
Susceptibilidade erosiva em bacia

hidrográfica na Amazônia: exploração da paisagem e soterramento de nascentes na sub-bacia do Jaurucu em Brasil Novo, Pará

Erosive susceptibility in watershed in Amazonia:
landscape exploration and burial of springs
in the Jaurucu sub-basin in Brasil Novo, Pará

Danyelly Feitosa da Costa

Wellington de Pinho Alvarez

José Antônio Herrera

Universidade Federal do Pará (UFPA); Faculdade de Geografia (FacGeo).
Altamira (Pará), Brasil
danyellyfeitosa@gmail.com; walvarez@ufpa.br; herrera@ufpa.br

Resumo

Dentro de um geossistema todos os componentes naturais encontram-se em relação de interdependência e múltipla influência, onde a paisagem é a síntese das trocas energéticas. A pesquisa relaciona susceptibilidade erosiva à desestabilidade do geossistema local devido a intensa antropização da área da microbacia do Jaurucu; para isso, foram relacionadas as variáveis como a hipsometria, declividade, pedologia e uso do solo, sendo reclassificadas e estabelecendo valores inteiros entre 1 e 3, para baixa erodibilidade, média erodibilidade e alta erodibilidade, respectivamente, destarte com média ponderado das variáveis especializou as diferentes áreas de susceptibilidade erosiva. Finalmente, nas áreas de alta susceptibilidade erosiva foram identificadas 32 voçorocas, quais pela erosão aterram nascentes e assoreiam o canal fluvial dos cursos perenes.

PALAVRAS-CHAVES: bacia hidrográfica; voçorocas; nascentes.

Abstract

Within a geosystem all the natural components are in relation of interdependence and multiple influence, where the landscape is the synthesis of the energy exchanges. The research related erosive susceptibility to the local geosystem's volatility due to the intense anthropization of the Jaurucu sub-basin area. Therefore, the variables such as hypsometry, slope, pedology and soil use were related, being reclassified and establishing integer values between 1, 2 and 3, for low erodibility, medium erodibility and high erodibility, respectively, with a weighted average of volatiles, the different areas of erosive susceptibility were spatialized. Finally, in the areas of high erosive susceptibility, 32 gullies were identified, which by erosion land in springs and sediment the fluvial channel of perennial courses.

KEY WORDS: hydrographic basin; gullies; springs.

1. Introdução

O conceito de geossistema foi introduzido pelo geógrafo soviético Víctor Borisovich Sochava, no qual abordou a proposta sistêmica no estudo das paisagens como unidades espaciais, entidades totais. Considerou a organização sistêmica como algo inerente à natureza e à superfície do globo. Nesta perspectiva, o geossistema é o espaço terrestre de todas as dimensões, onde todos os componentes naturais encontram-se em uma relação de múltipla influência e dependência (Rodriguez *et al.*, 2015).

A análise da paisagem e de seus componentes naturais para Sochava deve ser feita de forma total, por meio do foco sistêmico, mais precisamente no geossistema onde cada componente é abordado como um subsistema do geossistema natural, propriamente aberto (Bertalanffy, 2010). A partir do geossistema é possível analisar a paisagem, bem como compreender o desenvolvimento de vertentes como eventos relacionados a trocas energética naturais ou potencializados pela ação humana.

As vertentes desenvolvem-se através dos processos morfogenéticos e são catalisados pelos vários tipos de intemperismo, sendo os responsáveis pela modelagem das formas de relevo. Estes processos trazem informações de ordem teórica e prática. Christofolletti (1980) aponta que as vertentes podem se desenvolver de maneira natural, bem como ser contribuído pelas ações humanas.

Segundo Christofolletti (1980), os processos morfogenéticos podem ser divididos em categorias que são responsáveis pela forma das vertentes. O processo morfogenético pluvial é um dos mais importantes, que junto com a ação biológica, que é a ação morfogenética dos seres vivos, irão promover a modelagem das vertentes.

