



RISCO ASSOCIADO A PROCESSOS GEOMORFOLÓGICOS NO MUNICÍPIO DE BARBALHA-CE

Francisco Marciano de Alencar Silva
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER),
Universidade Federal do Cariri (UFCA), Brasil
mcgeoalencar@gmail.com

Geislam Gomes de Lima
Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG), Universidade Federal do Rio de Janeiro
(UFRJ), Brasil
geislamgomes@gmail.com

Denise da Silva Brito
Programa de Pós-graduação em Geografia (PROP GEO), Universidade Estadual do Ceará
(UECE), Brasil
denisegeo26@hotmail.com

Ana Patrícia Nunes Bandeira
Centro de Ciências e Tecnologia (CCT), Universidade Federal do Cariri (UFCA), Brasil
ana.bandeira@ufca.edu.br

Simone Cardoso Ribeiro
Departamento de Geociências (DEGEO), Universidade Regional do Cariri (URCA)
simonecribeiro@oi.com.br

RESUMO – Este estudo objetivou mapear e categorizar setores de risco associados à dinâmica de relevo do município de Barbalha-CE. O estudo aplicou uma metodologia de zoneamento de risco em ambiente SIG, tendo como controle principal os processos de erosões e movimentos de massa em pequena escala e a situação de instabilidade de moradias em uma área de expansão urbana. Das áreas mapeadas, o setor SR3 apresentou grau de risco muito alto, com três casas destruídas e quatro casas para monitoramento constante; cinco setores apresentaram grau de risco alto; dois setores foram classificados como de risco médio e um setor como de risco baixo. A metodologia de classificação de setores de riscos hierarquicamente organizados com dados qualitativos e quantitativos empregados, através de imagens de satélite e trabalho de campo, se mostrou uma ferramenta importante para observação em detalhe de processos de superfície, usos e situação de moradias. Foram identificados processos geomorfológicos como erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) e movimentos gravitacionais de massa, como creep e deslizamentos planares de pequena escala. Foi demonstrado que os usos da terra, especialmente com expansão de áreas urbanas declivosas e a baixa qualidade de moradia e de estrutura de escoamento induzem a situações de risco.

Palavras-chave: Processos geomorfológicos; Uso da terra; Avaliação ambiental.

RISK AND GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES IN BARBALHA (CEARÁ STATE)

ABSTRACT – Risk areas are likely to be affected by geomorphological processes such as gullie erosion, landslides or floods, usually anthropically induced, which cause adverse effects, damage to

physical integrity, material and property damage. This study aims to map and categorize risk sectors associated with landform dynamics in Barbalha (Ceará State). The study applied a risk zoning methodology in GIS environment, having as main control the process of erosion and mass movements and the situation of housing stability in an urban expansion area. The SR3 sector had a very high degree of risk, with three houses destroyed and four houses for constant monitoring; five sectors had a high degree of risk; two sectors were classified as medium risk and one sector as low risk. The methodology for classifying risk sectors hierarchically organized with qualitative and quantitative data, through satellite images and fieldwork, proved to be an important tool for observing in detail surface process, land uses and housing situation. Geomorphological process such as ravine, gullies and mass gravitational movements, such as creep and small-scale planar slides, were identified. The land uses, especially due to the expansion of urban areas and the low quality of housing, induce risk situation.

Keywords: Geomorphological process; Land use; Environmental assessment.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização cria mudanças significativas nas taxas de erosão, especialmente nas fases de construção e expansão, quando há exposição do solo e distúrbios provocados por cortes nas encostas (GOUDIE, 2006). Além disso, o aumento da instabilidade do terreno junto à segregação socioespacial pode desencadear situações de riscos ambientais.

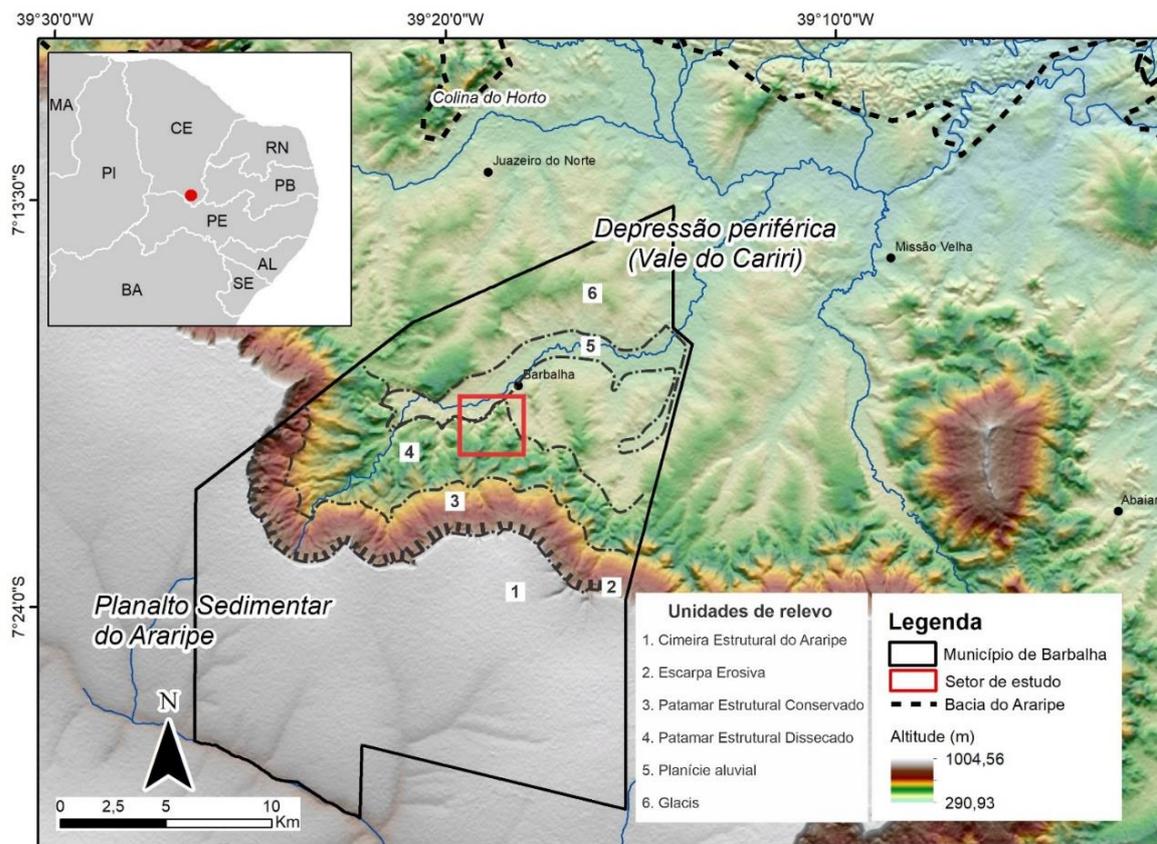
As áreas de risco são passíveis de serem atingidas por processos geomorfológicos como erosões, movimentos de massa ou enchentes, muitas vezes induzidos, que causam efeitos adversos. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais. Normalmente, no contexto das cidades brasileiras, essas áreas correspondem a núcleos habitacionais de baixa renda – assentamentos precários (MACEDO e BRESSANI, 2013).

