



Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Volume 1 - Número 1 • Dezembro 2020



NESSE NÚMERO

1 - Geodiversidade aplicada ao planejamento territorial: um estudo de caso no sudeste do estado do Tocantins, Brasil

2 - O processo de avulsão do Rio Acre em Brasiléia, estado do Acre, Brasil

3 - Determinação indireta da erodibilidade do talude marginal da comunidade Fátima de Urucurituba, Município de Santarém, Pará, Brasil e sua relação com suscetibilidade à erosão fluvial

4 - Caracterização e Avaliação da Potencialidade do Geomorfofóssito Serra do Piriá, Pará, Brasil





**SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL – CPRM**

INFORME TÉCNICO-CIENTÍFICO DE PREVENÇÃO DE DESASTRES E ORDENAMENTO TERRITORIAL

V.1, N.1, DEZ. 2020

Publicação on-line seriada do Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial
Departamento de Gestão Territorial – DEGET

Disponível em: rigeo.cprm.gov.br

Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Av. Pasteur, 404 Urca - Rio de Janeiro - RJ - BRASIL
CEP: 22.290-255
Telefone:(21) 2295-0032

Contatos: seus@cprm.gov.br / solicita.deget@cprm.gov.br

COMISSÃO DE PUBLICAÇÃO

Diretora de Hidrologia e Gestão Territorial: Alice Silva de Castilho

Departamento de Gestão Territorial: Maria Adelaide Mansini Maia

Corpo Editorial: Carlos Schobbenhaus Filho, Cassio Roberto Silva,
Maria Adelaide Mansini Maia, Maria Angélica Barreto,
Sandra Fernandes da Silva, Diogo Rodrigues da Silva.

Editor: Eduardo Paim Viglio

Corpo de revisores: Aline Costa Nogueira, André Luis Invernizzi,
Débora Lamberty, Douglas da Silva Cabral, Heródoto Góes,
Iris Celeste Nascimento Bandeira, Ivan Bispo de Oliveira Filho,
José Luiz Marmos, Júlio César Lana, Marcelo Eduardo Dantas,
Marcelly Ferreira Machado, Melissa Franzen, Michele Silva Santana,
Patrícia da Fonseca Almeida, Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff,
Raimundo Almir Costa da Conceição, Rogério Valença Ferreira,
Sheila Gatinho Teixeira, Thiago Dutra dos Santos e Tiago Antonelli.

Revisão de texto: Irinéa Barbosa da Silva

Normalização bibliográfica: Rede de Bibliotecas Ametista

Editoração eletrônica: Divisão de Editoração Geral – DIEDIG

APRESENTAÇÃO - O INFORME

O Departamento de Gestão Territorial – DEGET desenvolve programas e pesquisas que visam à coordenação, supervisão e execução de estudos do meio físico, no âmbito das geociências, voltados para o Ordenamento Territorial e a Geologia de Engenharia Aplicada, como suporte aos gestores governamentais na elaboração de políticas públicas e no atendimento à sociedade em geral.

A atuação do Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM é ampla e diversificada, pensando nisso, o DEGET promoveu no final de dezembro de 2020 o lançamento do Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial, publicação seriada, com periodicidade semestral, com pretensão de divulgação breve dos resultados, de relevância científica, retirados de estudos efetuados para nossos projetos regulares dos setores de Geodiversidade, Patrimônio Geológico, Estudos geomorfológicos, Geoquímica Ambiental e Geologia Médica, Recuperação Ambiental e Geotecnia, com no mínimo quatro artigos por volume.

Todos os artigos do Informe encontram-se no link do Departamento de Gestão Territorial, Difusão do Conhecimento em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Difusao-do-Conhecimento-134>.

COMISSÃO DE PUBLICAÇÃO

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial
Departamento de Gestão Territorial - DEGET

A HISTÓRIA DO DEGET

O Serviço Geológico do Brasil - CPRM é uma empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, que tem as atribuições de Serviço Geológico do Brasil. Sua criação ocorreu pelo Decreto-Lei nº 764, de 15 de agosto de 1969 com o objetivo de atender as necessidades de mapeamento básico e de geologia geral que sirvam de orientação para as pesquisas individuais e específicas em todo o território brasileiro.

Com o advento da legislação ambiental em 1985, houve o aumento da demanda de informações voltadas ao meio ambiente, aos recursos hídricos, ao gerenciamento territorial e prevenção de desastres.

No período compreendido entre 1986 e 1989 a CPRM foi solicitada pelo então Ministério da Irrigação, a elaborar mapas de potencial de terras para agricultura irrigada para subsidiar o Programa Nacional de Irrigação – PRONI. A multidisciplinariedade das informações envolvidas despertou o interesse para uma variedade de questões ambientais que passaram a fazer parte das discussões do grupo formado pelo Diretor da Área de Operações – DAO, Hermes Augusto Verner Inda, do engenheiro agrônomo Ari Delcio Cavedon, Coordenador de Recursos Naturais do PRONI, da geógrafa Regina Celia Gimenez Armesto, responsável pelo projeto no âmbito da CPRM, e do geólogo Valter José Marques, chefe do Departamento de Geologia – DEGEO, e apontaram a necessidade da CPRM desenvolver trabalhos de geologia social, que contemplassem a harmonização de políticas públicas e desenvolvimento econômico, em bases sustentáveis, respeitando as favorabilidades e limitações do meio físico.

Para tanto, em 1989 foi criado, no âmbito do Departamento de Geologia – DEGEO, o Núcleo de Geologia e Engenharia de Meio Ambiente – NUGEMA, com função similar à uma incubadora de projetos, que inicialmente eram desenvolvidos em regime de cooperação com diferentes setores de governo, e com o apoio do quadro técnico de instituições parceiras.

Dentro desse escopo, em 1990, foi concebido o Programa Informações para Gestão Territorial – GATE, que tinha como missão produzir, adquirir e processar informações básicas sobre o meio físico, visando dar suporte técnico-científico às decisões dos responsáveis pelo planejamento e gestão dos variados e complexos espaços geográficos do território brasileiro, com relação a problemas ambientais relacionados a riscos geológicos, gerados pela ocupação desordenada dos espaços territoriais, tanto em regiões metropolitanas, como também em escala regional.

Em 1996, com a finalidade de gerir os projetos do Programa GATE, foi então criado o Departamento de Gestão Territorial – DEGET, com duas divisões: a DIGATE – Divisão de Gestão Territorial, responsável pelos projetos realizados nas regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul e a DIGEAM – Divisão de Gestão Territorial da Amazônia. Em 2016, a DIGEAM foi extinta, dando lugar à DIGEAP – Divisão de Geologia Aplicada, responsável pelos projetos que envolvem riscos geológicos e desastres naturais, enquanto na DIGATE são desenvolvidos os projetos relacionados aos temas geodiversidade, geoquímica ambiental, inventário do patrimônio geológico, mineração e meio ambiente etc.

Assim sendo, o DEGET consolida-se como o setor responsável pela execução de todas as atividades do Serviço Geológico do Brasil - CPRM relacionadas à Geologia Ambiental, à

Geologia de Engenharia e à Geologia aplicada a estudos de Planejamento Territorial. Neste contexto, a análise integrada do meio físico, que pressupõe uma avaliação conjunta das variáveis: rocha (Geologia); relevo (Geomorfologia); solos (Pedologia); clima (Climatologia); água (Hidrologia) e vegetação (Biogeografia), tem sido um dos pilares metodológicos do DEGET.

Devido à elevada complexidade e o alto nível de interdisciplinaridade de seus programas e projetos, o DEGET, na condução de seus trabalhos, utiliza-se de uma equipe multidisciplinar de profissionais para atender a sua missão institucional dentro do Serviço Geológico do Brasil, constituída por geólogos, com reforço de geógrafos e agrônomos.

Atualmente, as ações sob a responsabilidade do DEGET, estabelecidas no Programa Plurianual do Governo Federal estão focadas nas seguintes ações:

- **2D62 - Levantamento da Geodiversidade:** abrange projetos que reúnem mapeamento e informações sobre as adequabilidades e limitações frente ao uso e a ocupação do solo para a implantação de empreendimentos como agricultura, mineração, geoturismo, geoconservação e patrimônio geológico, aproveitamento dos recursos hídricos, sistema de informações geoambientais etc. Estão ainda incluídas áreas restritivas ao uso do solo devido a impedimentos legais, como unidades de conservação e áreas indígenas, áreas suscetíveis a riscos geológicos devido a expansão urbana, fontes poluidoras, entre outras aplicações. Nesta ação também estão incluídas os levantamentos do Patrimônio Geológico Nacional, a elaboração de Proposta de Geoparques e os levantamentos e monitoramentos de geoquímica ambiental e geologia médica;

- **20LA - Mapeamento Geológico-Geotécnico em Municípios Críticos com Relação a Riscos Geológicos:** compreende trabalhos e pesquisas visando a identificação e setorização de áreas de riscos; atendimentos emergenciais a municípios atingidos por eventos de risco; elaboração das cartas geotécnicas de aptidão à urbanização frente a desastres naturais; mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa e inundações; mapeamento de perigo a movimentos de massa; treinamento de técnicos da Defesa Civil em gerenciamento de riscos; bases de dados e Sistema Integrado de Dados para a Prevenção de Desastres Naturais – SID;

- **125 F - Implementação da Recuperação Ambiental da Bacia Carbonífera de Santa Catarina:** em decorrência da Ação Civil Pública, que condenou a União a recuperar os passivos ambientais das extintas empresas Carbonífera Treviso e Companhia Brasileira Carbonífera Araranguá – CBCA, a CPRM foi nomeada para executar o projeto de recuperação ambiental das áreas degradadas pela mineração do carvão no sul de Santa Catarina, que compreende obras e serviços de engenharia, iniciados em 2013. Trata-se de uma ação governamental de longo prazo, em função da extensão das áreas degradadas. O passivo ambiental da Carbonífera Treviso compreende aproximadamente 1.100 hectares de áreas mineradas a céu aberto, distribuídas em 11 áreas, das quais uma área foi concluída, duas áreas estão em obras, e outras duas em processo de licitação.

Regina Celia Gimenez Armesto

Cassio Roberto da Silva

Jorge Pimentel

Maria Adelaide Mansini Maia

Eduardo Paim Viglio

O NÚMERO 1

Neste primeiro número do **Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial**, é apresentada uma pequena mostra da diversidade de temas onde a atuação do DEGET – Departamento de Gestão Territorial se faz presente.

O primeiro trabalho apresenta um exemplo de aplicação do conceito de Geodiversidade, lançado a partir da década de 1990, no auxílio à gestão territorial na região sudeste do estado do Tocantins. Conhecer o meio físico, o espaço geográfico e suas diferentes características permite indicar as melhores formas de aproveitamento do território, bem como pré-avaliar os possíveis impactos ambientais decorrentes de atividades humanas. Este trabalho mostra um passo a passo de como efetuar este estudo de forma didática, definindo com clareza os conceitos utilizados.

Os segundo e terceiro trabalhos versam sobre estudos relacionados à dinâmica evolucionária dos rios na região amazônica. Como dizem os autores do segundo artigo, “Nesse tipo de ambiente natural, os processos de erosão, sedimentação e inundação são muito frequentes e atuantes...”. O rio Acre, na região de Brasiléia, no Acre, define a fronteira entre Brasil e Bolívia e a movimentação da calha e das margens demonstra que parte de um bairro poderá perder seu acesso terrestre, ficando do lado da Bolívia, trazendo uma série de conceitos e situações que precisam ser resolvidas.

O terceiro trabalho estuda um fenômeno muito característico da região amazônica, as “terras caídas”, termo que define o solapamento e escorregamento de grandes proporções das margens de grandes rios. Trabalhos anteriores definiram 236 áreas sob o risco de ocorrência deste fenômeno na região amazônica. Neste trabalho são efetuados estudos das características dos solos do talude marginal correlacionando-as com a suscetibilidade ao processo erosivo fluvial, tentando agregar conhecimento ao entendimento do processo e permitir a definição de formas de prever estes acontecimentos.

O último trabalho traz outro exemplo de utilização dos estudos de geodiversidade, voltado para a geoconservação. Ao inventariar geossítios, local bem delimitado geograficamente com valor singular do ponto de vista científico, pedagógico, cultural ou turístico, pode-se sugerir a criação de áreas de conservação denominadas de Geoqparques. Um geomorfossítio é um geossítio com características de relevo e na Serra do Piriá, região nordeste do Pará, existem exemplos muito raros de cavernas em rochas bauxíticas, que também possuem características de sítios arqueológicos. Para a avaliação foi usado um aplicativo web desenvolvido pelo SGB/CPRM denominado Cadastro de Sítios Geológicos – GEOSIT, obtendo-se para a Serra do Piriá uma classificação de valor científico de relevância internacional.

SUMÁRIO

1. Geodiversidade aplicada ao planejamento territorial: um estudo de caso no sudeste do estado do Tocantins, Brasil

Geodiversity applied to territorial management: a study case from the southeastern Tocantins State, Brazil

Marcelo Eduardo Dantas, Edgar Shinzato, Marcely Ferreira Machado,
Maria Angélica Barreto Ramos, Maria Adelaide Mansini Maia **7**

2. O processo de avulsão do Rio Acre em Brasileira, estado do Acre, Brasil

The channel avulsion process of the Acre river in Brasileira town, Acre State, Brazil

Marcelo Eduardo Dantas, Amílcar Adamy, Daniel Medeiros Moreira,
Maria Adelaide Mansini Maia **12**

3. Determinação indireta da erodibilidade do talude marginal da comunidade Fátima de Urucurituba, Município de Santarém, Pará, Brasil e sua relação com suscetibilidade à erosão fluvial

Indirect determination of the riverbank's erodibility nearby Fátima de Urucurituba community, Municipality of Santarém, Pará, Brazil and its relationship with susceptibility to fluvial erosion

Iris Celeste Nascimento Bandeira, Sheila Gatinho Teixeira **17**

4. Caracterização e Avaliação da Potencialidade do Geomorfossítio Serra do Piriá – Pará, Brasil

The Characterization and Potentiality Evaluation of the Serra do Piriá Geomorphosite, Pará, Brazil

Sheila Gatinho Teixeira, Marcelo Eduardo Dantas, Iris Celeste Nascimento Bandeira,
José Guilherme Ferreira de Oliveira, Rogério Valença Ferreira **26**

Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial | Departamento de Gestão Territorial

V. 1, N. 1 Rio de Janeiro, dezembro 2020

Geodiversidade aplicada ao planejamento territorial: um estudo de caso no sudeste do estado do Tocantins, Brasil

*Geodiversity applied to territorial management:
a study case from the southeastern Tocantins State, Brazil*

Marcelo Eduardo Dantas (marcelo.dantas@cprm.gov.br)¹
Edgar Shinzato (edgar.shinzato@cprm.gov.br)¹
Marcely Ferreira Machado (marcelly.machado@cprm.gov.br)²
Maria Angélica Barreto Ramos (angelica.barreto@cprm.gov.br)²
Maria Adelaide Mansini Maia (adelaide.maia@cprm.gov.br)¹

¹ Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Escritório Rio de Janeiro² Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Residência Porto Velho

Abstract

Geodiversity is a new and effective tool for analyzing the landscape in an integrated form, using the geosciences knowledge applied to the environmental conservation and territorial planning. This study aims to apply the theoretical and methodological model developed by the Geological Survey of Brazil over the last 15 years to a region still little occupied, but with great economic potential (Southeastern Tocantins), in order to develop clear and objective proposals of territorial planning. Based on the remarkable geodiversity presented, the southeast of Tocantins can be subdivided into four distinct domains: a) the Middle Valley of the Tocantins River Lowlands, marked by extensive planed surfaces; b) the Espigão Mestre's Foothills, with steps and levels; c) the Espigão Mestre Escarpment (also denominated as Serra Geral de Goiás), with steep slopes of high mass movement susceptibility; d) the summit with flat plains of Espigão Mestre (also called as Chapadão Ocidental Baiano). Due to the intrinsic characteristics of the geodiversity of each of these domains, there are proposed different forms of land use, highlighting the promotion of agricultural activities and geotourism in the Espigão Mestre Foothills and the need to preserve the so-called Serra Geral de Goiás.