Sobre isso, destaca-se que a declividade de uma vertente não consegue aumentar indefinidamente com o crescer da ordem da bacia, pois “quando o sistema vertente-curso de água está em equilíbrio, então toda a bacia hidrográfica pode ser considerada

como em estado de ajustamento” (Christofolletti, 1980: 60). Portanto, a declividade e os cursos fluviais influenciam bastante no desenvolvimento de vertentes; por conseguinte, nas bacias hidrográficas com declividade elevada e com usos intensos, especialmente desestabilizadores do geossistema, os processos erosivos como as voçorocas se tornam mais evidentes.

Outro fator importante para análise de voçorocas é a hipsometria, que conjugada com o uso do solo e a rarefação de vegetação original protetora do solo, contribui positivamente para o desenvolvimento de voçorocas. Neste contexto, a vegetação possui um efeito estabilizador por ter função de anteparo aos fluxos de radiação eletromagnética (REM), permitindo maior coalescência nas precipitações, além de contribuir para porosidade do solo, infiltração de águas nos aquífero superficial e frenar ações eólicas (Tricart, 1977). Desta forma, a substituição da vegetação primária por pastagem modifica o fluxo energético e conseqüentemente a interação entre os componentes da paisagem. Desta feita, as pastagens não protegem da mesma forma o solo quando ocorrem precipitações contínuas; nota-se que a intensa recepção da REM resseca o solo e a depender da textural arenosa, argilosa ou siltosa pode formar crostas de impermeabilização do solo ou aumentar a erosão laminar. Neste sentido, a pouca interceptação das chuvas, promove o rápido escoamento superficial, facilitando a formação de processos erosivos nas áreas mais íngremes, notadamente em bordas de cursos fluviais ou mesmo de nascentes.

Sabendo que as voçorocas podem ser provocadas por relações energéticas de determinado geossistema, ocorrendo, pois de forma natural, sendo potencializado pelas ações do homem. A degradação antrópica acrescida de fatores naturais, neste caso, o uso do solo para produção agrícola e para a pecuária em áreas naturalmente instáveis pela particularidade pedológica e declivosa,

provocou a gênese de voçorocas ou ampliação de desenvolvimento, sendo, portanto, manifestação da desestabilidade, representado na alta susceptibilidade erosiva das áreas onde ocorre, isto pode provocar soterramento das nascentes, prejudicando o fluxo da bacia hidrográfica como acontece na sub-bacia do Jaurucu.