O zoneamento de áreas de risco tem se tornado uma ferramenta importante para o planejamento ambiental nas cidades, especialmente considerando a estrutura da ocupação e os processos superficiais, como deslizamentos, enchentes e erosões. É válido destacar a necessidade de considerar a diversidade de ambientes morfoclimáticos brasileiros (AB'SABER, 2003), na tentativa de tornar mais complexo o modelo de gestão de riscos. Nesse contexto, as cidades médias do semiárido brasileiro tem demonstrado um forte crescimento nas últimas décadas. Em consequência, a resiliência dos sistemas ambientais, especialmente em áreas de expansão recente, é comprometida e respostas erosivas severas diante dos inputs antropogênicos e climáticos são comuns (AZAMBUJA e CORRÊA, 2015).

A região do Cariri, ao sul do estado do Ceará, se apresenta como um enclave subúmido no contexto regional semiárido. Vinculada ao planalto do Araripe, um relevo tabuliforme de 900 metros de altitude, a região se configura como um típico 'brejo de encosta' (SOUZA, 1988). A associação das paisagens semiáridas com o baixo volume de precipitação pode resultar numa abordagem limitada da relação entre os riscos ambientais e a dinâmica da superfície. Mesmo em anos de seca, os eventos com precipitações concentradas e de alta intensidade podem causar processos geomorfológicos destrutivos na região do Cariri, como enxurradas, inundações e instabilidade de encostas, conforme identificado por Olímpio e Zanella (2015) e Lima et al. (2022).

Diante disso, este estudo tem como objetivo mapear e categorizar setores de risco associados à dinâmica de relevo, enfatizando as erosões lineares e movimentos de massa de pequena escala, no município de Barbalha-CE, uma cidade média do interior do nordeste brasileiro. A área compreende dois bairros do centro urbano, numa superfície colinosa do planalto do Araripe (Figura 1).

Figura 1. Localização do município de Barbalha-CE e dos setores de estudo (em vermelho). As unidades de relevo estão dispostas sobre o modelo digital de elevação do entorno.



Org. Elaborado pelos autores. A classificação do relevo foi a adaptado de Silva et al. (2017)

ÁREA DE ESTUDO

O município de Barbalha está localizado no sul do estado do Ceará, apresenta uma área de 569,5 km² e compõe a Região Metropolitana do Cariri (RMC) (IPECE, 2019). Dentro da RMC, criada em 2009, destaca-se o triângulo CRAJUBAR, composta pelas cidades de Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha. Cada cidade tem suas particularidades, a exemplo de Barbalha que teve seu processo de ocupação voltado para a agricultura, principalmente com o cultivo de cana de açúcar desde o século XVIII. Planos e programas posteriores incentivaram a implantação de industriais no município, favorecendo a expansão do centro urbano e avanço recente da malha urbana para as encostas. Dentre os 15 bairros e 3 distritos do município, para esse estudo, foram escolhidos os bairros Tupinambá e Alto do Rosário.

Sobre os aspectos geoambientais do município, destacam-se a geologia da bacia sedimentar do Araripe com uma diversidade de formações litoestratigráficas. Os bairros estudados se estabelecem sobre os arenitos da formação Rio da Batateira (arenitos finos a médios, em geral bastante friáveis), e sobre as coberturas arenosas e areno-argilosas inconsolidadas (Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2007).

O relevo regional de destaque é o planalto do Araripe, em torno de 900 m de altitude, e a depressão periférica (Vale do Cariri), em torno de 400 m de altitude. Os bairros analisados encontram-se nos setores mais dissecados das encostas, com padrão colinoso, na transição entre o planalto e o vale (Figura 1). De acordo com Funceme (2012), os Argissolos Vermelho-amarelo são predominantes, recobertos por uma vegetação de Caatinga arbóreo-arbustiva.

