fabio Sabbá Guimarães; FROTA FILHO, Armando Brito da. Avaliação das técnicas de monitoramento de voçorocas: o exemplo da Região Metropolitana de Manaus-AM, na região amazônica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 00, 2023.

VIEGAS, J. C. **Anotações de campo pelas disciplinas de Geoprocessamento/Geomorfologia e pela coleta de dados para produção de Tese de Doutorado**. UEMASUL. Atividade desenvolvida durante o mês de junho/julho de 2024.