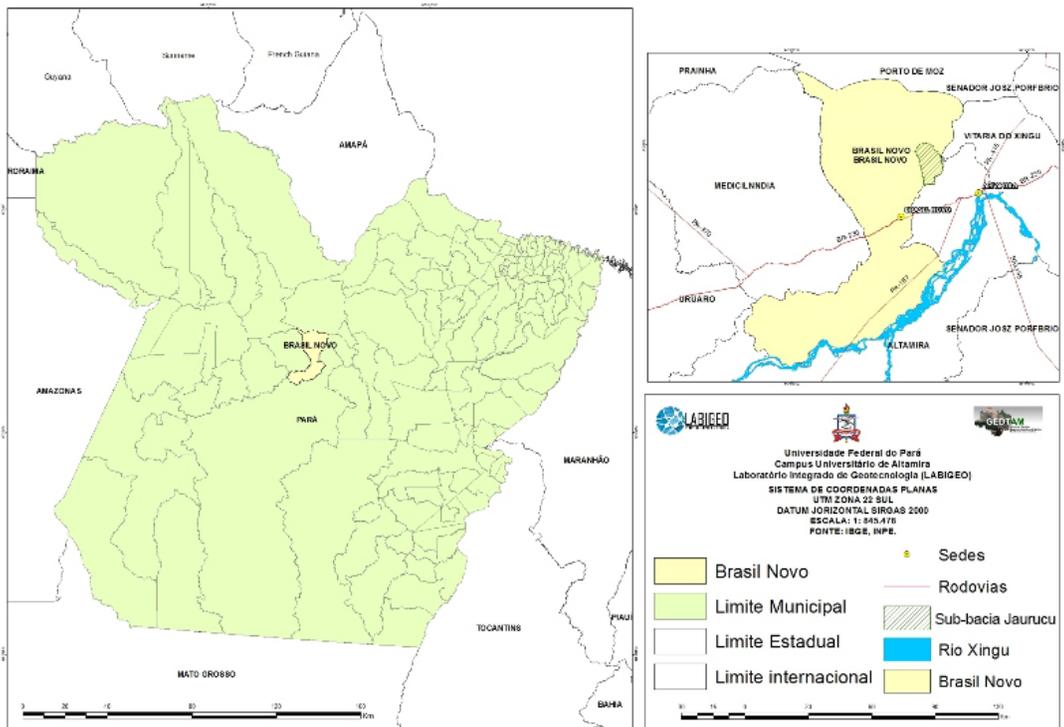
2. Materiais e métodos

A sub-bacia do rio Jaurucu está localizada entre o município de Altamira e Brasil Novo, principalmente em Brasil Novo ambos no estado do Pará, conforme FIGURA 1. O modelo digital de elevação (DEM) utilizado na pesquisa foi produzido pelo satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*), sendo produto do sensor de micro-ondas PAL-

SAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) para obter imagens sem interferência de nebulosidade. O DEM foi corrido para assumir resolução espacial de 12,5 metros, sendo possível o *download* no site <http://vertex.daac.asf.alaska.edu>. Para realizar a classificação do uso do solo foi feito *download* da cena 226/62 do satélite Landsat 8 no site Sistema Geológico Americanos (USGS), (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

Para modelagem hidrológica foi utilizado o *software* Terrahidro da plataforma terralib disponível pelo INPE; no mesmo foi corrigido o DEM, com a ferramenta DEM FILL para preencher espaços vazios nos pixels de elevação; logo em seguida extraiu-se o *flow extraction*, depois a *contributing area*, em seguida *Drainage extraction* com linear de 517, suficiente para obter maior quantidade de canais

FIGURA 1 Localização da sub-bacia do rio Jaurucu



nas mais diversas ordem (Christofoletti, 1980), e por fim a *watershed delineation* com objetivo de extrair e delimitar a bacia hidrográfica da pesquisa.

Para compreender a morfologia da bacia foi utilizado o *software* Qgis 1.8 onde foi possível processar o DEM com a ferramenta de análise do terreno tendo como resultado a declividade classificada conforme a Embrapa (1979), com o mesmo *software* fora feita a hipsometria da bacia.

O mapeamento do uso do solo na bacia foi realizado por meio de classificação supervisionada, a partir de uma imagem de Landsat 8 da cena 226/62, do dia 27 de julho de 2017. Foi feita composição RGB com a banda 6, 5 e 4, e após a composição utilizamos a ferramenta extrair e recorte no Qgis 1.8 para cortar a área da bacia e poder utilizá-la para classificar. Para fazer a classificação supervisionada, utilizamos *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP). Neste, foi coletado amostras de áreas associadas a cores de acordo com as áreas homogêneas e criando as classes, depois da coleta criamos um arquivo de saída, após de processado foi gerado as 4 classes que escolhemos (Floresta, Vegetação Secundária, Pastagens e Rios).

Na perspectiva pedológica, o solo presente na bacia é predominantemente o Latossolo Amarelo distrófico, ou seja, um solo de evolução avançada, com horizonte 'A' profundo e incipiente desenvolvimento de 'B' textural (EMBRAPA, 2006), em que se destaca baixa ou inexistente camada arável e com baixíssimos valores de soma de bases. Deste modo, nesta área não é adequado à supressão vegetal, pois a exposição excessiva a REM pode provocar sérios danos a paisagem local; do mesmo modo, a criação extensiva de gado provoca a compactação do solo argiloso e fragmentação de solos arenosos provocando formação de crostas e erosões laminares.