As formações superficiais, como depósitos de tálus e rampas de colúvio na área de estudo, são registros de movimentos de massa de diversas naturezas que se desenvolveram ao longo do Quaternário tardio, como identificado por Lima et al. (2023) e Lima et al. (2021). Os assentamentos urbanos no município se desenvolveram sobre esse tipo de superfície, e a sua expansão recente vem ocorrendo sobre colinas bastante dissecadas e com cobertura coluvial. A construção das moradias sobre sedimentos inconsolidados em terreno declivoso acarreta em uma suscetibilidade particular para os processos erosivos. Soma-se a isso os cortes de estradas e mudanças no escoamento superficial pela urbanização.

Sobre os aspectos climáticos, o município de Barbalha apresenta um clima Tropical Quente Semiárido Brando, com uma precipitação pluviométrica de 1.095 mm anuais (MONT'ALVERNE, 1996). Segundo estudo elaborado a partir de dados de precipitação das séries históricas do período de 1985 a 2015, as chuvas na região concentram-se entre os meses de janeiro a março, e tendo como trimestre mais seco os meses de julho a setembro (BRITO e SILVA, 2016).

São mapeadas e descritas seis unidades de relevo no município de Barbalha, conforme Silva et al. (2017), representadas na Figura 1: Cimeira Estrutural do Araripe, com altitude em torno de 960 metros e uma extensão aproximada de 35,9 km². Trata-se de uma superfície estrutural com morfologia tabuliforme desenvolvida em uma estrutura geológica concordante horizontal a sub-horizontal da bacia sedimentar, com topo conservado mergulhando suavemente para nordeste, cujos limites encontram-se controlados pela escarpa abrupta. A Escarpa Erosiva encontra-se disposta a partir da cota de 800m. Trata-se de uma escarpa arenítica, de perfil acentuadamente vertical, marcada por movimentos de massa, como queda de blocos, os quais são observados na paisagem na forma de depósito de tálus, que se alojam a partir da base da escarpa, sendo continuamente retrabalhados ao longo das encostas e nos canais de drenagem (LIMA et al., 2021). Patamar Estrutural Conservado é uma unidade topograficamente definida a partir da cota de 560/600m. Nesta unidade, encontram-se as algumas das principais cabeceiras de drenagem que atuam formando amplos hollows (anfiteatros) que espacialmente exercem um controle na distribuição lateral dos sedimentos quaternários (LIMA et al., 2021). Patamar Estrutural Dissecado é uma unidade que se alonga às proximidades do Vale do Cariri e corresponde ao setor inferior da encosta, topograficamente situada entre as cotas de 450/500m (com alguns trechos chegando à cota de 400m). De acordo com Lima et al. (2021) este patamar encontra-se controlado pela existência de uma cobertura coluvial extensa sob a forma de avental e leques e também por controle do nível de base regional exercida pela drenagem que propicia um nível de redistribuição dos sedimentos ativamente erodidos da unidade de encosta. Planície Aluvial encontra-se entre cotas altimétricas de 460 a 350m, conforme o nível de base local. Glacis de erosão abrange uma área com cobertura eluvial e Superfície colinosa com cobertura elúvio-coluvial que ocorrem entre as cotas 360 a 400 m na porção mais a norte-nordeste da área, formando áreas moderadamente planas. São superfícies que balizam as superfícies mais elevadas e os vales, funcionando como área de transporte de material para a rede de drenagem.

METODOLOGIA

Para o mapeamento das áreas de risco geomorfológico foram adotados os procedimentos da metodologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), recomendada pelo Ministério da Cidade, disponível em Brasil (2007). A proposta de zoneamento é dividida em três partes:

- 1ª parte (pré-zoneamento/pré-setorização): antes do zoneamento ou setorização de risco geomorfológico foi feita uma pré-setorização da área de estudo através de parâmetros básicos observados como: carta de declividade e densidade ocupacional.
- 2ª parte (zoneamento/setorização): nessa etapa, os trabalhos de setorização foram realizados em campo, permitindo uma melhor delimitação dos setores de risco. O zoneamento iniciou-se com o auxílio de imagens de satélite e carta de declividade e duas fichas de campo, que

permitiu uniformizar e comparar as informações que foram coletadas, considerando o fator geológico, topográfico, além da presença de evidências de movimentação, presença de água, cobertura vegetal entre outros.

- 3ª parte: determinação do grau de probabilidade de ocorrência dos processos geomorfológicos: foi atribuído para cada setor de risco um grau de determinação com escala que variaram de 1 a 4 graus (níveis) de probabilidade de ocorrência dos riscos geomorfológicos, com base nas informações geológico – geotécnicas definidas pelo Ministério das Cidades.

Para a elaboração dos Mapas de Risco Geomorfológico dos Bairros Tupinambá e Alto do Rosário, foram utilizadas imagens de satélites adaptadas do Bing maps da ferramenta *openlayers plugin* no *software* Qgis 2.18. No primeiro bairro foram zoneados 7 setores de risco, e no segundo 2 setores de risco. A classificação do risco de cada setor foi aplicada com base nas informações geológico-geotécnicas definidas pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2007), apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Definição dos níveis de riscos.

R1	Risco baixo	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Não há indícios de desenvolvimento de processos destrutivos em encostas e em margens de drenagens.
R2	Risco médio	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de alguma(s) evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s).
R3	Risco alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de significativa(s) evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes etc.).
R4	Risco muito alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação ao córrego etc.)