Keywords: Geodiversity, Territorial Management, Geoconservation; Southeastern Tocantins

Palavras chave: Geodiversidade, Gestão Territorial, Geoconservação, Sudeste do Tocantins

INTRODUÇÃO

A partir da elaboração do conceito de geodiversidade, as geociências desenvolveram um novo e eficaz instrumento de análise da paisagem de forma integrada utilizando o conhecimento do meio físico a serviço da preservação do meio natural e do planejamento territorial podendo, assim, avaliar os impactos decorrentes da implantação das distintas atividades econômicas sobre o espaço geográfico (DANTAS et al., 2015).

O conceito de geodiversidade é relativamente novo, tendo sido formulado a partir da década de 1990 e consolidado apenas nos últimos anos. Na literatura internacional, tem sido aplicada com maior ênfase aos estudos de geoconservação e de preservação do patrimônio natural (SHARPLES, 1993, dentre muitos outros).

Posteriormente, Gray (2004) consagra o conceito de geodiversidade abrangendo o sistema abiótico em sua integridade, caracterizando-o como “a diversidade natural entre aspectos geológicos, geomorfológicos e dos solos”.

Em consonância com uma concepção mais abrangente sobre a geodiversidade formulada por Gray, diversos autores (STANLEY, 2001; KOZLOWSKI, 2004; BRILHA, 2005; SERRANO; RUIZ-FLANO, 2007; PETRISOR; SARBU, 2010, dentre outros) estendem sua aplicação aos estudos de planejamento territorial, ainda que com uma ênfase destinada à geoconservação, além de abranger, em certa medida, também suas componentes biótica, social e histórico-cultural.

Calcado nesse profícuo debate teórico-conceitual, o Serviço Geológico do Brasil - CPRM define a geodiversidade como “o estudo da natureza abiótica (meio físico)

constituída por uma variedade de ambientes, fenômenos e processos geológicos que dão origem às paisagens, rochas, minerais, fósseis, solos, águas e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico” (SILVA, 2008). Neste sentido, o SGB-CPRM empreendeu um programa sistemático de levantamento da geodiversidade brasileira aplicado à gestão e ordenamento territorial e à divulgação de informações integradas do meio abiótico com linguagens mais acessíveis para toda sociedade.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar a aplicação de tais premissas para uma região ainda pouco ocupada, mas de grande potencial econômico e apresentando uma complexa geodiversidade, situada no sudeste do estado do Tocantins (Figura 1).

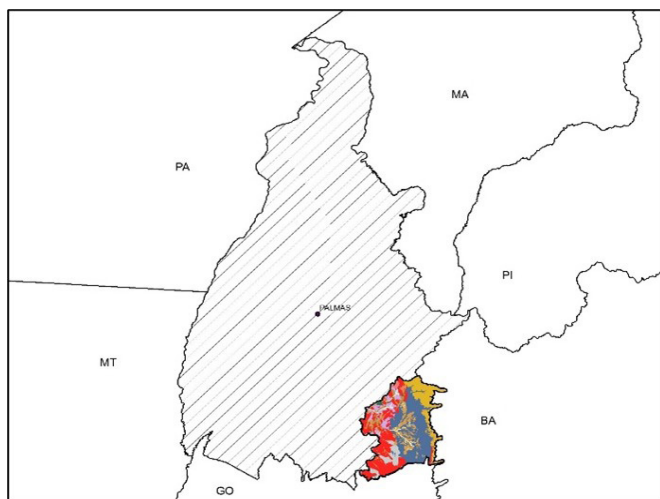


FIGURA 1 - Localização da microrregião de Dianópolis – Sudeste do Tocantins. Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos de avaliação da geodiversidade da região em apreço seguem os pressupostos determinados por Ramos et al. (2010), sendo descritos, sumariamente, a seguir: a) aquisição do mapa geológico mais atualizado da área de estudo; b) generalização do mapa geológico e enquadramento de todas as litologias mapeadas em domínios e unidades geológico-ambientais; c) recategorização do mapa geológico em um mapa de unidades geológico-ambientais; d) recorte do mapa conforme a distribuição dos padrões de relevo mapeados na área de estudo; e) avaliação do trinômio solos-clima-cobertura vegetal e suas inter-relações com a compartimentação geológico-geomorfológica efetuada; f) execução de trabalho de campo com análise sistemática de todas as unidades geológico-ambientais e padrões de relevo identificados previamente; g) construção do mapa de geodiversidade.

O mapa elaborado fornece uma avaliação de características e fragilidades intrínsecas dos terrenos frente ao potencial hídrico; potencial mineral; obras civis, eixos logísticos e urbanização; potencial agrícola; geoturismo e geo-conservação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sudeste do estado do Tocantins, representado pela microrregião de Dianópolis (Figura 1), abrange mais de 47.000 km² e encontra-se esparsamente ocupado por um contingente populacional de aproximadamente 120.000 habitantes (IBGE, 2010), com uma nítida concentração em municípios que bordejam o piemonte da escarpa do Espigão Mestre (Serra Geral de Goiás) tais como Dianópolis, Ponte Alta do Bom Jesus, Taguatinga e Aurora do Tocantins. Toda essa vasta área é drenada por dois grandes afluentes do Rio Tocantins, os rios Palma e Manuel Alves e caracteriza-se por um típico clima tropical semiúmido com período de estiagem bem pronunciado de quatro a seis meses, sendo revestida por cerrados e campos-cerrado (GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS, 2012).

Sua geodiversidade pode ser compartimentada em quatro domínios principais, conforme Dantas et al. (2019):

- **A Depressão do médio vale do rio Tocantins**, sobre embasamento paleoproterozoico do Maciço Central Goiano, compreende extensas superfícies aplainadas pontilhadas de *inselbergs* e serras isoladas (Figura 2), modeladas em rochas metamórficas de alto grau dos Grupos Almas-Cavalcante e Natividade. Predominam solos pobres e cascalhentos, com expressiva quantidade de concreções de ferro desde a superfície (Plintossolos Pétricos e Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos) (Figura 3), com ocorrência subordinada de solos rasos, com menos de 50 cm de profundidade, Neossolos Litólicos, nos relevos residuais. Nota-se neste domínio uma vastidão de pastagens naturais com povoamento muito esparsos. Poucas cidades importantes se destacam, como Almas, Natividade e Paranã.

- **Os Patamares do Espigão Mestre**, sobre cobertura plataformal carbonática de idade neoproterozoica: compreende um conjunto de degraus-patamares, por vezes dissecados em colinas, modelados em rochas metapelíticas e metacalcárias de baixo grau do Grupo Bambuí, apresentando áreas de potencial geoturístico (Figura 4). Predominam solos pouco profundos e de boa fertilidade natural, tais como os Cambissolos Háplicos e Argissolos Vermelhos eutróficos. Nota-se, neste domínio, uma concentração populacional mais expressiva devido à maior oferta de água e de solos com melhor potencial agrícola, em especial para agricultura familiar.



FIGURA 2 - Superfícies aplainadas com ocorrência disseminada de *inselbergs* e cristas isoladas. Foto: Marcelo Eduardo Dantas (2015).



FIGURA 3 - Plintossolos Pétricos (lateritas) capeiam as superfícies aplainadas. Foto: Edgar Shinzato (2012).



FIGURA 4 - Surgência cárstica explorada para fins recreativos, próxima ao sopé da escarpa do Espigão Mestre. Foto: Marceley Machado (2015).

• **A Escarpa do Espigão Mestre**, também de Serra Geral de Goiás, esculpida em pacote sedimentar arenítico de idade cretácea, caracteriza-se por um relevo íngreme de vertentes muito acidentadas e amplitudes de relevo superiores a 400 metros (Figura 5), com franca ação de processos erosivos e movimentos de massa (Figura 6). Tais vertentes abruptas dissecam arenitos ortoquartzíticos e friáveis do Grupo Urucuia. Devido à intensidade dos processos erosivos e denudacionais, predominam solos rasos (Neossolos Litólicos) e afloramentos de rocha, frequentemente encimados por cornijas de cangas lateríticas.



FIGURA 5 - Escarpa do Espigão Mestre sustentada por cornija de crosta laterítica. Foto: Marcelo Eduardo Dantas (2012).



FIGURA 6 - Detalhe do processo de dissecação da escarpa constituída por arenitos friáveis do Grupo Urucuia. Foto: Marcelo Eduardo Dantas (2012).

• **O Topo do Espigão Mestre ou Chapadão Ocidental Baiano** caracteriza-se por um vasto planalto de topo plano com desenvolvimento de solos pobres, profundos e bem drenados (Latossolos Amarelos distróficos), gerados a partir dos arenitos cretáceos do Grupo Urucuia. Trata-se de uma zona de franca consolidação de agricultura mecanizada em grandes propriedades e voltada para exportação (soja e algodão) (Figura 7).



FIGURA 7 - Topo plano do Planalto do Espigão Mestre convertido em extensas áreas de produção de soja. Foto: Marcelo Eduardo Dantas (2012).

Sendo assim, uma abordagem concatenada dos diversos parâmetros do meio físico permite proceder a uma análise espacial sofisticada do território do sudeste do Tocantins, como descrito na Figura 8. O topo do planalto do Espigão Mestre apresenta boa aptidão para agricultura mecanizada e representa uma relevante zona de recarga para o importante aquífero Urucuia que abastece tributários das bacias hidrográficas dos rios Tocantins e São Francisco. O relevo escarpado apresenta uma notável fragilidade morfodinâmica, tanto nas cicatrizes de erosão e deslizamentos em suas vertentes íngremes,

quanto na deposição de possantes acumulações de colúvio-tálus em seu sopé. Assim sendo, devido à alta suscetibilidade deste ambiente a processos erosivos e gravitacionais, os terrenos escarpados devem ser destinados à preservação com exploração de atividades geoturísticas. Sotoposto ao Arenito Urucuia, aflora, nos patamares do Espigão Mestre, os metassedimentos e carbonatos do Grupo Bambuí com ocorrências de surgências cársticas de grande importância para o desenvolvimento urbano, turístico e agrícola regional. Todavia, destaca-se a vulnerabilidade do Aquífero Urucuia frente à contaminação. O uso indiscriminado de agrotóxicos no topo do planalto pode acarretar, em longo prazo, uma irreversível contaminação dos aquíferos intergranular e cárstico conectados com severos prejuízos para a saúde pública e o desenvolvimento e consolidação econômica da microrregião de Dianópolis. Em síntese, podemos tecer uma série de recomendações para os gestores públicos com base na análise efetuada pela geodiversidade onde é ressaltada a necessidade de uma redução significativa do emprego de agroquímicos no topo do planalto; a proteção de nascentes e encostas do relevo de escarpas; o adensamento das atividades econômicas sobre os patamares do Grupo Bambuí (em especial, agricultura e turismo); e o incremento moderado da agricultura e da pecuária extensiva sobre os amplos relevos aplainados do Médio Vale do Rio Tocantins, considerando as limitações intrínsecas dos terrenos.

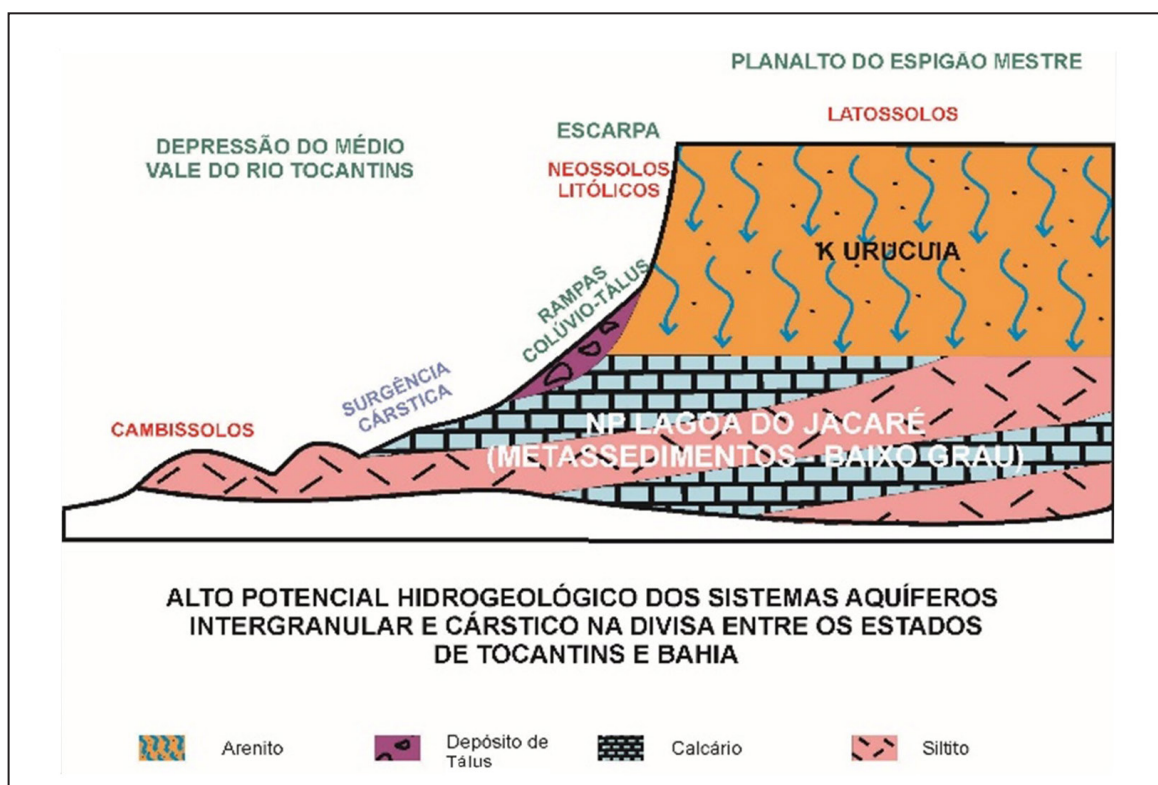


FIGURA 8 - Modelo conceitual sintético da Geodiversidade do Sudeste do Estado do Tocantins. Fonte: Dantas et al. (2019).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A identificação e análise pormenorizada de domínios com distintos padrões de geodiversidade permite a seleção criteriosa de áreas com maior aptidão para diferentes tipos de uso e ocupação, de forma mais planejada. Assim, a utilização da geodiversidade municia os gestores públicos de informações valiosas do meio físico para tomada de decisões, tornando a inserção de distintas formas de ocupação do território mais apropriadas ou sugerindo medidas mitigadoras de danos ambientais.

Deste modo, com base nos resultados apresentados, constata-se que o estudo de Geodiversidade constitui uma poderosa e eficiente ferramenta de ordenamento territorial a partir do conhecimento das potencialidades e fragilidades intrínsecas do meio físico, de maneira integrada e com linguagem de fácil compreensão, para as múltiplas formas de intervenção antropogênica no Espaço Geográfico.