No intuito de saber a suscetibilidade erosiva na bacia, as variáveis produzidas: hipsometria, declividade e uso do solo, foram convertidas aos

formatos raster, acrescido da pedologia local. Após isso, fora reclassificada conforme adaptação à metodologia proposta por Ross (1993), em que se reclassifica as variáveis anteriores para criação de 3 (três) classes em cada uma, estabelecendo valores de 1 (um) para classes pouco susceptíveis a erosão, 2 (dois) para classes de moderada susceptibilidade e 3 (três) para alta susceptibilidade erosiva. Vale afirmar que Latossolo, por suas características naturais, sendo solos antigos, profundos, distróficos com ph entre 4,0 e 5,5, predominando na sub-bacia textura arenosa, foi lhe conferiu o valor 3 para susceptibilidade erosiva conforme Ross (1993). Reclassificadas as variáveis na bacia, com uso da calculadora de *raster* no Qgis 1.8, mensurou-se a susceptibilidade erosiva, através da ponderação das classes conforme a fórmula a seguir:

$$\text{Susceptibilidade erosiva} = ([\text{decl_reclass}] * 0,30) + ([\text{hips_reclass}] * 0,15) + ([\text{solos_reclass}] * 0,20) + ([\text{uso_reclass}] * 0,35)$$

O resultado do cálculo demonstrou a susceptibilidade erosiva, o grau de fragilidade da bacia e possível soterramento de nascentes.

3. Resultados e discussões

As voçorocas são processos erosivos naturais, porém sua gênese e desenvolvimento são potencializados pelo uso intenso, neste sentido, os recursos existentes na paisagem são explorados por atividades econômicas diversas, tais como a madeireira, mineração, agricultura e principalmente a pecuária extensiva, que realizada de forma não planejada, tem provocado significativas degradações. Neste sentido, é válido afirma que a paisagem como um sistema aberto, manifesta as trocas de energia entre os diversos componentes do geossistema (Rodriguez *et al.*, 2017), que estando em estreita relação uns com os outros, transformam a parte e o todo (De Paula *et al.*, 2014). Desta feita, a paisagem demonstra

através dos sentidos alterações no fluxo de energia, apresentando de maneira visual perturbações do geossistema, cuja principal característica são as alterações no movimento da matéria verificada a partir das degradações.

Nesta perspectiva, a paisagem é alvo de ações para exploração e controle. No Brasil foi essencial para dispersão produtiva e ocupacional, sendo pautado pelo Estado diferentes ordenamentos com objetivo de explorar seus recursos (Herrera *et al.*, 2016), provocando na Amazônia um conjunto de modificações, devidamente ancoradas no processo produtivo (Miranda Neto, 2016). Empiricamente, a exploração da paisagem realizada pela leitura equivocada do potencial paisagístico (Ab'saber, 2003) promoveu na Amazônia, particularmente na sub-bacia do Jaurucu, alterações significativas do fluxo energético e matéria, desestabilizado a paisagem local. Na sub-bacia do Jaurucu verifica-se intensa supressão vegetal tornando os solos ressecados, quebradiços, estando mais suscetíveis a lavagem e a erosão.

A hipsometria da bacia apresenta-se faixas que iniciam em 62 m e alcança valores superiores a 210 m (FIGURA 2), grande parte dela encontra-se em faixas inferiores a 200 m de altitude, é acima destas a localização dos divisores de águas, importantíssimos no fluxo hídrico da bacia. Está ortometria facilita a compreensão das declividades do terreno e o encaixamento da bacia, contribuindo para fluidez hídrica e a demarcação de nascentes.