Fonte: Adaptado de Brasil (2007)

A última etapa tratou da integração dos dados e elaboração de relatório técnico. Com os dados obtidos a partir da caracterização dos aspectos geoambientais, identificação dos principais parâmetros que contribuem para a instabilidade das encostas e mapeamento das áreas que estão em situação de risco, assim como os principais problemas socioambientais, foi elaborado um relatório final sobre os riscos geomorfológicos da área de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante das condições geoambientais, da relação dos moradores com o uso da terra e das condições estruturais das moradias, foram mapeados nove setores de risco. Os setores estão distribuídos nos bairros Bairro Tupinambá (SR1, SR2, SR3, SR4, SR5, SR6 e SR7) e Alto do Rosário (SR8 e SR9), localizados em relevo colinoso na base do planalto sedimentar.

Das áreas mapeadas, o setor SR3 apresentou grau de risco muito alto, com três casas destruídas e quatro casas para monitoramento constante; cinco setores apresentaram grau de risco alto; dois setores foram classificados como de risco médio e um setor como de risco baixo, conforme descrito a seguir e sumarizado na Tabela 2.

SETORES DE RISCO DO BAIRRO TUPINAMBÁ

O bairro Tupinambá é o menos populoso do município, concentrando apenas 130 habitantes, equivalente a 0,3% da população, porém, é o que apresentou maiores números de setores de riscos, que juntos somam um total de 2.767m². Foi observado um estágio de ocupação parcialmente consolidado com infraestrutura básica razoável e solo exposto (Figura 2). Os padrões das edificações são de alvenaria, variando de pequeno a médio porte, exercendo assim pressão sobre o talude ao qual estão sobrepostas.

Figura 2. Situação de risco bairro Tupinambá



O setor de risco 1 (SR1) tem uma área aproximada de 234 m² e 66 metros de altura da planície ao topo da colina e declividade maior que 75%. Os processos atuantes identificados foram erosão por sulcos e ravinas severa e profunda evidentemente causada pela retirada da vegetação do topo.

As causas e fatores agravantes na estabilização do talude está associada a ocupação de toda borda da colina e da cabeceira de drenagem por residências e criatórios de suínos e caprinos. A instabilidade do talude se compromete mais ainda devido ao lançamento de lixo e entulhos lançado pelos moradores, intensificando assim o peso sobre o talude e a proliferação de doenças. Há também

lançamento de águas servidas, concentração de águas das chuvas no telhado e plantio de bananeiras em alguns quintais (Figura 3). Vale destacar, no entanto, que a bananeira favorece o acúmulo de água e saturação do solo, aumentando o risco de deslizamentos. Além disso, há pouca vegetação, composta por arbustos e algumas árvores tortuosas, que evidenciam o movimento do tipo *creep* (Figura 3a). Na base deste setor, em anos anteriores, houve também uma intensa exploração de material para construção, deixando a base exposta suscetível a processos erosivos.

Três moradias, equipamento de comunicação (antena) e uma área de criação de animais estão vulneráveis, localizados a menos de dois metros da borda do talude. Diante das características apresentadas, o setor é enquadrado em risco Alto (R3) de prejuízos econômicos.

O setor de risco 02 (SR2) apresenta processos atuantes de sulcos e ravinas. Algumas causas que agravam o setor é a presença de lixo lançado no talude e fossas drenantes nos quintais, com distância de aproximadamente 10 metros da borda do talude. A vegetação é secundária e arbustiva. As estruturas das residências são de alvenaria e taipa, de pequeno porte. Ocorre a concentração da água das chuvas direcionadas pelos telhados das residências e canos dos esgotos em direção ao talude. No entanto, de acordo com a distância razoável, o risco de erosões mais avançadas e deslizamentos em curto prazo é baixo. O setor apresenta um total de seis residências e pelas características apuradas dos fatores de suscetibilidade e vulnerabilidade, pode-se atribuir um grau de risco médio (R2). Esse quadro tende a evoluir para um grau maior de risco.

No setor de risco 3 (SR3), com uma área aproximada de 334m², foram identificadas erosões superficiais e severas por sulcos e ravinas profundas. Além dos fatores responsáveis pela instabilidade dos setores anteriores, foram identificadas bananeiras plantadas morro abaixo e lixo lançados pelos moradores na tentativa de obstruir o avanço da erosão. Na quadra chuvosa de 2016 houve queda parcial de moradias causada pelo avanço da erosão, com perdas econômicas e riscos de perda de vidas humanas.

Neste setor 03 há um total de 08 moradias, 04 para monitoramento e 03 parcialmente destruídas. Diante desses fatores, levando em consideração os critérios para determinação do grau de risco proposto na metodologia, a área setORIZADA apresenta um grau de risco muito alto (R4).

O setor de risco 4 (SR4) apresenta uma área de aproximadamente 881m². Dentre os fatores de suscetibilidade foi identificado erosões superficiais por sulcos e erosão severa por ravinamento na base do talude, por conta da retirada de material para construção. Algumas causas e agravantes da instabilização no setor podem ser atribuídas à ocupação da borda do talude por residências de médio porte e de alvenaria, além de lançamento de lixo e entulho. A vegetação é arbustiva e esparsa (Caatinga), em alguns pontos o solo é exposto ficando mais vulnerável a erosão. Neste setor há um total de 16 residências e não há histórico de processos de erosão ou deslizamentos que tenha causado prejuízo ou transtorno a população. Dessa forma, esta área caracteriza-se como um setor de risco médio. As residências deste setor estão localizadas nas proximidades do talude e se não houver medidas preventivas de risco, futuramente esta área pode evoluir para um grau de risco maior.