REFERÊNCIAS

- BRILHA, J. B. R. **Patrimônio geológico e geoconservação**: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Braga, Portugal: Palimage, 2005. 190 p.
- DANTAS, M. E.; ARMESTO, R. C.; SILVA, C. R.; SHINZATO, E. Geodiversidade e análise da paisagem: uma abordagem teórico-metodológica. **Terræ Didática** - Unicamp, Campinas v. 11, n. 1, p. 4-13, 2015.
- DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; CARVALHO FILHO, A.; LUMBRERAS, J. F.; TEIXEIRA, W. G.; ROCHA, M. G.; MACHADO, M. F. Origem das paisagens do Estado do Tocantins. In: ROCHA, M. G. (org.). **Geodiversidade do Estado do Tocantins**. Goiânia: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2019. cap. 4, p. 47-84.
- GRAY, M. **Geodiversity**: valuing and conserving abiotic nature. John Wiley & Sons, 2004. 434 p.
- IBGE. **Censo demográfico do Brasil**. [Rio de Janeiro]: IBGE, 2010. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 4 fev. 2021.
- KOZLOWSKI, S. Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. **Przeгляд Geologiczny**, v. 52, n. 8/2, p. 833-837, 2004.
- PETRISOR, A. I.; SARBU, C. N. Dynamics of geodiversity and ecodiversity in territorial systems. **Journal of Urban and Regional Analysis**, v. 2, n.1, p.61-70, 2010.
- RAMOS, M. A. B.; DANTAS, M. E.; THEO-DOROVICZ, A.; MARQUES, V. J.; ORLANDI FILHO, V.; MAIA, M. A. M.; PFALTZGRAFF, P. A. S. Metodologia e estruturação da base de dados em sistema de informação geográfica. In: CARVALHO, L. M.; RAMOS, M. A. B. (org.) **Geodiversidade do Estado da Bahia**, Salvador/BA: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2010. p. 27-44.
- SERRANO, E.; RUIZ-FLAÑO P. Geodiversity. A theoretical and applied concept. **Geographica Helvetica**, v. 62, n. 3, p.140-147, 2007.
- SHARPLES, C. **A methodology for the identification of significant landforms and geological sites for conservation purposes**. Technical Report. Forestry commission, Hobart, Tasmania. 1993. Disponível em: <http://eprints.utas.edu.au/11747/>. Acesso em: 17 abr. 2017.
- SILVA, C. R. **Geodiversidade do Brasil**: conhecer o passado para entender o presente e prever o futuro. Rio de Janeiro: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2008. 264 p.
- STANLEY, M. Welcome to the 21st century, **Geodiversity Update**, n. 1, p. 1-8, 2001.
- GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS. **Atlas do Tocantins**: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: Seplan-TO, 2012. 80 p.: il.; 21 x 29,7 cm.

Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial | Departamento de Gestão Territorial

V. 1, N. 1 Rio de Janeiro, dezembro 2020

O processo de avulsão do Rio Acre em Brasiléia, estado do Acre, Brasil

The channel avulsion process of the Acre river in Brasileia town, Acre State, Brazil

Marcelo Eduardo Dantas (marcelo.dantas@cprm.gov.br)¹
Amílcar Adamy (amilcar.adamy@cprm.gov.br)²
Daniel Medeiros Moreira (daniel.moreira@cprm.gov.br)¹
Maria Adelaide Mansini Maia (adelaide.maia@cprm.gov.br)¹

¹ Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Escritório Rio de Janeiro² Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Residência Porto Velho

Abstract

The Acre river forms the international frontier between Brazil and Bolivia. The upper Acre river drainage basin recorded among January and February months, an accumulated precipitation over 750mm, which resulted on the overflow of the Acre river in great part of Brasiléia town. The urban area of Brasiléia, located on the high sinuosity meandering floodplain of the Acre river, registered a major flood event that lasted for several days and also promoted severe problems of river-bank erosion on the concave margins of the river. The neighborhoods of Leonardo Barbosa and 28 de Maio, situated within a meander loop on the Brasiléia suburb, witness this accelerated river erosion process that puts more than 3.000 people at the risk of being isolated by abrupt change of the course (avulsion) of the Acre river, which may result in a future diplomatic question between Brazil and Bolivia.

Keywords: Fluvial Geomorphology, Geopolitics, Brasiléia, Acre, Amazon

Palavras chave: Geomorfologia Fluvial, Geopolítica, Brasiléia, Acre, Amazônia

INTRODUÇÃO

O domínio geomorfológico aluvial, situado em fundos de vales de grandes bacias de drenagem, compreende: o canal fluvial, as planícies de inundação e os terraços fluviais. Este domínio notabiliza-se por ser um dos ambientes de mais intensa atividade morfodinâmica na natureza. Nesse tipo de ambiente natural, os processos de erosão, sedimentação e inundação são muito frequentes e atuantes, modelando e remodelando incessantemente a paisagem dos fundos de vales de todas as bacias de drenagem, especialmente na Amazônia.

No Brasil, desde os idos coloniais, muitos aglomerados urbanos ocupam, de forma inadequada, tais planícies de inundação em fundos de vales devido a diversos aspectos: facilidade de acesso à água potável; uso da navegação a partir de portos fluviais; disponibilidade de terrenos planos e solos, em geral, com boa aptidão agrícola, dentre outros. Assim sendo, os rios adquiriram uma relevante importância histórica como indutores do povoamento sertão adentro. Tal relevância dos cursos

fluviais reflete-se na consolidação da divisão político-administrativa do território brasileiro. Rios perfazem fronteiras nacionais, divisas estaduais e limites municipais. Todavia, seu traçado não é fixo, conforme veremos adiante.

O evento extremo de cheia do Rio Acre, no mês de março de 2015, deve ser analisado sob dois ângulos complementares: a análise do evento hidrometeorológico e os impactos erosivo e social derivados.

O EVENTO HIDROMETEOROLÓGICO

Durante os meses de janeiro e fevereiro, a precipitação acumulada em grande parte do Acre variou de 300 a 450 mm (figuras 1 e 2). Comparando-se a chuva acumulada com a média histórica, todo o Acre apresentou chuva acima da média durante o mês de março de 2015 (BUFFON; SANTOS; REIS, 2015), como pode ser observado nos hietogramas de Brasiléia e Assis Brasil (ambos situados no alto curso do Rio Acre) (Figura 3).

Extremos diários de chuva na bacia do Rio Acre e suas contribuições para os acumulados durante semanas

e meses implicam em níveis do rio acima da cota de alerta de enchente. A vazão correspondente a esses casos pode chegar a valores superiores a 3.000 m³/s. Em fevereiro de 2015, medidas realizadas pelo Serviço

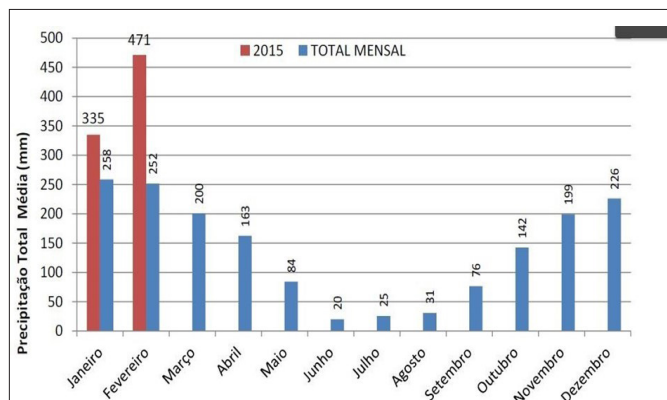


FIGURA 1 - Hietograma do posto pluviométrico de Assis Brasil comparando a média histórica do período 1980-2014 com o volume precipitado em 2015.

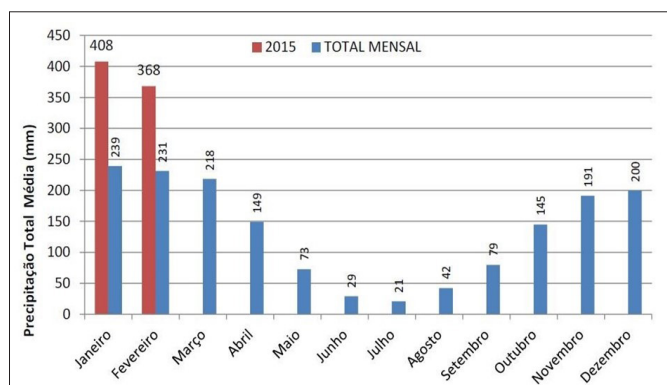


FIGURA 2 - Hietograma do posto pluviométrico de Brasiléia comparando a média histórica do período 1980-2014 com o volume precipitado em 2015.

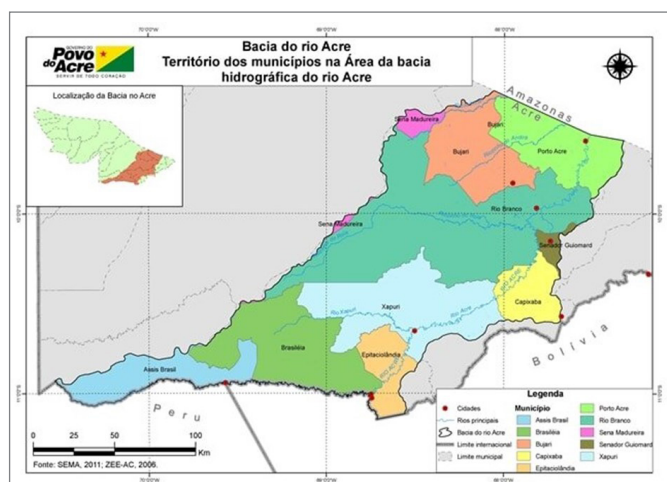


FIGURA 3 - Mapa de localização da bacia do Rio Acre no estado do Acre, atravessando as sedes dos municípios de Assis Brasil, Brasiléia, Epitaciolândia, Xapuri, Senador Guimar, Rio Branco e Porto Acre. Fonte: Governo do Estado do Acre (2006, 2011).

Geológico do Brasil – CPRM/Residência de Porto Velho registraram valores de vazão de 3.499,0 m³/s (na cota 18,34 m) em Rio Branco, no dia 04 de março, consideradas históricas para a região. A razão para isso foram as chuvas concentradas em pequeno intervalo de tempo, considerando que, dada as dimensões da bacia, seus rios respondem muito rapidamente às chuvas.

Em Assis Brasil (município a montante de Brasiléia, na fronteira tríplice entre Brasil, Bolívia e Peru), nos dias 18 e 19 de fevereiro ocorreu uma chuva de mais de 236 mm, quase igual ao total mensal, em apenas 14 horas, dando início à elevação dos níveis do rio na região. Não só em Assis Brasil, mas em todas as estações da bacia do Rio Acre, foram registrados altos volumes de chuva. Dois dias após essa forte chuva, no dia 21 de fevereiro, ocorreu outra chuva de grande intensidade, com volume superior a 100mm em apenas 12 horas em Assis Brasil. Esses dois eventos, somados ao fato do mês de janeiro já ter sido muito chuvoso, iniciaram a cheia de 2015 do Rio Acre que se propagou a jusante, atingindo Brasiléia, Xapuri e até Rio Branco.

O IMPACTO EROSIVO E SOCIAL DO EVENTO E SUAS IMPLICAÇÕES GEOPOLÍTICAS

Por outro lado, tal evento extremo de cheia do Rio Acre evidencia dois problemas graves que afetam o núcleo urbano de Brasiléia.

A primeira questão decorre do fato de que o **sítio urbano de Brasiléia** está assentado sobre a **planície aluvial meândrica do Rio Acre**, caracterizada por ser uma área de alta suscetibilidade natural à inundação, fenômeno comum a centenas de municípios brasileiros em todas as regiões do país. Ou seja, a enchente de graves proporções que assolou Brasiléia e o flagelo que sua população sofreu é um fenômeno recorrente que já ocorreu diversas vezes e que, certamente, ocorrerá no futuro, caso planos de contingência e de realocação de bairros não sejam concretizados.

Deste modo, a primeira proposição do Serviço Geológico do Brasil - CPRM é elaborar, em conjunto com a Prefeitura de Brasiléia e o governo do estado do Acre, um plano de contingência para realocar a população atingida todos os anos de cheia crítica e, se possível, reassentar parte da população que habita as áreas mais baixas da planície aluvial e todos os ribeirinhos para os terrenos firmes dos terraços pleistocênicos e das colinas amplas da Formação Solimões (DANTAS et al., 2015).

A segunda questão está relacionada ao **processo natural de erosão fluvial** do Rio Acre (um canal meândrico de alta sinuosidade) que se sobrepõe a uma **questão de ordem geopolítica**, devido ao fato de que este rio perfaz o limite de fronteira internacional estabelecido entre o Brasil e a Bolívia.

Canais meândricos de alta sinuosidade (tais como os Rios Juruá, Purus e Acre) apresentam, frequentemente, migrações laterais dos cursos fluviais, com rompimento de pontas de meandros e formação de lagos de meandros abandonados (denominados de processos de avulsão). Nesse sentido, considerando uma escala geológica de tempo, o Rio Acre apresenta “seu curso com **traçado mutante**” regido pelos processos naturais de sua dinâmica fluvial. Ou seja, ao longo do tempo (numa escala temporal de centenas a milhares de anos), Brasil e Bolívia, caso se abstenham de monitorar as variações do Rio Acre em seu trecho de fronteira, poderão experimentar pequenos ganhos ou perdas territoriais advindas da morfodinâmica fluvial do Rio Acre, no interior de sua planície aluvionar.

Entretanto, não se deve negligenciar a histórica **contenda diplomática** existente entre os dois países, como relembramos abaixo.

A origem do estado do Acre advém do processo de povoamento da Amazônia durante o Ciclo da Borracha em fins do século XIX, decorrente dos eixos de penetração representados pelos rios Acre, Purus e Juruá, dentre os principais. Essa frente de povoamento invadiu a Bolívia e promoveu um dos mais ruidosos conflitos diplomáticos da História brasileira e culminou com a eclosão de uma guerra entre seringalistas e o exército boliviano e resolvido com a incorporação do Acre ao território brasileiro em 1904, mediante o pagamento de indenização à Bolívia e a construção da Estrada de Ferro Madeira-Mamoré entre Guajará-Mirim e Porto Velho (Rondônia), com o objetivo precípuo de escoar a produção de borracha boliviana para o Atlântico.

Ironicamente, uma situação similar ocorre atualmente, guardadas as devidas proporções. Entre o município acreano de Brasiléia e a cidade de Cobija, no departamento de Pando, o Rio Acre perfaz o limite da atual fronteira entre Brasil e Bolívia. Na periferia da cidade (bairros de Leonardo Barbosa e 28 de Maio), uma ponta de meandro é ocupada por centenas de famílias acreanas, calcadas numa horticultura de subsistência em solos aluviais de boa fertilidade natural. Todavia, com a contínua erosão das margens côncavas do Rio Acre, o mesmo tende a promover o rompimento da ponta de meandro (*meander cut-off*) (Figura 4), isolando essa população para o lado boliviano da fronteira (Figuras 5, 6 e 7). Tal evento de avulsão do Rio Acre poderá demorar alguns anos ou poucas décadas, dependendo do número de cheias de grande magnitude e com alto potencial erosivo, mas é um processo inexorável, produto da dinâmica fluvial do Rio Acre. Com o aparente incremento das cheias intensas do Rio Acre, tal cenário é ainda mais alarmante.