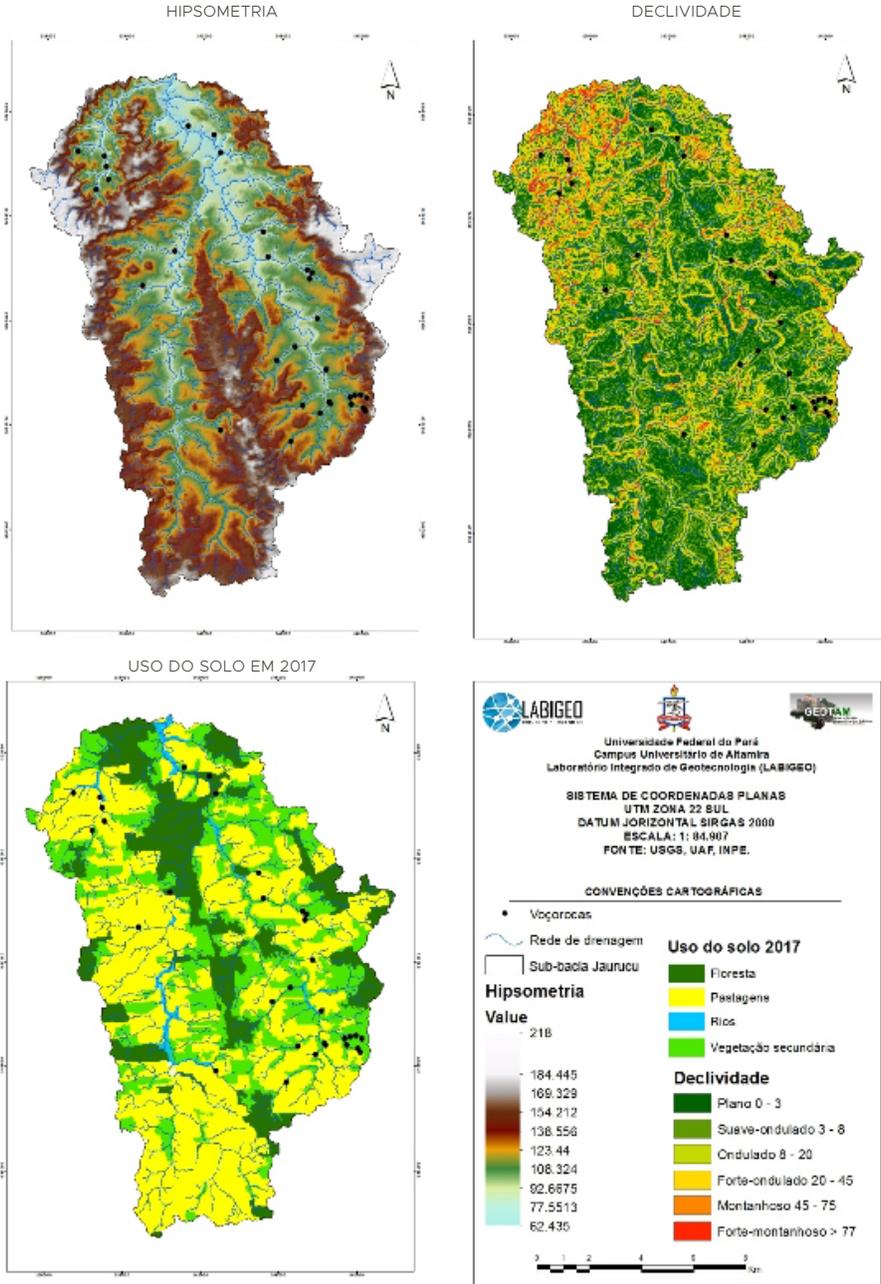
A sub-bacia do Jaurucu possui uma declividade bastante ondulada, sendo mais de 50% de sua área com relevo plano ou plano suave-ondulado, porém é notável a presença de declividades que vão de montanhoso a fortemente montanhoso, respectivamente (Figura 2). Neste contexto, a declividade demarca as vertentes das bacias, sendo estas um dos elementos principais para os processos erosivos, tal como a formação de sulcos erosivos, ravinas e voçorocas.

Além da declividade, o tipo de solo presente na bacia pode potencializar o surgimento de voçorocas. O solo predominante é Latossolo Amarelo distrófico, apresentando translocamento de óxidos de ferro para horizontes mais profundos, tendo como marca profundidade superior a 1 m. Este solo é bastante intemperizado, sendo nesta região muito antropizado devido à supressão vegetal, queima e formação de pastagens para pecuária extensiva. O referido apresenta horizonte 'A' antrópico (Apf), com pouco ou nenhum horizonte orgânico (Op). Na bacia a antropização do solo ocorre em geral para formação de pastagens, que ocupa áreas protegidas por lei como encostas e topos de morro, cursos fluviais e nascentes (Brasil, 2012).