Os setores de risco 5 e 6 (SR5 e SR6) apresentam taludes com alturas em torno de 9 a 15 m e declividade que variam de 45% a 75%. Os processos identificados forma erosões severas por ravinas e voçorocas. Dentre as causas e agravantes que contribuem para a instabilização do setor estão a ocupação na borda do talude por residência de pequeno e médio porte. Além disso, foi observado uma concentração da água da chuva em pontos argamassados na borda do talude, irrigação de plantas no centro da voçoroca, água servida no talude, agravadas ainda pelas fossas drenantes localizadas próximo a crista. A água dessas fossas quando infiltradas no solo agrava as condições de instabilidade dos taludes pela saturação do solo. Na tentativa de conter a erosão, moradores depositam entulho. Esses tipos de intervenção favorecem a instabilidade da base da voçoroca. No setor 6 (SR6) foram observados ainda pequenos deslizamentos planares, ocorridos entre os anos 2013-2016 e erosão superficial por sulcos ao longo do talude. Em ambos os setores a vegetação é formada por vegetação de pequeno porte e poucas árvores tortuosas, indicando processo de *creep*.

No setor 5 quatro residências estão vulneráveis. Uma dessas tem o muro na borda do talude e está em monitoramento, apresentando risco de queda. Segundo moradores mais antigos, a área cortada por uma estrada, foi destruída pelo forte processo de erosão que acabou evoluindo para voçoroca. Na parte interna, moradores aproveitam para plantio de cana de açúcar, árvores frutíferas e criação de porcos que estão constantemente sob risco de ser atingidos por queda de árvores.

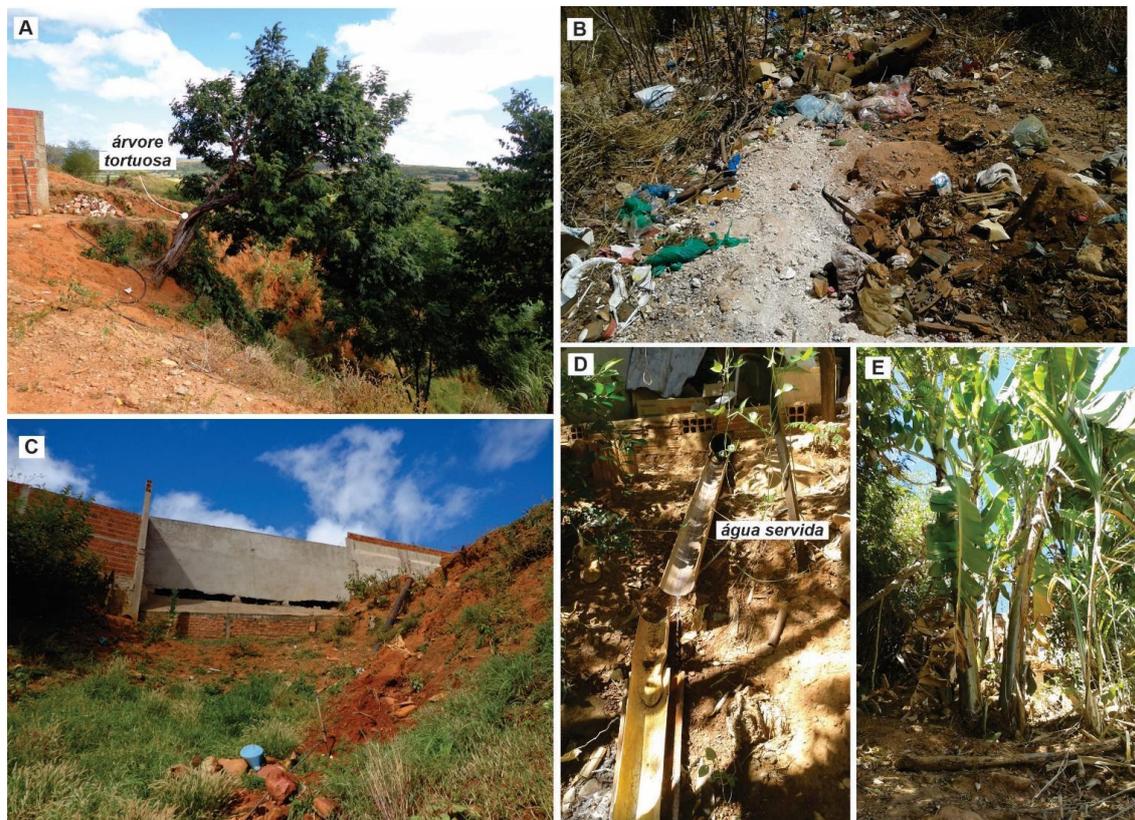
No setor 6, em 2016, ocorreu a queda parcial de uma moradia ainda em construção durante a quadra chuvosa, deixando sob risco de atingimento moradias e criação de suínos que se concentram nas proximidades da base desse talude. Neste setor zoneado encontram-se vulneráveis 08 residências, 2 com monitoramento pela proximidade com o talude e pelas ocorrências dos processos destrutivos.

Desta forma, diante das causas e fatores naturais e antrópicos que agravam esta área, levando em consideração também os critérios de determinação do grau de risco, estes setores apresentam um risco alto (R3), por apresentarem risco de vida e perdas econômicas.

O último setor zoneado no bairro Tupinambá, setor de risco 7 (SR7), apresenta dimensões em torno de 322 m² e taludes com altura em torno de 2 metros de altura e declividade que variam de 20 a 45%. O processo atuante identificado foi apenas erosão superficial por sulcos. O topo dos taludes normalmente é ocupado por residências de pequeno porte, com concentração de bananeiras na base do talude e lixo e entulho na sua borda, contribuindo assim para instabilização parcial.