Entretanto, como um contraponto à análise desenvolvida até o momento pela presente minuta, é de fun-

damental importância ressaltar que cerca de um terço de todas as fronteiras do mundo são delimitadas a partir de rios ou córregos. Processos de avulsão (caso que poderá ocorrer em Brasiléia, conforme descrito neste trabalho) têm sido causa de disputas em questões de limites baseados em rios ou córregos desde o Império Romano (COLQUHOUN, 1851). Inclusive, as decisões judiciais por tribunais internacionais dessas disputas têm sido, em geral, as mesmas, na concepção de que a posse representa a terra e seus limites na data do título de propriedade.

Assim, o limite entre o Brasil e a Bolívia é o meio do Rio Acre na data de definição desses limites. Por vias legais, não existe ganho ou perda de território caso ocorra mudanças no traçado do rio, já que o traçado original da definição de limites deve ser respeitado.

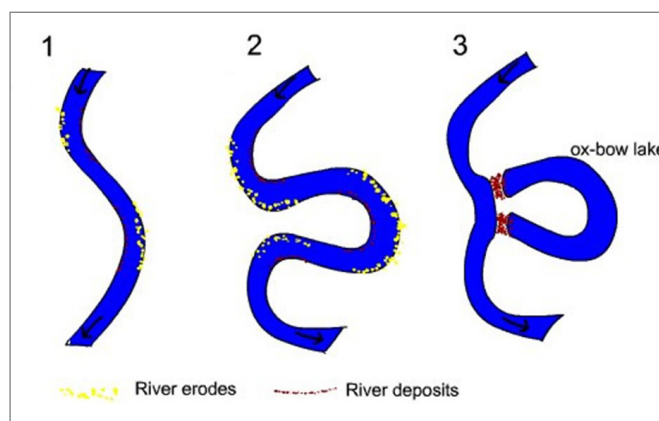


FIGURA 4 - Figura esquemática do processo de avulsão em canal meândrico. Fonte: Mitchell (c2020).



FIGURA 5 - Margem côncava do Rio Acre em franco processo de erosão via desbarrancamento de suas margens. À esquerda, na margem convexa, desenvolvimento de construtiva barra arenosa em pontal, no território boliviano. Grande trecho da ponta de meandro irá passar para a Bolívia após o rompimento do meandro e a formação do lago de meandro abandonado. Cercanias da cidade de Brasiléia. Foto: Marcelo Eduardo Dantas.

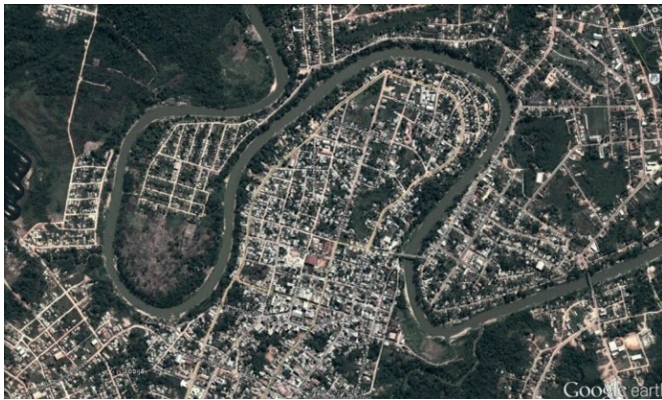


FIGURA 6 - Visão aérea da planície aluvial do Rio Acre, com desenvolvimento de padrão de canal meândrico de alta sinuosidade. A norte da calha do rio, está implantado o sítio urbano de Brasília, em território brasileiro. Ao Sul, localiza-se o sítio urbano de Cubija, em território boliviano. Ressalta-se, no canto superior da imagem, notável estrangulamento de ponta de meandro do Rio Acre, muito suscetível a processo de avulsão e formação de lago de meandro abandonado. Fonte: Google Earth, 2011.

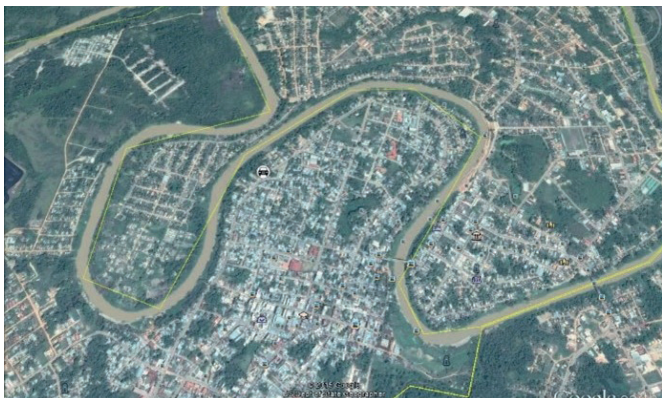


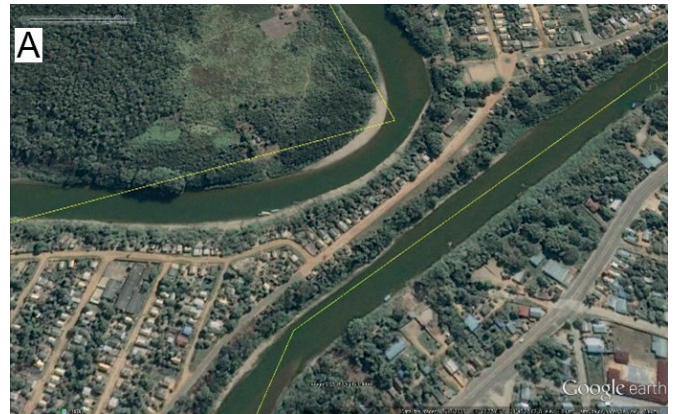
FIGURA 7 - Imagem de 2013 demonstrando um adensamento urbano da ponta de meandro e um sutil, mas expressivo, incremento do estrangulamento num franco processo de avulsão aluvial. Fonte: Google Earth, 2013.

No entanto, um importante alerta deve ser considerado. Faz-se necessário monitorar regiões de fronteira de forma a detectar e provar tais mudanças nas referências de limites anteriormente estabelecidas. A única hipótese de perda territorial, em casos na literatura, é de países que negligenciaram por anos o monitoramento mais efetivo de suas referências estabelecidas como limite de fronteira, fato que proporcionou que tais mudanças, dessas referências, passassem despercebidas ou incapazes de serem provadas.

Em casos de rios com dinâmicas diferenciadas, com o auxílio da tecnologia atual, é possível realizar o levantamento geodésico do rio, usando receptores GPS, de modo que o limite entre os países seja acordado a partir da série de coordenadas geográficas geradas pelo dito levantamento.

A PONTA DE MEANDRO OCUPADA PELOS BAIROS LEONARDO BARBOSA E 28 DE MAIO

Uma inspeção de campo realizada no dia 28 de fevereiro de 2015, pelo geólogo Amílcar Adamy (ADAMY, 2015), alerta para uma aceleração recente do processo erosivo devido ao **intenso desbarrancamento** de ambas as margens côncavas constituídas por sedimentos arenoso-argilosos inconsolidados e saturados de água, **com baixa resistência à erosão fluvial**. (figuras 8a e 8b).



FIGURAS 8 - a) Detalhe do setor do Rio Acre em processo de avulsão no ano de 2005; b) Detalhe do setor do Rio Acre em processo de avulsão no ano de 2013. Medições preliminares tomadas por meio de sucessivas imagens de satélite e levantamento de campo demonstram que, em uma década, o setor estrangulado foi reduzido de 60 para 25 metros. Fonte: Google Earth, imagens de 2005 e 2013.

Entretanto, o fato mais preocupante da área estudada associa-se à estreita faixa de terra (30 a 40 metros) entre os braços do meandro, que serve de acesso ao núcleo dos bairros, recebendo diretamente o forte impacto da correnteza do rio, com alta velocidade e turbulência. Ao incidir sobre os barrancos elevados e de aclives pronunciados, o rio provocou uma violenta ação erosiva, removendo material em volumes consideráveis, gerando valas de largura e profundidades variáveis (10 a 12 metros de largura e 1-2 metros de profundidade)

em dois pontos distintos, dificultando o acesso e provocando a perda de construções e equipamentos urbanos. Nas proximidades da vala maior, o desmantelamento dos barrancos é pronunciado, revelando alta fragilidade e riscos evidentes de escorregamentos a qualquer momento. Ao longo do meandro, foram observados numerosos deslizamentos e desbarrancamentos de taludes marginais, praticamente de forma contínua, desde que envolvam feições subverticalizadas e desníveis significativos.

Tais fenômenos demonstram a **iminência do processo de avulsão** dessa ponta de meandro, o que pode acarretar na transferência desses bairros supracitados para o outro lado do Rio Acre, em território boliviano, caso não haja intervenção diplomática do governo brasileiro.

Por fim, a segunda proposição do Serviço Geológico do Brasil – CPRM é monitorar o avanço do processo erosivo a partir da vazante subsequente do Rio Acre e alertar o Ministério das Relações Exteriores sobre essa questão e se colocar à disposição para prestar eventual assessoria técnica.

REFERÊNCIAS

- ADAMY, A. **Avaliação preliminar dos efeitos da inundação em Brasiléia, Acre**. Porto Velho: CPRM, 2015. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15376>. Acesso em: 10 set. 2020.
- BUFFON, F.; SANTOS, L. A.; REIS, V. **Situação hidrometeorológica do estado do Acre no período de janeiro a março de 2015**: nota técnica. Porto Velho: CPRM, 2015.
- COLQUHOUN, P. M. C. **A summary of the Roman civil law**: illustrated by commentaries on and parallels from the Mosaic, Canon, Mohammedan, English and foreign law. Londres: V. and R. Stevens and Sons, 1851. V.2 Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=fktHAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 10 set. 2020.
- DANTAS, M. E.; SHINZATO, E.; ADAMY, A.; BISPO, I. Origem das paisagens do Estado do Acre. *In*: ADAMY, Amílcar (org.). **Geodiversidade do estado do Acre**. Porto Velho: CPRM, 2015. Cap. 3. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/15690>. Acesso em: 10 set. 2020.
- GOVERNO DO ESTADO DO ACRE. **Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre (ZEE-AC). Fase II**: documento síntese – Escala 1:250.000. Rio Branco: SEMA, 2006. 51 p.
- GOVERNO DO ESTADO DO ACRE. **Programa de Recuperação e Conservação de Nascentes e Matas Ciliares da Bacia do Rio Acre**. SEMA, 2011. Disponível em: <http://sema.acre.gov.br/programa-de-recuperacao-e-conservacao-de-nascentes-e-matas-ciliares-da-bacia-do-rio-acre/>
- MITCHELL, E. Rivers. *In*: SLIDEPLAYER.com Inc. c2020. Disponível em: <https://slideplayer.com/slide/9332536/28/images/14/Ox-Bow+Lake+An+oxbow+lake+is+a+crescent-shaped+lake+formed+on+a+river+when+a+meandre+has+been++cut+through+and+abandone.jpg>. Acesso em: 10 set. 2020.

Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial | Departamento de Gestão Territorial

V. 1, N. 1 Rio de Janeiro, dezembro 2020

Determinação indireta da erodibilidade do talude marginal da comunidade Fátima de Urucurituba, Município de Santarém, Pará, Brasil e sua relação com suscetibilidade à erosão fluvial

Indirect determination of the riverbank's erodibility nearby Fátima de Urucurituba community, Municipality of Santarém, Pará, Brazil and its relationship with susceptibility to fluvial erosion

Iris Celeste Nascimento Bandeira (iris.bandeira@cprm.gov.br)¹Sheila Gatinho Teixeira (sheila.teixeira@cprm.gov.br)¹¹ Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Escritório Rio de Janeiro

Abstract

Erosive processes known as “terras caídas” (fallen lands or soils) are generally correlated with river erosion in the Amazon region. These processes are very feared by the inhabitants, since they are associated with large slips margins reaching areas often occupied. An example of this event occurred in the community of Fátima de Urucurituba, located in the municipality of Santarém, State of Pará, on the left bank of the Amazon River, where erosive process associated with land movements caused material damage to the region's residents. Due to these occurrences, the Geological Survey of Brazil – CPRM evaluated the risk levels of the surrounding area, as well as conducted a research on the erodibility factor of marginal sediments in this community, by two indirect methods: Bouyoucos and Wischmeier. The two methods came to different but close results, exhibiting erodibility factors above 0.106 t.ha.h/ha.Mj. This value is directly correlated to a predominantly silty material with large amounts of quartz, and significant parts of muscovite, chlorite, alkaline feldspar, plagioclase and presence of expansive clay-minerals, with little organic matter content and permeability ranging from low to moderate. This results, when associated with high rainfall indexes and high flows make the land high susceptible to river erosion.

Keywords: Amazon river, terras caídas, riverbank erosion, hazard, risk.

Palavras chave: Rio Amazonas, Terras Caídas, Perigo, Risco.

INTRODUÇÃO

Inúmeros municípios da região amazônica são atingidos por desastres decorrentes de processos de erosão fluvial, que causam escorregamentos e solapamentos de grandes proporções nas margens de grandes rios. Esse processo, regionalmente denominado “terras Caídas” é muito temido na região devido à capacidade de transformação da paisagem e aos transtornos que causam aos moradores ribeirinhos.

Segundo Bandeira *et al.* (2018) e Bandeira e Teixeira (2019), foram identificadas 236 áreas de risco na região amazônica referentes a esse processo erosivo, onde mais de 26.000 pessoas vivem sob o risco de sofrerem danos físicos e materiais. Além deste trabalho, existem diversas referências a terras caídas na Amazônia,

como as da Costa do Miracauera – Paraná da Trindade, Município de Itacoatiara – AM (CARVALHO, 2006); Costa da Águia, Parintins - AM (CARVALHO *et al.*, 2009); Médio Solimões/Coari-Amazonas (FREITAS; ALBUQUERQUE, 2012); Costa do Arapapá - margem esquerda do Rio Solimões; comunidade de São Carlos – Médio Madeira/RO (LABADESSA, 2011), entre outros que não foram publicados e nem divulgados.

A comunidade Fátima de Urucurituba, localizada na margem esquerda do Rio Amazonas, também, apresenta esta problemática, que pode ser constatada por vários eventos erosivos e de movimentos de terra que ocorrem há vários anos. Um exemplo foi o que aconteceu em 2010, quando um evento de terras caídas causou a destruição da escola, 10 casas e recuo de 500 m da margem. Devido à esta ocorrência, SGB-CPRM

foi demandado pela Defesa Civil Estadual a realizar a setorização de risco no local, onde se constatou que toda a margem da referida comunidade apresentava risco alto à erosão fluvial.

Considerando, ainda, que as propriedades do solo que influenciam a erodibilidade são as mesmas que afetam a velocidade de infiltração da água no solo, a permeabilidade e a capacidade de absorção de água; e aquelas que modificam a resistência à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da enxurrada (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1995), que a quantificação da erodibilidade associa-se a suscetibilidade a erosão do solo (FOSTER, 1982), este trabalho tem o objetivo de identificar os fatores de erodibilidade do talude marginal e correlacionar com a suscetibilidade ao processo erosivo fluvial.

CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA ESTUDADA

A área de estudo é representada pela comunidade Fátima de Urucurituba, no município de Santarém (Figura 1), no estado do Pará, na margem esquerda do Rio Amazonas, onde existem mais de 150 famílias vivendo sobre depósitos aluvionares recentes, inseridos na bacia sedimentar do Amazonas.