Conforme a FIGURA 2, o uso predominante na sub-bacia está voltado para criação de gado de corte em pastagem extensiva. A supressão da vegetação para exploração madeireira, bem como a formação de áreas de plantio e pastagens expõe o solo a variadas intempéries, como o pisoteio do gado, compactação de horizonte textural argiloso, fragmentação de texturas arenosos, lixiviação, perda de biomassa, baixa infiltração e aeração. O solo não absorve facilmente a água da chuva, pois se apresenta pouco poroso, promovendo o escoamento superficial mais rápido, facilitando a formação de sulcos erosivos, ravinas e, finalmente, voçorocas, nesta última ocorrem os maiores desmoronamentos de terra que em grande parte soterram nascentes e assoreiam canais fluviais.

A susceptibilidade erosiva da bacia foi dividida em 3 valores: baixa, média e alta. É possível verificar que as áreas de florestas apresentam uma pouca susceptibilidade à erosão, por estarem com a sua vegetação mais densa, que segundo Tricart (1977) são meios estabilizadores. Com cobertura vegetal suficientemente fechada, a vegetação arbórea funciona como um freio eficaz ao desencadeamento dos processos mecânicos da morfogênese. Pois, não permitiu incisão violenta de sedimentos nos

FIGURA 2 Morfologia e uso do solo na sub-bacia Jaurucu



curtos d'água, ao contribuir para diminuição da erosão provocada pela desagregação do solo a partir da pressão provocada pela chuva; deste modo, a vegetação regula o fluxo energético entre energia potencial gravitacional e energia cinética; não por acaso, ausência de vegetação arbórea aumenta a susceptibilidade erosiva conforme destaca FIGURA 3.

Os locais que apresentam média e alta erodibilidade são espaços marcados pela presença de pastagens, área onde estão todas as voçorocas, sendo 32 (trinta e duas), conforme é representado na FIGURA 3. Estas manifestam instabilidade segundo destaca Tricart (1977), meios onde à morfogênese é o elemento predominante da dinâmica natural e fator determinante do sistema natural, onde a degradação antrópica cataliza a morfodinâmica local que acaba por degradar rapidamente os solos

existentes. Esse fenômeno não só limita o uso do solo, como também afeta os materiais móveis de formações superficiais sedimentares e rochas quais problematizam os demais componentes da paisagem ampliando a desestabilidade local.

De forma geral, a bacia apresenta-se extremamente antropizada, é, pois, economicamente utilizada para atividades ligadas a pecuária extensiva, isto, acrescido, da intensa exploração pedológica, geomorfológica torna a área suscetível ao desequilíbrio, como destaca a TABELA 1.

A partir da TABELA 1 pode-se verificar a quantidade de voçorocas presente nessa bacia e onde estão localizadas, sendo possível perceber que a maioria está presente em declividade forte ondulada, estando todas em áreas de pastagem e em encostas com canal fluvial perene. Esses dados