Neste setor zoneado encontram-se vulneráveis 13 residências de pequeno porte, que não apresentam nenhuma recorrência de processos destrutivos ao longo dos anos. Diante das poucas evidências de suscetibilidade e vulnerabilidade, a princípio esta área não apresenta grande risco para a população residente (risco baixo, R1), porém com potencial para evoluir para um risco médio.

Figura 3. Processos geomorfológicos em setores de risco do Bairro Tupinambá.



SETORES DE RISCO DO BAIRRO ALTO DO ROSÁRIO

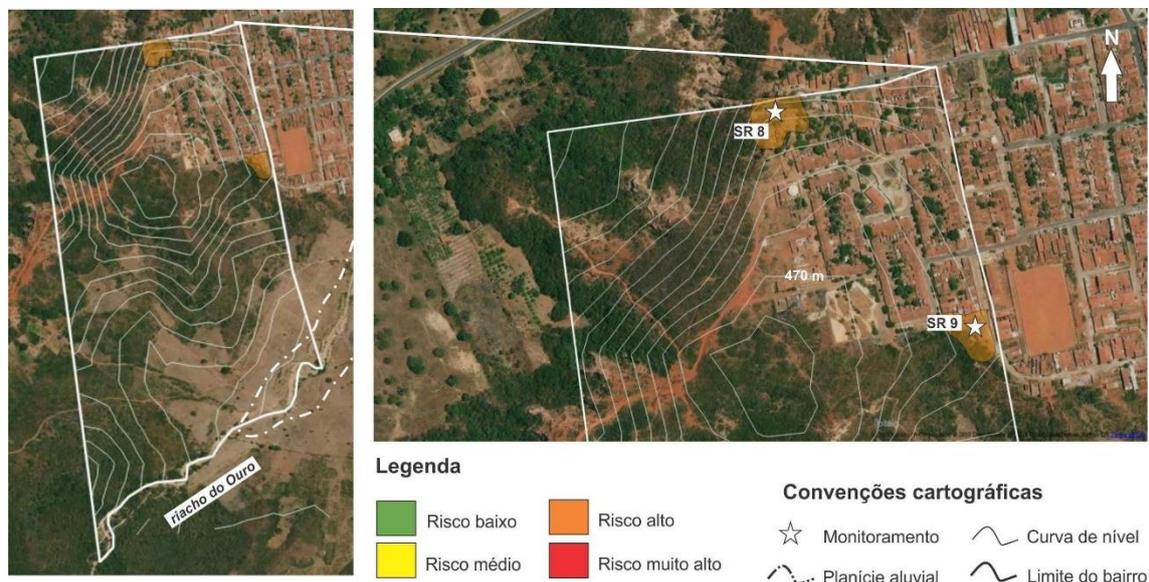
O bairro Alto do Rosário apresenta uma população residente de 924 pessoas, 1,9 % da população total do município. Nesse bairro foram zoneados dois setores de risco. Em sua caracterização geral foi possível observar um modo de ocupação parcialmente consolidado, com algumas áreas de solo exposto. O padrão das edificações em sua totalidade é de alvenaria que variam de pequeno a médio porte.

O setor de risco 8 (SR8) apresenta dimensões em torno de 333 m² com taludes em torno de 25 metros de altura e declividade maior que 75%. Neste setor foram identificados alguns fatores de suscetibilidade que contribuem para a instabilidade do solo, como erosões superficiais por sulcos e erosão severa por voçorocas. Além destes, outro fator identificado foi o deslocamento de solo em pontos mais íngremes do talude (Figura 5e).

Dentre as causas e agravantes da instabilização do setor tem-se: a ocupação da borda do talude por residências que concentram o lançamento de águas servidas e lixo, obstruindo os pontos de drenagem e exercendo peso sobre o talude, contribuindo ainda para proliferação de doenças. No topo pode-se identificar a presença de algumas árvores de grande porte que também exerce sobrecarga sobre talude. Há também a presença discreta de uma vegetação rasteira e arbustiva ao longo da borda talude que, de certa forma, minimiza o avanço de processos erosivos. Ao contrário do topo onde o solo encontra-se totalmente desnudo, bem mais vulnerável a tais processos.

No setor 8 estão vulneráveis um total de 04 residências sendo que 01 está sob ameaça mais intensa dos fatores destacados anteriormente e, por isso, em constante monitoramento por parte de órgãos públicos responsáveis. Diante dos fatores levantados e comparados com os critérios de determinação do grau de risco do Ministério das Cidades, apresentado por Brasil (2007) este setor caracteriza-se assim em um grau de risco alto (R3) (Figura 4).

Figura 4. Áreas em situação de risco do bairro Alto do Rosário



O segundo setor de risco do bairro Alto do Rosário, setor de risco 09 (SR9) do município, apresenta dimensões em torno de 248m², com taludes em torno de 15 metros de altura e declividade entre 45% e 75%. Os fatores de suscetibilidade evidentes na área são voçorocamento e ravinamento. O primeiro foi causado pela retirada de vegetação e pela presença de uma canaleta de drenagem no topo em direção ao talude. O segundo pelo lançamento de águas servidas no solo sem proteção vegetal.