Em termos de geomorfologia, está localizada na Planície Amazônica (DANTAS; TEIXEIRA, 2013), coberta por floresta e áreas de pastagem, associada à bacia hidrográfica do Rio Amazonas. Nessa região, o referido rio apresenta margens em forma côncava, convexa e retilínea; largura entre 3,5 a 7 km; vazão líquida acima de 150.000,00 m³/s (TEIXEIRA; SILVA; LOPES, 2018) e profundidade entre 3 e 40m (BRASIL, 2020), com amplitude média do nível d'água entre o máximo da cheia (maio) e o mínimo da vazante (novembro) de aproximadamente 4,5m, para a série histórica (1968-2006) registrada na estação fluviométrica de Santarém, que compõe a Rede Hidrometeorológica Nacional (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2020). Essa amplitude proporciona que, durante a cheia do rio, extensas massas de terra sejam submergidas devido ao aumento da poropressão e que, na vazante, devido à pressão hidrostática, ocorram deslizamentos. A área de estudo está sob uma pequena influência da maré dinâmica, caracterizando essa porção do Rio Amazonas como a zona superior do estuário, onde as amplitudes de maré são diminuídas devido à forte influência da vazão do rio (GALLO; VIZON, 2005). Essa hidrodinâmica fluvial associa-se a um clima tropical úmido, onde as maiores precipitações pluviométricas ocorrem de janeiro a maio, sendo os meses mais chuvosos março e abril e os menos chuvosos setembro e outubro (Figura 2).

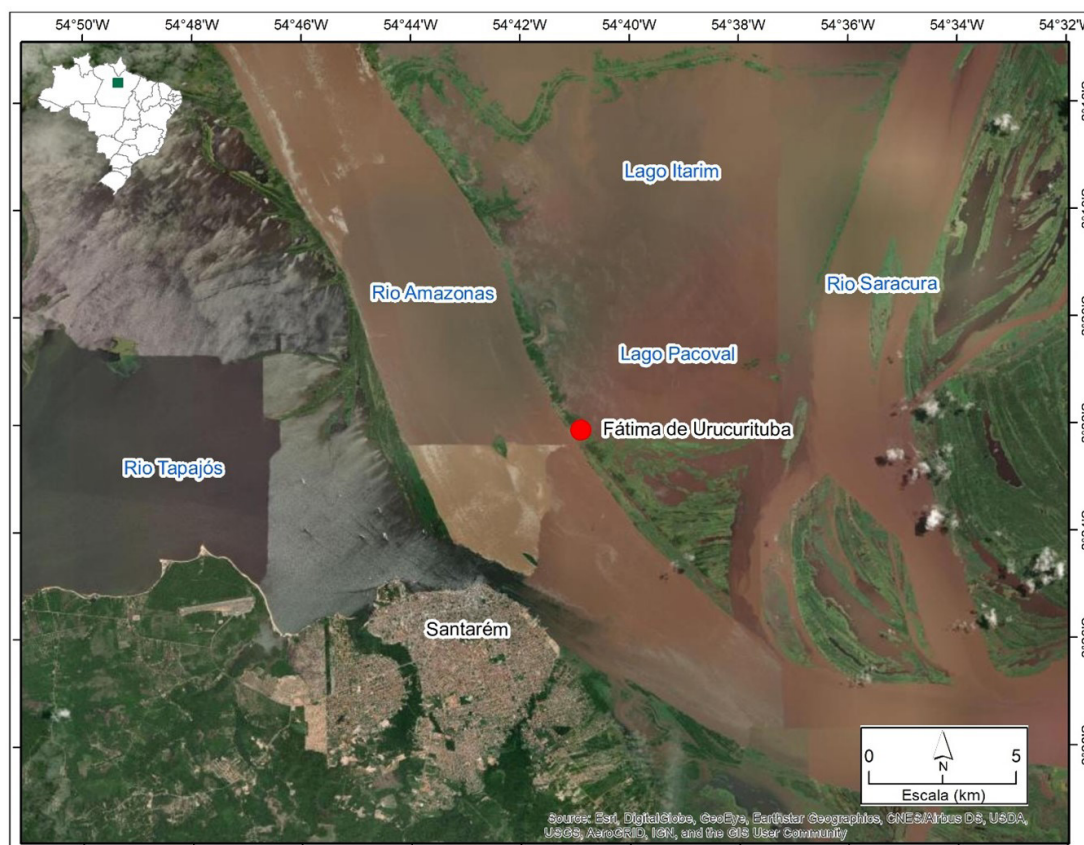


FIGURA 1. Mapa de localização da comunidade Fátima de Urucurituba, município de Santarém, estado do Pará. Fonte: elaborado pelos autores.

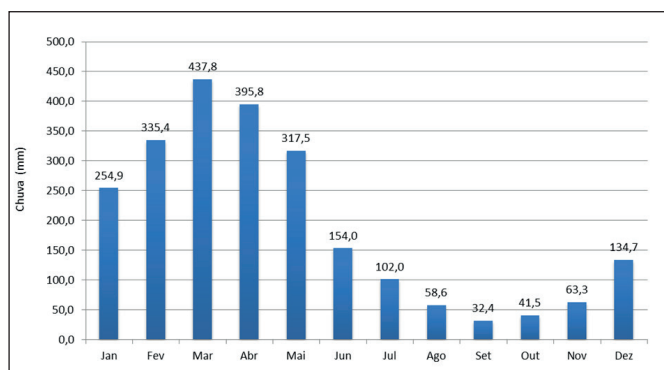


FIGURA 2 - Média mensal de chuva no município de Santarém, Pará, Brasil no período de 1969 a 2018, Estação Pluviométrica de Santarém (00254000). Fonte: Banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2020).

Segundo Luzardo e Teixeira (2012), toda comunidade em estudo apresenta risco alto à erosão fluvial (terras caídas), onde já ocorreram vários eventos erosivos que causaram perdas materiais significativas para os moradores do local, como a destruição da escola e de diversas moradias (Figura 3).

Segundo Teixeira *et al.* (2018), a partir da análise multitemporal de imagens de satélite de 31 anos (1985 a 2016), foi possível quantificar o recuo linear da margem onde fica situada a localidade, que foi de 1,4 km em 31, e foi incrementado a partir de 2005, sendo que no período de 2005 a 2016 a taxa de recuo foi de aproximadamente 82m/ano (Figura 4).

MÉTODOS

Neste estudo, o fator erodibilidade do solo (K) foi calculado por dois métodos indiretos: Bouyoucos (1935) e Wischmeier, Johnson e Cross (1971).



FIGURA 3 - Processo erosivo nas margens do Rio Amazonas. Comunidade Fátima de Urucurituba. Fonte: <http://g1.globo.com/pa/santarem-regiao/noticia/2014/01/terras-caidas-assustam-moradores-de-comunidade-em-santarem.html>

O método de Bouyoucos (1935) considera a textura dos solos como fator principal e utiliza a Equação 1 para o cálculo de erodibilidade.

$$K = ((\% \text{ areia} + \% \text{ silte}) / (\% \text{ argila})) / 100$$

(Equação 1)

Onde: K é o fator de erodibilidade do solo de cada sub-horizonte (t.ha.h/ha.MJ.mm) t= tonelada, ha = hectare, h = hora, MJ = megajoule e mm = milímetro; e % areia, % silte e % argila representam as respectivas frações para cada sub-horizonte.

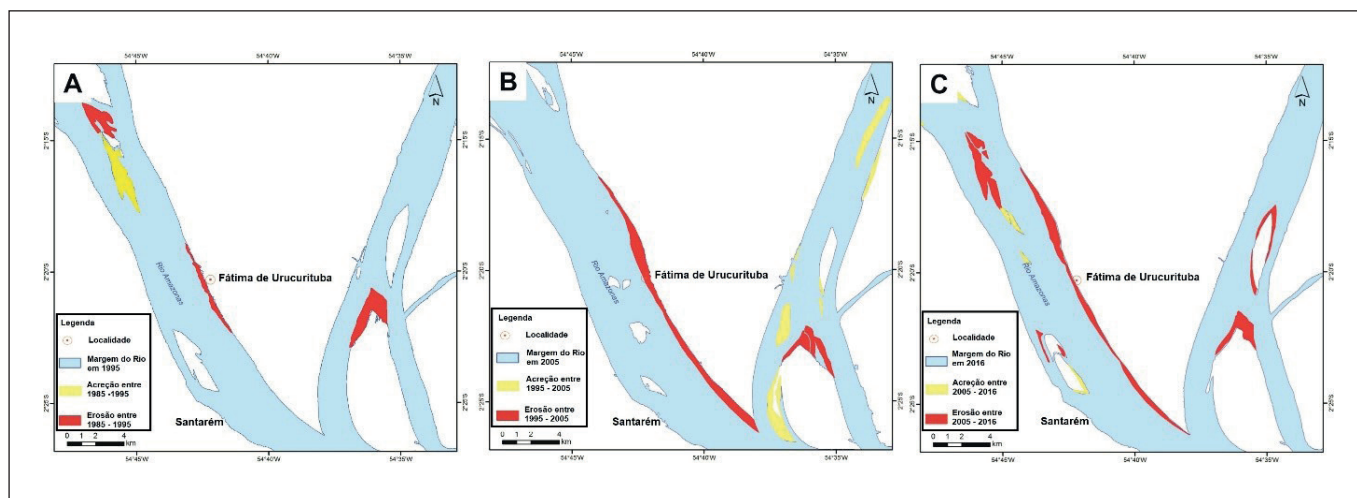


FIGURA 4 - Mudanças nas margens do Rio Amazonas na comunidade Fátima de Urucurituba e entorno, no período de 1985-2016, com indicação das áreas com acreção (amarelo) e erosão (vermelho): A – 1985 a 1995; B – 1995-2005 e C- 2005 a 2016. Fonte: Teixeira *et al.* (2018).

O método de Wischmeier, Johson e Cross (1971) baseia-se nos parâmetros de textura, matéria orgânica, permeabilidade e estrutura do material, e utiliza a Equação 2 para obter a erodibilidade.

$$K = 0,1317 [2,1(10^{-4}) (12-MO)M^{1,14} + 3,25(S-2)+2,5(P-3)/100] \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: o fator 0,1317 é adotado para obter o parâmetro em unidades do Sistema Internacional; 'M' – parâmetro baseado na textura do solo, representado pela soma das frações silte (%) e areia fina (%) (fração entre 0,002 a 0,1 mm), multiplicada por 100 menos o teor de argila (%);
'MO' – teor de matéria orgânica (%);
'S' e 'P' – parâmetros que caracterizam, respectivamente, a estrutura e a permeabilidade do solo.

Os valores de classe de estrutura do solo (S) são diferenciados em: granular muito fina (1), granular fina (2), granular média ou grossa (3) e em blocos, laminar ou mássica (4).

Os valores de P para permeabilidade são diferenciados em: rápida (1), moderada a rápida (2), moderada (3), lenta a moderada (4), lenta (5) e muito lenta (6), correlacionáveis com a faixa de valores de permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica elaborada por Fetter (2001) (Tabela 1).

TABELA 1 - Faixa de valores de permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica da água para vários materiais não consolidados.

Classe de permeabilidade	Material	Permeabilidade intrínseca (cm ²)	Condutividade hidráulica (cm.s ⁻¹)
6	Argila	10 ⁻¹⁴ -10 ⁻¹¹	10 ⁻⁹ -10 ⁻⁶
5	Silte; silte arenoso	10 ⁻¹¹ -10 ⁻⁹	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁴
4	Areia argilosa	10 ⁻¹¹ -10 ⁻⁹	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁴
3	Areia siltosa; areia fina	10 ⁻¹⁰ -10 ⁻⁸	10 ⁻⁵ -10 ⁻³
2	Areia bem distribuída	10 ⁻⁸ -10 ⁻⁶	10 ⁻³ -10 ⁻¹
1	Cascalho bem distribuído	10 ⁻⁷ -10 ⁻⁵	10 ⁻² -10 ⁰

Fonte: Fetter (2001).

Para obtenção do parâmetro "M", foi feita uma caracterização textural dos sedimentos marginais, coletados na comunidade, através de análise granulométrica pelo método de espalhamento a laser, no laboratório do SGB-CPRM de Manaus. Os resultados foram colocados em curvas e, posteriormente, realizou-se a classificação

nos diagramas triangulares de Folk (1954), usando as porcentagens acumuladas em cada faixa granulométrica: argila, silte e areia.

O parâmetro "MO" foi determinado através de análise química da fração 'terra fina', termo utilizado para referir-se à fração do solo/sedimento com partículas inferiores a 2 mm de diâmetro, tendo sido realizado de acordo com as metodologias prescritas pelo Manual de Métodos de Análise de Solo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2011).

Também foi realizada análise mineralógica por difração de raio X (DRX) no laboratório do SGB-CPRM de Manaus, com o objetivo de identificar a presença de argilas expansivas que podem favorecer o processo erosivo.

Vale ressaltar que no trabalho não foi feita análise quantitativa dos minerais expansivos, pois o método de difratometria de raios X consiste em uma técnica semi-quantitativa, que possibilita a identificação de minerais, mas não possibilita quantificá-los de forma direta. Para obtenção de dados quantitativos, seria ideal uma análise por fluorescência de raios X (FRX).

A caracterização estrutural foi feita por observações visuais de campo.

Para a medida da condutividade hidráulica (permeabilidade), utilizou-se o método do infiltrômetro de anéis (open end hole), onde se cravou um tubo de PVC de 0,1m de diâmetro, em três profundidades: 0,40m, 0,8m e 1,2m, para impedir a dispersão lateral da água que foi inserida. Tomou-se a medida do parâmetro "H" (distância entre o topo do tubo e o fundo do furo, no caso 0,47m. Em seguida, preencheu-se o tubo com água e mediu-se a distância inicial entre o topo e o nível da água (M), resultando na altura da coluna d'água inicial (h₀ = H-M_i). Finalmente, durante o intervalo de tempo (Δt) de 1 minuto media-se a nova posição da lâmina d'água (M_f), obtendo-se a altura da coluna d'água final (h = H - M_f).

Esses valores foram aplicados na seguinte equação:

$$kv = 2,303x(R/4\Delta t)x[\log(h_0/h)] \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

R = raio do tubo;

h₀ = coluna d'água inicial;

h = coluna d'água final;

Δt = tempo decorrido para o rebaixamento entre h₀ e h.

Os valores de erodibilidade obtidos foram correlacionados com as classes de erodibilidade de Mannigel *et al.* (2002), Raimo *et al.* (2019), Freire e Pessotti (1974) (Tabela 2). Ademais, foram comparados com informações de suscetibilidade à erosão (Tabela 3) pela textura dos solos de Llopis Trillo (1999).

TABELA 2 - Classes de erodibilidade do solo segundo Mannigel *et al.* (2002), Raimo *et al.* (2019), Freire e Pessotti (1974).