FIGURA 3 Mapa de susceptibilidade erosiva da sub-bacia Jaurucu

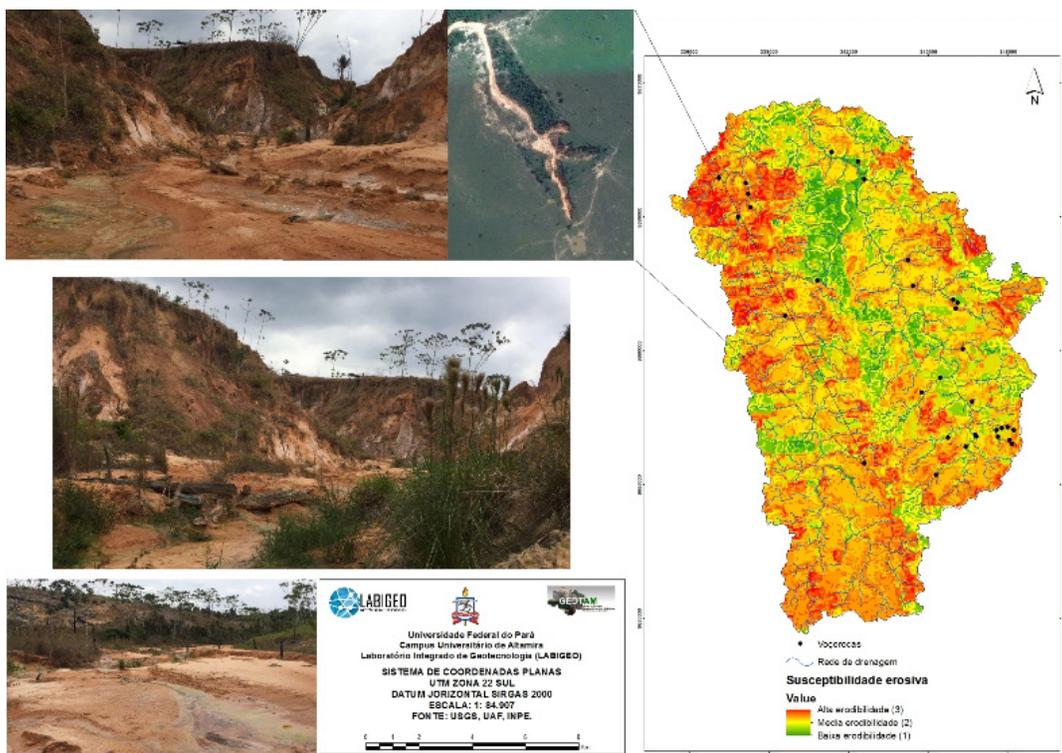


TABELA 1 Síntese da susceptibilidade erosiva na sub-bacia do Jaurucu
FONTE: PESQUISA DE CAMPO, 2017

Voçorocas	Hipsometria	Uso do solo	Pedologia	Canal fluvial
3	58 ---- 73	Pastagem	Latossolo Amarelo distrófico	Sim
5	73 ---- 88			
14	88 ---- 103			
8	103 ---- 118			
2	118 ---- 122			
Declividade				
4	Ondulado			
28	Forte Ondulado			
Susceptibilidade erosiva				
28		Alta		
3		Média		
1		Baixa		

demonstram a relação e a interdependência entre os componentes da paisagem, a desestabilidade por meio da gênese e desenvolvimento de voçorocas, das quais mais de 80 % estão em área de alta susceptibilidade erosiva.

Por efeito, a interação dos elementos componentes da paisagem, sua desestabilização especialmente em terrenos como maiores altitudes e declividades podem acabar afogando as partes baixas dos relevos (FIGURA 4), bases de vertentes (Tricart, 1977).

Ação do homem sobre a paisagem, na exploração do recurso madeireiro, mineral, agrícola e pastoril na bacia, fez dessa um espaço extremamente antropizado, não estando adequado as determinações da lei das águas (Lei nº 9.433/97), onde a bacia hidrográfica é uma unidade territorial para a implantação da Política Nacional dos Recursos Hídricos (Brasil, 1997), que tem como objetivo assegurar uso racional e compartilhado dos recursos hídricos, basilado na dessedentação animal e disponibilidade de água para as gerações futuras. Sendo áreas ecologicamente frágeis, a sub-bacia do Jaurucu está encaixada em um conjunto de vertentes

que nos permite compreender a grande quantidade de voçorocas na bacia, totalizando 32 (trinta e duas). Marcando vertentes do sistema formador de drenagem de grandes rios, elas deveriam ser preservadas ou exploradas com um baixo impacto ambiental, conforme Comitê de Bacia Hidrográfica (Brasil, 1997), para não contribuir em processos erosivos em áreas naturalmente vulneráveis, como a sub-bacia do Jaurucu (FIGURA 4).

A voçoroca em questão, conforme FIGURA 4, possui mais de 300 m de comprimento e mais de 40 m de profundidade, sendo área de alta susceptibilidade erosiva. Seu desenvolvimento está associado à declividade do terreno, a ortometria local, ao solo e aos usos. Nesta voçoroca há intenso soterramento de nascentes pela diluição de horizontes carbonáceos, movimentos mecânicos de solos arenosos e argilosos, como verifica-se nas FIGURAS 3 e 4. Em pesquisa de campo foram encontradas mais de 10 nascentes na morfologia em anfiteatro (Ab'Saber, 2003), em declividade forte ondulado, isto acaba contribuindo para o soterrando de nascentes, prejudicando o curso fluvial e a bacia como um todo.