Outro processo atuante que intensifica o risco no setor 09 é o movimento gravitacional de massa. Neste setor foi identificado movimento do tipo planar de pequena escala, raso e constituído apenas de solo (Figura 5c). Esse tipo de deslizamento planar é o mais frequente entre todos os tipos de movimentos de massa. Caracteriza-se por serem rasos, e ocorrem em encostas tanto de alta como de baixa declividade. O material transportado pode ser constituído de rocha, de solo e de solo e rocha (TOMINAGA, 2009).

As causas e agravantes que desestabilizam o setor é a ocupação nas proximidades e na borda do talude, onde as residências estão a pouco menos de um metro de distância. A maioria dos telhados e calhas das moradias concentra a água da chuva em direção ao talude, intensificando assim o risco geomorfológico do setor. Todas as fossas das residências foram construídas nas proximidades da crista do talude. A infiltração de água oriundas das fossas drenantes tem sido a causa de vários acidentes. Há também lançamento constante de lixo e entulho que exerce um sobre peso sobre o talude. A vegetação neste setor é de médio porte e arbustiva, as mais próximas do talude apresentam raízes expostas devido ao avanço do processo de erosão (Figura 5b e 5f).

Em 2015 houve neste setor uma recorrência de processos destrutivos, com queda parcial de um muro durante a quadra chuvosa. Há um total de 04 residências para monitoramento, sendo que apenas 01 está ameaçada devido as condições de instabilidade do talude. Diante das características gerais apresentadas pelos fatores de suscetibilidade e vulnerabilidade este setor se enquadra em uma classificação de risco alto (R3).

Figura 5. Processos geomorfológicos nos setores de risco do bairro Alto do Rosário

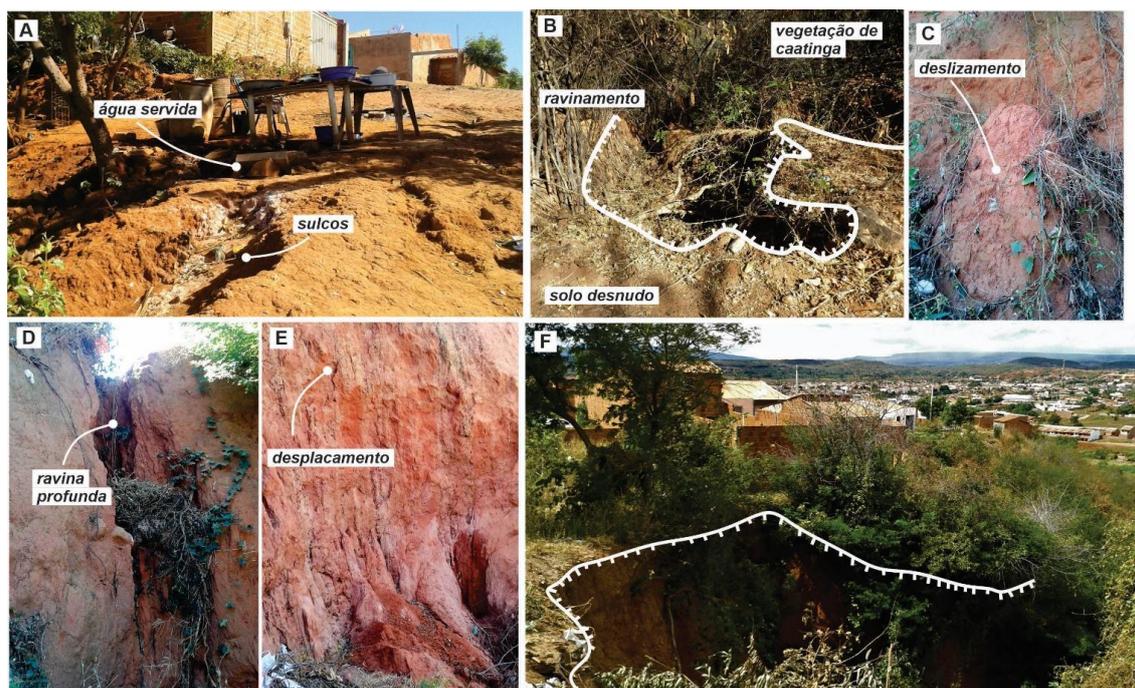


Tabela 2. Setores e graus de riscos ambientais nos bairros Tupinambá e Alto do Rosário

Setor de Risco (SR)	Grau de Risco (R*)	Nº de casas do setor	Nº de casas Ameaçadas	Nº de casas p/Remoção	Nº de casas Destruidas	Nº de casas Removidas
SR 1	R3	03	01	-	-	-

SR 2	R2	06	-	-	-	-
SR 3	R4	08	04	-	03	-
SR 4	R2	16	-	-	-	-
SR 5	R3	04	01	-	-	-
SR 6	R3	08	02	-	-	-
SR 7	R1	13	-	-	-	-
SR 8	R3	04	01	-	-	-
SR 9	R3	04	01	-	01	-

Erosões e deslizamentos de diferentes magnitudes e frequências são analisados no planalto do Araripe como parte da geodinâmica de retração da escarpa e coluvionamento das encostas (LIMA et al., 2023). No entanto, como observado neste trabalho, mesmo os processos geomorfológicos recentes e de menor intensidade, em associação com a precariedade das ocupações, estabelecem situações de riscos ambientais. Esses processos, como ravinas, voçorocas, *creep* e pequenos deslizamentos apresentam um controle essencialmente antropogênico, resultado, corroborando com Soares e Ribeiro (2006), da falta de rede de esgoto e pavimentação, além de retirada da vegetação e compactação do solo.