Classificação	Classe de Erodibilidade (Mg ha h ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹)		
Extremamente alto	k >0,0600		
Muito alto	0,045 a 0,060	k > 0,065	k > 0,50
Alto	0,030 a 0,045	0,046 a 0,065	0,50-0,35
Médio	0,015 e 0,030	0,032 e 0,046	0,35-0,25
Baixo	0,009 a 0,015	0,013 e 0,032	0,25-0,10
Muito baixo	k <0,009	k <0,013	k < 0.10
Fonte:	Mannigel <i>et al.</i> (2002) Fator de erodibilidade no estado de São Paulo calculado pela expressão de Bouyoucos (1935)	Raimo <i>et al.</i> (2019) Fator de erodibilidade no estado de Mato Grosso usando a expressão de Wischmeier <i>et al.</i> (1971)	Freire e Pessotti (1974) Fator de erodibilidade no estado de São Paulo usando a expressão de Wischmeier <i>et al.</i> (1971)

TABELA 3 - Suscetibilidade à erosão pela textura dos solos.

Símbolo	Descrição do Solo - Classificação Unificada	Erodibilidade
GW	Pedregulho e mistura de pedregulho e areia bem graduados, com poucos ou sem finos.	↓
GP	Pedregulho e mistura de pedregulho e areia mal graduados, com poucos ou sem finos.	
SW	Areias e areias pedregulhosas bem graduadas, com poucos ou sem finos.	
GM	Cascalho siltoso, misturas de cascalho e areia, areia e silte.	
CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada, argilas gordas.	
CL	Argilas inorgânicas de plasticidade baixa ou média, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras.	
OL	Siltos orgânicos, siltos e argilas orgânicas de plasticidade baixa.	
MH	Siltos inorgânicos, solos arenosos finos ou siltosos micáceos e diatomáceos, solos elásticos.	
SC	Areias argilosas.	
SM	Areias siltosas.	
ML	Siltos inorgânicos e areias muito finas, pó de pedra, areias finas siltosas ou argilosas e siltos argilosos pouco plásticos.	

Fonte: Llopis Trillo, 1999.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise textural

Na comunidade Fátima de Urucurituba, verificou-se que o talude marginal apresenta altura de 14m (BRASIL, 2020). No entanto, a coleta das amostras para as análises foi feita apenas nos dois metros emersos, durante o período da vazante (setembro de 2017). As referidas análises, quando plotadas no diagrama triangular que avalia as porcentagens de areia, silte e argila (FOLK, 1954), constituem um único grupo, no campo do silte arenoso, sempre com baixa porcentagem de argila (Figura 5) e curvaturas exibindo materiais bem graduados (Figura 6). No entanto, no campo, observou-se que a textura do horizonte B1 mostra-se fina a média e a textura

dos horizontes B4 e B5 muito fina, com características plásticas e aspecto textural siltico-argiloso (Figura 6).

Análise mineralógica

Em termos de mineralogia, o talude marginal estudado apresenta predomínio de quartzo e porções significativas de muscovita, plagioclásio (albita) e clorita (nimita) (Tabela 4), com presença de feldspato alcalino nos horizontes B4 e B5.

Também foi detectada esmectita (nontronita), um argilomineral expansível do tipo 2:1, nos horizontes B3 e B4, onde havia uma textura com materiais mais finos (Tabela 4).

Considerando a sequência de estabilidade para minerais de fração de argila nos solos, proposta por Jackson (1968), pode se dizer que o material do talude marginal da comunidade Fátima de Urucurituba apresenta índice

de intemperismo num estágio recente (solos jovens) a intermediário, com presença de minerais como plagioclásios, feldspato potássico, esmectita e clorita. Esses minerais apresentam estabilidade moderada e, portanto, estão mais suscetíveis ao intemperismo e à erosão.

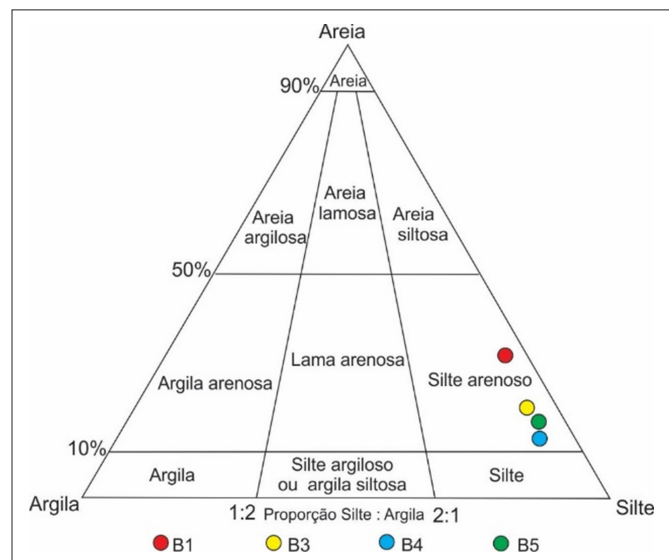


FIGURA 5 - Diagrama de Folk (1954), com proporções de argila, silte e areia e a classificação das amostras do talude marginal da comunidade Fátima de Urucurituba. Fonte: elaborado pelos autores.

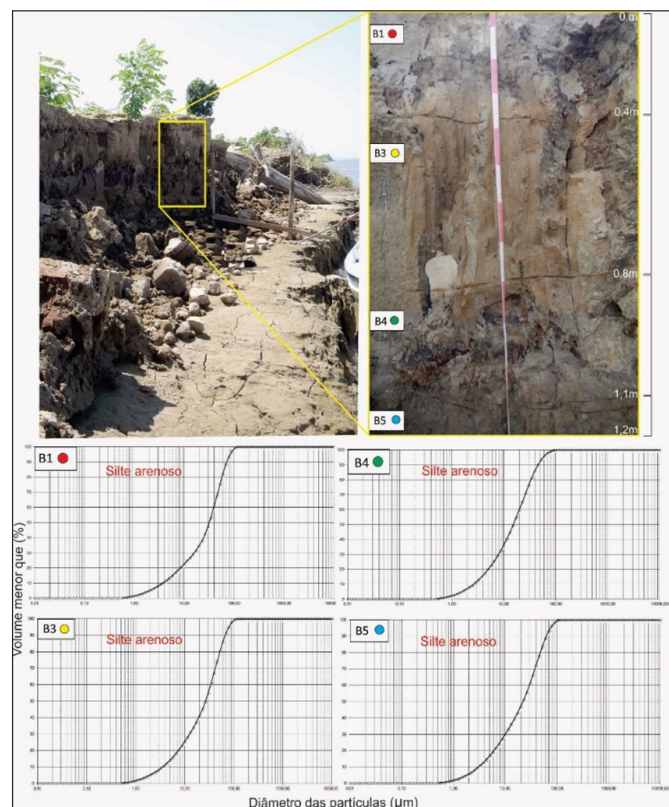


FIGURA 6 - Talude marginal localizado na comunidade Fátima de Urucurituba, composto predominantemente por silte arenoso, com a localização das amostras coletadas e suas respectivas curvas granulométricas. Fonte: elaborado pelos autores.

TABELA 4 - Caracterização mineralógica do material do talude marginal por difratometria de raios X.

Minerais identificados	Horizontes			
	B1	B3	B4	B5
Quartzo	X	X	X	X
Muscovita	X	X	X	X
Esmectita (nontronita)		X	X	
Feldspato alcalino (Ortoclásio)			X	
Feldspato alcalino (Microclínio)				X
Plagioclásio (albita)	X	X	X	X
Clorita (nimita)	X	X	X	X

Fonte: elaborado pelos autores.

Condutividade Hidráulica / Permeabilidade

Foram encontrados três valores de condutividade hidráulica para o talude marginal emerso (Tabela 5), diminuem à medida que se aprofunda no perfil, porque há aumento no teor de sedimentos argilosos em detrimento à porção superior do talude marginal, que possui textura mais arenosa e mais permeável. Observa-se que foi utilizado o mesmo valor do horizonte B4 para o B5, por possuírem texturas muito semelhantes.

TABELA 5 - Valores de condutividade hidráulica para o material do talude marginal.

Amostra	Profundidade	Condutividade hidráulica - k (cm/s)
B1	0,4m	$1,88 \times 10^{-3}$
B3	0,4 – 0,8m	$1,22 \times 10^{-4}$
B4	0,8 a 1,10m	$2,31 \times 10^{-6}$
B5	1,10 a 2m	$2,31 \times 10^{-6}$

Fonte: elaborado pelos autores.

Análise de erodibilidade

Os cálculos do fator de erodibilidade (K), pelo método de Bouyoucos (1935), mostraram valores acima de 0,11 t.ha.h/ha.Mj.mm, conforme se observa na Tabela 6. Esses valores indicam solos de extrema erodibilidade, conforme trabalhos de Mannigel *et al.* (2002) que utiliza essa mesma metodologia.

Pelo método Wischmeier, Johnson e Cross (1971), os valores de erodibilidade obtidos ficaram entre 0,104 e 0,108 (Tabela 7). Esses valores indicam solos de extrema erodibilidade, conforme as classes de Raimo *et al.* (2019).

Apesar de diferentes, os resultados com as metodologias propostas por Bouyoucos (1935) e por Wischmeier, Johnson e Cross (1971) mostram valores próximos, evidenciando que a erodibilidade dessa área mostra-se intrinsecamente relacionada com a alta quantidade de silte. Corroborando

TABELA 6 - Valores texturais e fator de erodibilidade (K) do material que sustenta o talude marginal localizado na comunidade Fátima de Urucurituba, conforme método de Bouyoucos (1935).

Amostra	Profundidade	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Fator erodibilidade (k)
B1	0,4m	5,6	70,6	23,8	0,168
B3	0,4 – 0,8m	5,85	80,15	14	0,160
B4	0,8 a 1,10m	7,98	87,9	4,12	0,115
B5	1,10 a 2m	6,6	82	11,4	0,141

Fonte: elaborado pelos autores.

TABELA 7 - Fator de erodibilidade (K) do material que sustenta o talude marginal localizado na comunidade Fátima de Urucurituba, conforme método de Wischmeier, Johson e Cross (1971).

Amostra	Profundidade	%Silte + % Areia fina * 100 – % Argila (M)	Matéria orgânica (%) (MO)	Tipo de Estrutura (S)	Classe de permeabilidade (P)	Fator de erodibilidade (k)
B1	0,4m	8911,36	0,2	3	3	0,108
B3	0,4 – 0,8m	8864,2225	0,17	2	4	0,106
B4	0,8 a 1,10m	8467,6804	0,1	1	6	0,104
B5	1,10 a 2m	8723,56	0,1	1	6	0,104

Fonte: elaborado pelos autores.

com a ideia de que solos compostos, principalmente por siltes e areias finas ou argilas dispersivas, tendem a ser mais erosivos (LAL, 1994). Desta forma, com base nos dados granulométricos, nas classes de erodibilidade de Mannigel *et al.* (2002) e de Raimo *et al.* (2019) e no sistema hierárquico de Llopis Trillo (1999), verifica-se que o talude marginal da comunidade Fátima de Urucurituba apresenta valores de erodibilidade elevados, indicando extremas erodibilidades. No entanto, pela classificação de Freire e Pessotti (1974), os resultados obtidos para o talude em questão indicam uma classe de erodibilidade muito baixa, em conformidade com Bastos (1999), que sugere que solos erodíveis seriam aqueles com $K > 0,20$. Assim, não há um consenso em relação a um valor limite de K que permita a distinção objetiva entre solos suscetíveis e solos resistentes à erodibilidade. Até porque não há uma classificação para todos os solos do Brasil, principalmente para Cambissolos Flúvicos, caso do talude estudado. Mas pelos dados de campo, desta e de outras regiões, sabe-se que o material em questão (sedimentos modernos silteco-arenosos) são muito suscetíveis ao fenômeno das terras caídas. Portanto, os valores de Bouyoucos (1935) e de Wischmeier, Johson e Cross (1971) são mais condizentes com a realidade observada.

Existem propriedades que tendem a induzir a suscetibilidade de um solo à erosão e outras que, em sentido oposto, são claramente relacionadas à resistência do mesmo. Por exemplo, solos expansíveis são mais suscetíveis à erosão, ao passo que aqueles que exibem índices de plasticidade elevados tendem a ser mais resistentes aos

processos erosivos. Neste contexto, considerando apenas a expansibilidade dos minerais, uma vez que não foram realizadas análises de plasticidade, somada à textura silteco-arenosa do material, pode-se dizer que o talude marginal em questão, por conter em dois horizontes minerais expansivos, apresenta alta suscetibilidade a processos erosivos.

Considerando-se que o desencadeamento dos processos erosivos não é determinado por um fator exclusivo, mas por um conjunto de diferentes variáveis inter-relacionadas, como litologia, solo, clima, relevo, cobertura vegetal e ação antrópica, e que para a erosão fluvial leva-se em conta também a vazão, carga sedimentar e a variação do nível da água do rio, é importante estabelecer a interação desses fatores de forma consistente, de modo que se possam formular critérios de estimativa prévia sobre o potencial à erodibilidade dos solos.

Desta forma, os dados de erodibilidade obtidos, quando associados aos dados hidrológicos, mostram que o talude marginal estudado será facilmente erodível. Principalmente, por possuir alta suscetibilidade à erosão condicionada a um alto teor de silte e a presença de minerais expansivos, associados a um alto índice pluviométrico e vazões líquidas do rio acima de $150.000\text{m}^3/\text{s}$ (TEIXEIRA; SILVA; LOPES, 2018). Ressalta-se, que ainda são necessários dados quantitativos sobre os minerais expansivos para se avaliar mais precisamente o grau de suscetibilidade do terreno, pois solos expansivos apresentam uma alta susceptibilidade à degradação e à erosão hídrica (KÄMPF; MARQUES; CURI, 2012).

CONCLUSÕES

As análises realizadas no talude marginal da comunidade Fátima de Urucurituba mostraram que o mesmo, em sua parte superior, é composto predominantemente por material fino de textura siltosa a silto-arenosa, de permeabilidade moderada e com presença de minerais expansivos, pouco coesos e facilmente erodíveis. Esta condição de erodibilidade deve estar relacionada à grande quantidade de silte, uma vez que, quando compactado, o terreno siltoso poderá apresentar fissuras, pela falta de plasticidade, e ser facilmente levado pela correnteza. A erodibilidade, também, pode ser maior por conta da presença de argilominerais expansivos (esmectita), mas que precisam ser quantificados para uma melhor avaliação da suscetibilidade. Essas características, associadas às elevadas vazões do Rio Amazonas, propicia uma área com alta suscetibilidade à erosão fluvial.

Ressalta-se que este estudo mostra que o referido talude marginal tem alta suscetibilidade à erosão fluvial e que pode ser facilmente erodido por processo de corrosão/abrasão devido à correnteza do rio, porém não apresenta elementos suficientes para explicar o processo de solapamento de grandes massas de terra. Sabe-se que o terreno é pouco estável, mas não se tem pleno conhecimento dos elementos desencadeadores do solapamento. Desta forma, sugere-se que sejam realizados:

i) Estudos sedimentológicos mais detalhados, como avaliação de um perfil mais profundo para verificar a sequência estratigráfica do depósito aluvionar, observando-se diferenças litológicas, e quantificar os argilominerais expansivos.

ii) Análise de perfis sísmicos, para observar tanto a questão da sedimentação quanto a presença ou não de falhas.

iii) Testes geotécnicos mais específicos, como de resistência (limite de ruptura), saturação do solo e pressão hidrostática (poropressão na cheia e vazante do rio).

iv) Análise geofísica-geotécnica para avaliar a erosão interna e o fluxo interno da água no terreno.

v) Perfilagem com o aparelho ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), com o objetivo de se estabelecer o perfil batimétrico e de velocidade do rio em frente à comunidade.

REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Banco de dados**. Versão 3.1.1. Brasília: ANA, 2020. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 20 abr. 2020.

BANDEIRA, I. C. N.; ADAMY, A.; ANDRETTA, E. R.; COSTA DA CONCEIÇÃO, R. A.; ANDRADE, M. M. N. Terras caídas: Fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon?. *Environmental Earth Sciences*, v. 77, p. 1-16, 2018.

BANDEIRA, I. C. N.; TEIXEIRA, S. G. **Risco de terras caídas na Amazônia**. Apresentado no 1º Encontro Brasileiro em Redução de Riscos de Desastres – IRRD, 1., 2019, Porto Alegre. Porto Alegre: ABRRD, 2019.

BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1995.

BOUYOUCOS, G. W. The clay ration as a criterion as susceptibility of soils to erosion. *Jour. Amer. Soc. Agron.*, v. 27. p. 738-741, 1935.

BRASIL. Marinha. **Cartas Raster**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav/cartas-raster>. Acesso: 12 jun 2020.

CARVALHO, J. A. L. **Terras caídas e consequências sociais: Costa do Miracauera – Paraná da Trindade, Município de Itacoatiara – AM, Brasil**. 2006. Dissertação (Mestrado em Sociedade e Cultura na Amazônia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

CARVALHO, J. A. L.; CUNHA, S. B.; IGREJA, H. L. S.; CARNEIRO, D. de S. Episódio de Terras Caídas no Rio Amazonas: caso Costa da Águia, Parintins–Am. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS*, 18., 2009, Campo Grande. **Anais** [...] Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios>. Acesso 15 abr. 2017. (link não funcionou)

DANTAS, M. E.; TEIXEIRA, S. G. Origem das paisagens. *In: JOÃO, X. S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. Geodiversidade do estado do Pará*. Belém: CPRM, 2013. p. 23-51.

EMBRAPA. **Manual de método de análise de solos**. 2. ed. Revista. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. (Documentos; 132)

FETTER, C. W. Properties of aquifers. *In: FETTER, C. W. Applied hydrogeology*. 4th ed. Upper Saddle River, N. J., Prentice Hall, 2001. p. 84-88.

FOLK, R. L. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of Geology*, v. 62, n. 4, p. 344-359, 1954.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. *In: BASSELMAN, J. A. (ed.). Hydrological modeling of small watersheds*. St. Joseph: ASAE, 1982. p.297–300.

FREIRE, O.; PESSOTTI, J. E. S. Erodibilidade dos solos do estado de São Paulo. *An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz*, Piracicaba, v. 31, p. 333-350, 1974. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0071-12761974000100026>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0071-12761974000100026&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 05 out. 2020.

- FREITAS, F. T. de; ALBUQUERQUE, A. R. Análise temporal sobre as "Terras Caídas" no médio Solimões/Coari (AM). **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 129-140, 2012.
- GALLO, M. N.; VINZON, S. B. Generation of overtides and compound tides in Amazon estuary. **Ocean Dynamics**, v. 55, p. 441-448, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10236-005-0003-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10236-005-0003-8>. Acesso em: 05 set. 2020.
- JACKSON, M. L. Weathering of primary and secondary minerals in soils. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 9., 1968, Adelaide. **Transaction**. Adelaide: International Society of Soil Science, 1968. v. 4, p. 281-292.
- KÄMPF, N.; MARQUES, J. J.; CURI, N. Mineralogia dos solos Brasileiros. In: KER, J. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (ed.) **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. cap. 7, p. 82-128.
- LABADESSA, A. S. "Terras Caídas", as causas naturais e antrópicas: uma ocorrência na comunidade de São Carlos – Médio Madeira/RO. **Geingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, Maringá, v. 3, n. 1, p. 45-61, 2011. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Geingá/article/view/49156/751375140350>. Acesso em: 05 set. 2020.
- LAL, R. **Soil erosion research methods**. 2nd ed. EUA: Soil and Conservation Society, 1994.
- LLOPIS TRILLO, G. **Control de la erosión y obras de desagüe – Manual de estabilización y revegetación de taludes**. Madri: Entorno Grafico S. L., 1999.
- LUZARDO, R.; TEIXEIRA, S. G. **Relatório de Ação Emergencial para Reconhecimento de Áreas de Alto e Muito Alto risco a Movimentos de Massa e Enchentes - Município de Santarém - PA**. Belém: CPRM, 2012.
- MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. de P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. da R. Fator Erodibilidade e Tolerância de Perda dos Solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.
- RAIMO, L. A. L.; AMORIM, R. S. S.; TORRES, G. N.; BOCUTI, E. D.; COUTO, E. G. Variabilidade espacial da erodibilidade no estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 55-67, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA18122>. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/index.php/rca/article/view/17019>. Acesso em: 05 out. 2020.
- TEIXEIRA, S. G.; SILVA, R. L. L.; LOPES, D. F. Influência de parâmetros hidrológicos no processo de erosão fluvial na região de Santarém-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 16., 2018, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: ABGE, 2018.
- WISCHMEIER, W. H.; JOHSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 26, n. 5, p. 189–193, 1971.

Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial | Departamento de Gestão Territorial

V. 1, N. 1 Rio de Janeiro, dezembro 2020

Caracterização e Avaliação da Potencialidade do Geomorfossítio Serra do Piriá – Pará, Brasil

The Characterization and Potentiality Evaluation of the Serra do Piriá Geomorphosite, Pará, Brazil

Sheila Gatinho Teixeira (sheila.teixeira@cprm.gov.br)¹
Marcelo Eduardo Dantas (marcelo.dantas@cprm.gov.br)²
Iris Celeste Nascimento Bandeira (iris.bandeira@cprm.gov.br)¹
José Guilherme Ferreira de Oliveira (jose.oliveira@cprm.gov.br)¹
Rogério Valença Ferreira (rogerio.ferreira@cprm.gov.br)³

¹ Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Superintendência Regional de Belém² Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Escritório do Rio de Janeiro³ Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Superintendência Regional de Recife

Abstract

The geodiversity mapping of the northeast coast of Pará done by the Geological Survey of Brazil (SGB) in 2019, allowed the inventory of potential areas for geomorphosites, which are important for the valorization of geodiversity, as well as for geoconservation. In this context, the present work characterizes the geodiversity and evaluates the potential of Serra do Piriá, located in the municipality of Viseu at the eastern end of the northeast coast of Pará. Serra do Piriá is a lateritic plateau which corresponds to the relief compartment with the greatest topographic range of the region, with about 180 meters high, standing out in the local landscape. It is constituted by Cráton São Luís rocks and represents the oldest lateritization process in the Amazon, with the presence of caves in the bauxitic horizon, a peculiar characteristic that gives this geomorphosite the only record of a laterite karst environment in the world. Through the methodology of the SGB Geosites, the potential of Serra do Piriá was quantified as a geomorphosite of scientific value of international relevance with potential for educational and tourist use, where the top of the plateau can be used as a viewpoint overlooking the mangroves of the region.

Keywords: Geosite, lateritic plateau, geoheritage, geodiversity and geoconservation

Palavras chave: Geossítio, platô laterítico, patrimônio geológico, geodiversidade e geoconservação

INTRODUÇÃO

O entendimento da geodiversidade de uma região é de suma importância para sua geoconservação, bem como para o desenvolvimento do geoturismo local. Segundo Brilha (2005), o inventário da geodiversidade abrange o reconhecimento do patrimônio geológico local e é definido pelo conjunto dos geossítios inventariados e caracterizados em uma determinada região. Por sua vez, o geossítio é a ocorrência de um ou mais elementos da geodiversidade (aflorantes em resultado da ação de processos naturais e, também devido à intervenção humana), bem delimitado geograficamente e que apresente valor singular do ponto de vista científico, pedagógico, cultural ou turístico (BRILHA, 2005). Um tipo de geossítio é o geomorfossítio, definido por Panizza (2001) como uma feição

de relevo para qual um valor pode ser atribuído como: cênico, sócio- econômico, cultural e científico. Porém, Reynard *et al.* (2009) define três aspectos específicos para os geomorfossítios: 1 – dimensão estética: um alto valor estético é atribuído à paisagem geomorfológica; 2 – dimensão dinâmica: a observação dos processos dinâmicos naturais atuantes no relevo e/ou registro de processos passados; 3 – escalas: tanto geossítios quanto geomorfossítios não possuem um tamanho padrão a ser seguido, nem máximo nem mínimo, podendo abranger formas isoladas ou grandes feições na paisagem. Contudo, é importante que seus limites sejam bem delineados. Assim, baseando-se no conceito de geomorfossítios, o objetivo do presente trabalho é identificar e avaliar a potencialidade da Serra do Piriá como geomorfossítio, que fica localizada na região nordeste do estado do Pará

e teve sua geodiversidade mapeada através do Projeto Geodiversidade da Costa Nordeste do Pará, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (TEIXEIRA; BANDEIRA, 2019; TEIXEIRA; BANDEIRA, 2020).

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Serra do Piriá está localizada na região nordeste do Pará, no município de Viseu, às margens do Rio Piriá. O acesso a partir de Belém (PA) é feito pela rodovia BR-316 até Capanema, de onde segue pela BR-308, passando por Tracuateua, Bragança e Augusto Corrêa, até chegar à PA-462, que leva à localidade de Açaiteua. A partir dessa localidade, o percurso segue por um ramal com cerca de 10 km de extensão, passando pela localidade de Centro Alegre, até chegar ao topo da serra ($01^{\circ} 12' 47''$ S e $46^{\circ} 17' 42''$ W) (Figura 1).

GEODIVERSIDADE DA ÁREA

Geologia e Formações Superficiais

A Serra do Piriá está alinhada segundo a direção N-S, ao longo da margem esquerda do Rio Piriá, no município de Viseu, nordeste do Pará. Ocorre na forma de platô laterítico. Consiste de uma superfície tabular remanescente sustentada por uma crosta laterítica ferruginosa no topo, de aproximadamente 9m de espessura (Figura 2). Apresenta coloração marrom-avermelhada a marrom-escuro, endurecida e com texturas do tipo maciça, cavernosa, que são revestidas com goethita (Figura 3a). Abaixo dessa crosta, ocorre o nível bauxítico e/ou de fosfato de alumínio (COSTA, 1991), com espessura superior a 8m, com coloração creme-amarelada, de textura maciça, cavernosa (Figura 3b), oolítica-pisolítica e possui concreções ferruginosas.

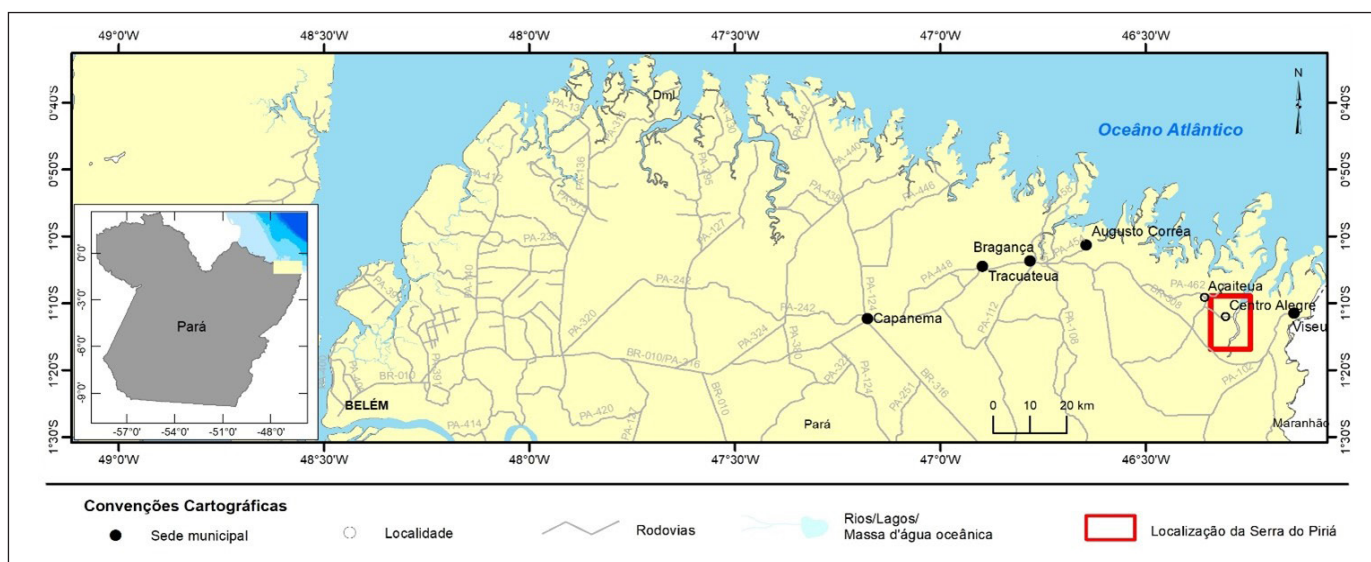


FIGURA 1 - Localização da Serra do Piriá. Fonte: SEMA, 2011; ZEE-AC, 2006.



FIGURA 2 - Vista panorâmica do topo da Serra do Piriá com espessa crosta ferruginosa em antiga área de lavra da crosta ferruginosa. Foto: Arquivo do Projeto Geodiversidade da Costa Nordeste do Pará (2019).

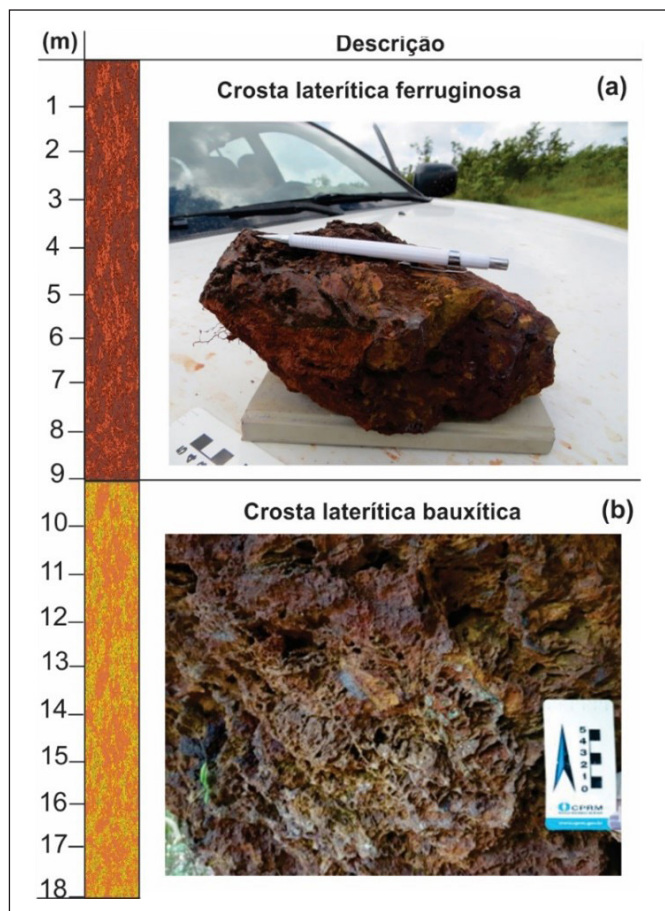


FIGURA 3 - Perfil intempérico esquemático do topo da Serra do Piriá. (a) - Detalhe da crosta ferruginosa na Serra do Piriá, município de Viseu. Foto: Arquivo do Projeto Geodiversidade da Costa Nordeste do Pará (2019). (b) - Detalhe da crosta bauxítica na Serra do Piriá, município de Viseu. Foto: Arquivo do Projeto Geodiversidade da Costa Nordeste do Pará (2019).