FIGURA 4 Imagem da Voçoroca com mais de 300 m. Fonte: arquivo pessoal (2018)



4. Conclusões

O surgimento das voçorocas dentro da sub-bacia Jaurucu decorre de conjunto de fatores, relacionados a desestabilidade do geossistema manifestado na paisagem. As voçorocas evidenciam a susceptibilidade erosiva na bacia e apresentam-se nas áreas de alta susceptibilidade.

O uso inadequado da sub-bacia tem por consequências desestabilidade energética, representada na suscetibilidade, bem como no desenvolvimento de voçorocas. No geossistema o soterramento de nascentes e assoreamento de canais fluviais são manifestações paisagísticas relacionadas a intensa antropização local. Por efeito, a susceptibilidade erosiva decorre de fatores naturais, entretanto, são os usos praticados pelas atividades econômicas

que promovem maiores alterações no fluxo de energia e matéria, neste sentido, a susceptibilidade erosiva resulta da combinação de fatores naturais e antrópicos.

Na sub-bacia do Jaurucu, a pecuária extensiva é responsável pela formação das voçorocas, sua existência determina processos ainda mais complexos, tais como assoreamento de canais fluviais e soterramento de nascentes. Estes por sua vez têm potencial para transformar toda bacia do Jaurucu, impactando o regime fluvial e a biota.

5. Nota

Projeto de pesquisa financiado pela Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA).

5. Referências citadas

- AB'SABER, A. 2003. *Domínios de natureza no Brasil: potenciais paisagísticos*. Ateliê Editorial. São Paulo, Brasil.
- BERTALANFFY, L. V. 2010. *Teoria Geral dos Sistemas: Fundamentos, desenvolvimento e aplicações*. Vozes (5. ed.). Petrópolis, Brasil.
- BRASIL. 1997. *Política Nacional de Recursos Hídricos*. Lei das Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. [Consulta: outubro, 2017].
- BRASIL. 2012. *Código Florestal*. Lei nº.12.651, 25 de maio de 2012. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/. [Consulta: dezembro, 2017]
- CHRISTOFOLETTI, A. 1980. *Geomorfologia*. Edgard Blücher (2ª ed.). São Paulo, Brasil.
- DE PAULA, E. M.; SILVA, E. V. da e A. GORAYEB. 2014. "Percepção ambiental e dinâmica geocológica: premissas para o planejamento e gestão ambiental". *Soc. & Nat.*, 26(3): 511-518.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). 1979. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Súmula da 10. *Reunião Técnica de Levantamento de Solos*. Rio de Janeiro, Brasil.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). 2006. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. (2ª ed). Rio de Janeiro, Brasil.
- HERRERA, J. A.; PRAGANA MOREIRA, R. e T. S. LIMA BEZERRA. 2016. "A Amazônia: expansão do capital e apropriação dos recursos naturais". *G&DR*, 12(2): 208-227.
- MIRANDA NETO, J. Q. 2016. *Os nexos de re-estruturação da cidade e da rede urbana: o papel da Usina Belo Monte nas transformações espaciais de Altamira-PA e em sua região de influência*. Faculdade de Ciência e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, São Paulo, Brasil. Tese de doutorado.
- TRICART, J. 1977. *Ecodinâmica*. IBGE. Diretoria Técnica, SUPREN. Rio de Janeiro, Brasil.
- RODRÍGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da e R. S. VICENS. 2015. "O legado de Sochava". *GEOgraphia*, 17(33): 225-233.
- RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da e A. P. BRITO CAVALCANTI. 2017. *Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental*. (4. ed) Edições UFC. Fortaleza, Brasil.
- ROSS, J. L. S. 1993. "Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados". Disponível em <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327/51063>. [Consulta: novembro, 2017].