Quanto ao planejamento ambiental, as ações de gestão de risco na Região Metropolitana do Cariri, de acordo com Bandeira et al. (2016), ainda são incipientes. As autoras afirmam que é necessário a participação da comunidade nas ações de defesa civil, além da interação de órgãos governamentais e instituições de pesquisas, na tentativa de criar uma percepção de risco e o desenvolvimento urbano de qualidade.

CONCLUSÕES

A metodologia de classificação de setores de riscos hierarquicamente organizados com dados qualitativos e quantitativos empregados, através de imagens de satélite e trabalho de campo se mostrou uma ferramenta importante para observação em detalhe de processos de superfície, usos e situação de moradias. Dessa maneira foi possível identificar a caracterizar processos geomorfológicos como erosões lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) e movimentos gravitacionais de massa, como *creep* e deslizamentos planares de pequena escala, além dos controles ambientais associados.

A dinâmica da paisagem em questão tem controles ambientais diversos. Este estudo demonstrou que os usos da terra, especialmente pela expansão de áreas urbanas e a baixa qualidade de moradia induzem a situações de risco relacionadas a processos morfodinâmicos antropicamente induzidos. A maior parte dos setores de riscos mapeados tem como fatores de instabilidade de taludes as ações antrópicas de usos e ocupação, geralmente associado a falta de planejamento e estrutura de saneamento, como lançamento de lixo, entulho e águas servidas no talude e instalação de fossas drenantes. Soma-se a essas intervenções, a ausência de canaletas de drenagem, retirada de material da base dos taludes para construção, cultivo de espécies que favorecem a instabilidade, a exemplo de bananeiras, além de retirada da vegetação que recobre a superfície, ocasionando a exposição do solo a agentes erosivos.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. Atelie Editorial, 2003.
- AZAMBUJA, R.N.; CORRÊA, A.C.B. Geomorfologia e áreas de expansão urbana do município de Garanhuns-PE: uma abordagem espaço-temporal dos eventos morfodinâmicos para o planejamento territorial. *Geo UERJ*, v. 27, p. 202-233, 2015.
- BANDEIRA, A.P.N.; NUNES, P.H.S.; LIMA, M.G.S. Gerenciamento de riscos ambientais em municípios da Região Metropolitana do Cariri (Ceará). *Ambiente & Sociedade*, v. 19, p. 65-84, 2016.
- BRASIL. Ministério das Cidades/ Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios. Brasília: Ministério das Cidades/ Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.
- BRITO, D. S.; SILVA, F. M. A. Análise das distribuições pluviométricas municipais no triângulo Crajubar-CE (1985-2015). *Anais... X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA*, 12.; Goiânia-GO, 2016.
- CPRM (Serviço Geológico do Brasil). Hidrogeologia da porção oriental da bacia sedimentar do Araripe: caracterização geológica e geométrica dos aquíferos: revisão geológica e levantamento geofísico. MME/MCT, 2007.
- FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos). Levantamento de reconhecimento de média intensidade de solos: mesorregião do sul cearense. Fortaleza, 2012.
- GOUDIE, A. The human impact on the natural environment: past, present, and future. 6. ed. Blackwell Publishing, 2006.
- IPECE (Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará). Índice de Desenvolvimento Municipal do Ceará (IDM). Fortaleza-CE, IPECE, 2019.
- LIMA, F.J.; CORRÊA, A.C.B.; LIMA, G.G.; MARÇAL, M.; PAISANI, J.C.; PONTELLI, M.E. Late quaternary geomorphological evolutionary dynamics of the Araripe sedimentary plateau, northeast of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 124, 104244, 2023.
- LIMA, G. G.; MARÇAL, M.; CORREA, A. C. B.; LIMA, F. J. Landscape evolution of the Salamanca watershed, Araripe Plateau: insights from a river channel morphological classification. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 107, 103013, 2021.
- LIMA, G.G.; BARROS, A.C.M.; CORREA, A.C.B.; MARÇAL, M. Fluvial connectivity in the Brazilian semi-arid, Araripe sedimentary plateau. *Physis Terrae*, v. 4, n. 1-2, p. 21-44, 2022.
- MACEDO E.S.; BRESSANI, L.A. Diretrizes para o Zoneamento da Suscetibilidade, Perigo e Risco de Deslizamentos para Planejamento e Uso do Solo. Ed. São Paulo: ABGE- ABMS, 2013.
- MONT'ALVERNE, A.A. F./ DNPM. Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Araripe. Recife: MME/ DNPM; 1996.
- OLÍMPIO, J.L.S.; ZANELLA, M.E. Distribuição espaço-temporal dos desastres naturais associados à dinâmica climática no estado do Ceará. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 30, p. 110-131, 2015.
- SILVA, F.M.A.; BRITO, D.S.; RIBEIRO, S.C.; BANDEIRA, AP.N. Mapeamento geomorfológico da microbacia do rio Salamanca em Barbalha/CE. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 11, p. 35-46, 2017.
- SOARES, R.C.; RIBEIRO, S.C. Feições erosivas e movimentos gravitacionais de massa nas áreas urbanas e periurbanas de Barbalha/CE com vistas ao planejamento urbano-ambiental: subsídios para a carta de cadastro. *Anais... SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA*, 6. Goiânia-GO, 2006.
- SOUZA, M.J.N. Contribuição aos estudos das unidades morfo-estruturais do estado do Ceará. *Revista de Geologia*, v. 1, p. 73-91, 1988.
- TOMINAGA. L.K. Escorregamentos. In: TOMINAGA. L. K.; SANTORO. J.; AMARAL. R. (Orgs.). *Desastres Naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2009, p. 25-38.