Caracteriza-se, mineralogicamente, pelo desaparecimento da caulinita e ocorrência de gibbsita e, subordinadamente, goethita. No topo desse horizonte predominam estruturas de degradação do tipo brecha de colapso com formas laminadas, zonas cavernosas e de baixa densidade (porosas) (COSTA, 1980; OLIVEIRA; AQUINO, 1982 e PINHEIRO *et al.*, 2001). Abaixo do nível bauxítico, ocorre o horizonte mosqueado, rico em caulinita, com espessura variável em torno de 25 m, com coloração amarelada a esbranquiçada, podendo-se encontrar ainda goethita, gibbsita e quartzo. A estruturação da rocha-matriz (foliada) está ainda preservada neste horizonte (PINHEIRO *et al.*, 2001). A rocha-matriz é um filito de cor cinza, granulação muito fina e textura foliada, cortada por veios de quartzo, com a foliação de atitudes variando entre NS 35°/W e N10°W 35°/SW (PINHEIRO *et al.*, 2001), que pertence ao Grupo Aurizona (COSTA, 1982), correspondendo à sequência metavulcanossedimentar de fácies predominantemente xisto-verde, com idade de 2240Ma, a qual pertence ao Cráton de São Luís (PASTANA; JORGE JOÃO, 1995 e KLEIN; MOURA, 2001). As crostas lateríticas maduras da

Serra do Piriá representam o evento mais antigo de lateritização identificado na Amazônia, desenvolvidas entre o Eoceno e o Oligoceno (COSTA, 1982; COSTA, 1991).

Geomorfologia

A área está inserida no Domínio Geomorfológico Superfície do Rio Gurupi, que ocupa uma restrita área da porção leste do nordeste do estado do Pará. Consiste em um prolongamento, a oeste, do Cráton de São Luís, onde as formas de relevo são resultantes do arrasamento generalizado das rochas do embasamento (DANTAS; TEIXEIRA, 2013), associadas aos processos de lateritização (COSTA, 1991), que conferiram às rochas diferentes graus de resistência à erosão.

A região do Gurupi se apresenta como uma das mais importantes e mais ricas em variedades composicionais de lateritos. Houve a formação de crostas lateríticas maduras, com desenvolvimento de horizonte aluminoso (bauxítico), de horizonte ferruginoso e concrecionário, no topo, e por Latossolo Amarelo argiloso de cobertura, resultante do intemperismo moderno. Essa superfície foi desmantelada por erosão e denudação do relevo, com atuação de eventos neotectônicos (Mioceno e Plioceno) (COSTA *et al.*, 1996, BEMERGUY *et al.*, 2002). O desmantelamento implicou na reestruturação do relevo, que permitiu a formação do modelado atual de caráter residual, sendo representado pelas colinas (R4a1), morros altos (R4b1) e platôs (R2c) (Figura 4).

As colinas e morros altos estão sustentadas pelos perfis de alteração das rochas do Grupo Aurizona, com declividades variando de 3 a 10° para as colinas e 10 a 35° para os morros altos. As colinas possuem amplitude topográfica de 10 a 60m, enquanto que os morros altos possuem amplitude variando de 50 a 100m. Apresentam uma cobertura de Plintossolo Pétrico com espessura superior a 2 metros, que ocorre sobre horizonte concrecionário sendo decorrente da degradação da crosta laterítica. Abaixo, registra-se o horizonte mosqueado e o solo saprólítico, que guarda algumas estruturas da rocha-mãe, como dobras e xistosidade. O conjunto de colinas e morros altos mais expressivos da área (Figuras 5 e 6) ocorrem alinhados na direção N-S, associados aos platôs lateríticos da Serra do Piriá.

Destacam-se topograficamente na paisagem da região, os platôs lateríticos, que ocorrem sob a direção N-S, representados pela Serra do Piriá (COSTA, 1982), que consiste num relevo residual que domina as superfícies de aplainamento circunjacentes, posicionadas em cotas mais baixas. O platô possui o topo plano com borda subvertical, mas, em geral, apresentam declividade variando de 3 a 30°, com amplitudes de 20 a 180 metros para a Serra do Piriá (Figuras 7 e 8). A presença de uma espessa crosta laterítica ferruginosa forma uma cornija em seu rebordo erosivo no topo, que confere resistência aos processos intempéricos e denudacionais.

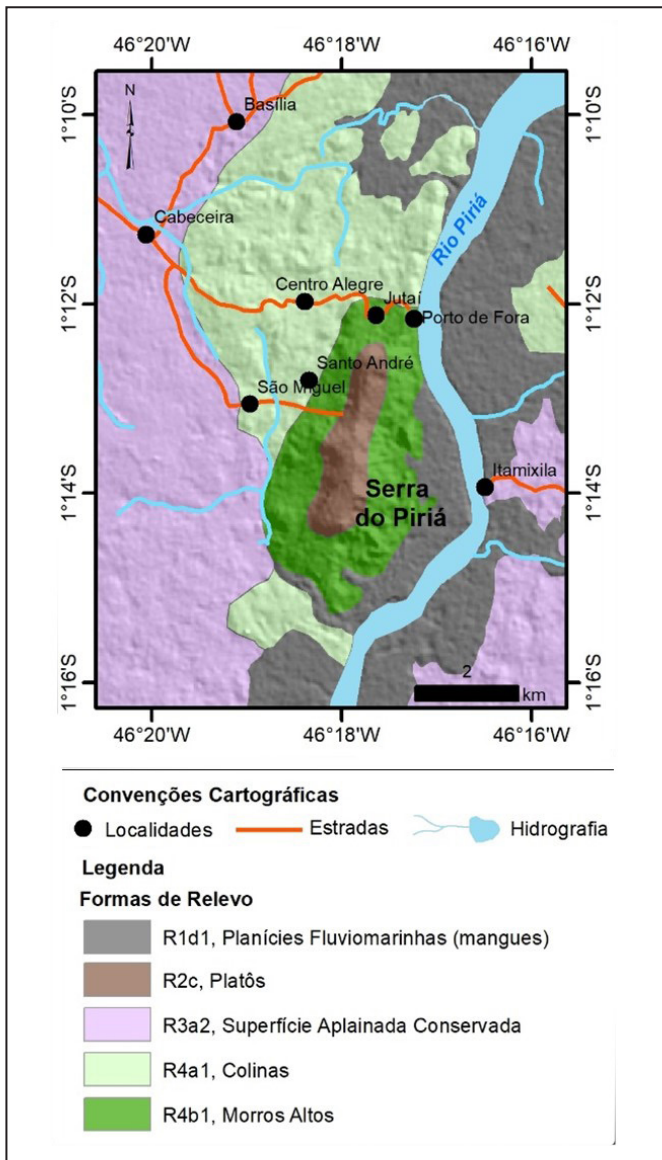


FIGURA 4 - Formas de relevo alinhadas na direção N-S associadas à Serra do Piriá. Fonte: Elaborado pelos autores.



FIGURA 5 - Relevo de colinas que compõe o conjunto da Serra do Piriá. Ramal para Fernandes Belo, município de Viseu. Foto: Arquivo do Projeto Geodiversidade da Costa Nordeste do Pará (2019).



FIGURA 6 - Relevo de morros altos que compõe o conjunto da Serra do Piriá. Vila Santo André. Foto: Arquivo do Projeto Geodiversidade da Costa Nordeste do Pará (2019).

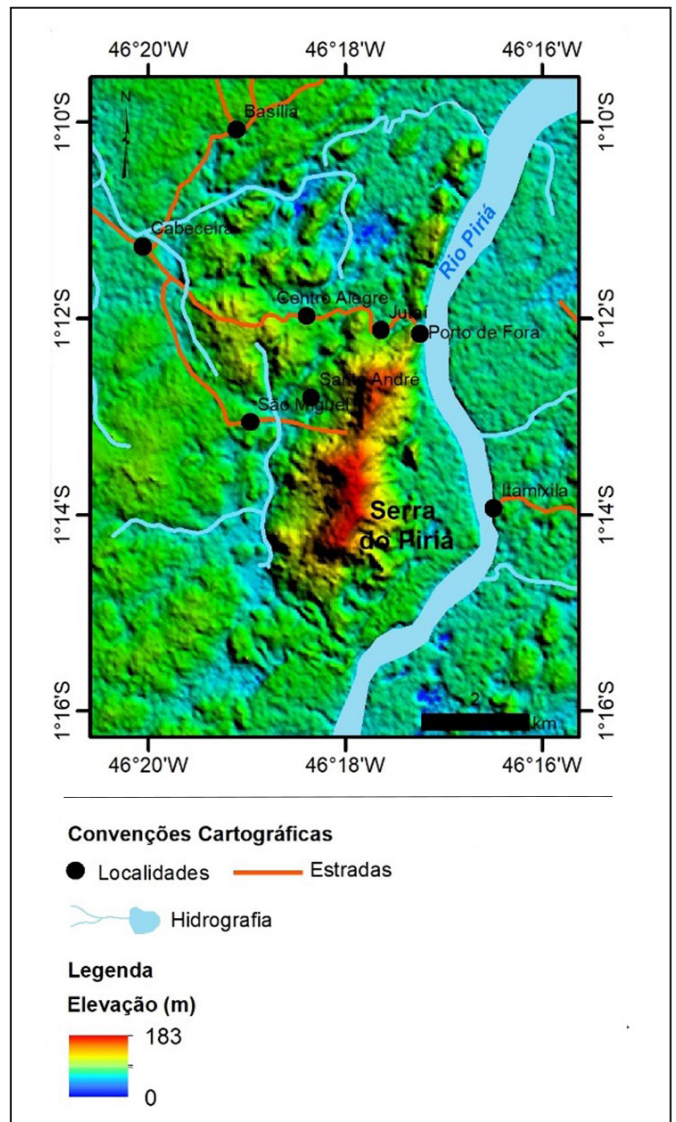


FIGURA 7 - Modelo digital de elevação da área mostrando a amplitude topográfica da região da Serra do Piriá. Fonte: Elaborado pelos autores.



FIGURA 8 - Platô laterítico, conhecido como Serra do Piriá, município de Viseu. Foto: Arquivo do Projeto Geodiversidade da Costa Nordeste do Pará (2019).

Espeleologia

Pinheiro *et al.* (2001), catalogaram uma série de cavernas no contato do nível bauxítico com a crosta ferruginosa na Serra do Piriá, como a Gruta do Piriá e a Toca do Leão (Figuras 9 e 10). Como as mesmas representam exemplos raros e mundiais de cavernas em



FIGURA 9 - Caverna da Toca do Leão, em crosta bauxítica, na Serra do Piriá, município de Viseu-PA. Foto: Arquivo do Projeto Geodiversidade da Costa Nordeste do Pará (2019).



FIGURA 10 - Entrada da Caverna da Toca do Leão, em crosta bauxítica, na Serra do Piriá, município de Viseu-PA. Fonte: Fonte: Teixeira; Bandeira (2019).



FIGURA 11 - Vista do topo da Serra do Piriá para a vasta planície fluvio-marinha revestida de manguezais, município de Viseu-PA. Fonte: Teixeira; Bandeira (2019).

AValiação DO POTENCIAL DO GEOMORFOSSÍTIO SERRA DO PIRIÁ

Para avaliação do potencial do geomorfossítio Serra do Piriá foi utilizado o aplicativo web desenvolvido pela SGB/CPRM, o Cadastro de Sítios Geológicos - GEOSSIT, o qual foi utilizado para registro, qualificação e quantificação, cujos resultados podem ser vistos na Tabela 1. Através da quantificação da plataforma GEOSSIT, o Geomorfossítio Serra do Piriá obteve valor científico de relevância internacional.

A valorização da área como geomorfossítio pode contribuir para conservação do patrimônio geológico local, uma vez que parte do topo da serra já se encontra degradado, em função da exploração da crosta ferruginosa, durante as décadas de 1980 e 1990 pela Cimentos do Brasil S/A (CIBRASA), como minério complementar para dosagem do calcário, visando a fabricação de cimento na cidade de Capanema (SANTOS, 2014).

TABELA 1 - Resultado do cadastro e quantificação do geomorfossítio através da plataforma GEOSSIT.

Nome	Serra do Piriá
Classificação	Geomorfossítio
Relevância	Internacional
Valor Científico	340
Valor Educativo	285
Valor Turístico	230
Risco de Degradação	300
Qualificação do Risco	Médio

Fonte: Elaborada pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos relacionados à geodiversidade são de grande importância para a gestão territorial, uma vez que disponibiliza aos gestores do território estudado, informações relevantes para um adequado planejamento de uso e ocupação do solo, beneficiando, assim, a sociedade em geral. Através do estudo da geodiversidade da costa nordeste do Pará foi possível fazer o inventário de locais com potencial para geossítio. A região é conhecida pelo seu elevado potencial turístico por conta das belas praias ali encontradas. No entanto, o inventário mostrou que parte da porção continental possui alto potencial pela sua história geológica, processos de modelados, e, também por sua beleza cênica.

O platô laterítico conhecido na região como Serra do Piriá é o local mais elevado da costa nordeste do Pará e representa o registro geológico mais antigo da área, o qual guarda o registro de lateritização mais antigo da Amazônia, que conferiu resistência às rochas e influenciou na configuração da geomorfologia local, bem como no surgimento das cavernas. Com o uso do aplicativo GEOSSIT, foi possível avaliar que a região possui um valor científico de relevância internacional, com grande potencial para uso educativo e turístico. O conhecimento e a valorização da região como um geomorfossítio significa um primeiro passo no caminho para a preservação do patrimônio geológico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEMERGUY, R.L.; COSTA, J.B.S.; HASUI, Y.; BORGES, M.S.; SOARES JR., A. V. Structural geomorphology of the brazilian amazon region. *In*: KLEIN, E.L.; VASQUEZ, M.L.; ROSA-COSTA, L.T. (org.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém: SBG-Núcleo Norte, 2002. p. 245-257.

BRILHA, J. **Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica**. Braga: Palimage, 2005.

COSTA, J.B.S.; BEMERGUY, R.L.; HASUI, Y.; BORGES, M.S.; FERREIRA JÚNIOR, C.R.P.; BEZERRA, P.E.L.; COSTA, M.L.; FERNANDES, J.M.G. Neotectônica da Região Amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e deposicionais. **Geonomos**, v. 4, n. 2, p. 23-44, 1996.

COSTA, M.L. **Geologia, mineralogia, geoquímica e gênese dos fosfatos de Jandá, Cansa Perna e Itacupim, no Pará, e Pirocaua e Traíra, no Maranhão**. 1980. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Núcleo de Ciências Geofísicas e Geológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, 1980.

COSTA, M.L. **Petrologisch-geochemische Untersuchungen zur Genese der Bauxite und Phosphat-Laterite der Region Gurupi (Ost-Amazonien)**. 1982. 189 f. Tese (Doutorado) - Fakultäten der Friedrich Alexander, Universität Erlangen-Nürnberg, Baviera, 1982.

COSTA, M.L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 12, p. 146-160, 1991.

DANTAS, M.E.; TEIXEIRA, S.G. Origem das paisagens. *In*: JORGE JOÃO, X.S.; TEIXEIRA, S.G.; FONSECA, D.D.F. **Geodiversidade do Estado do Pará**. Belém: CPRM, 2013. p. 23-51.

IPHAN. Centro Nacional de Arqueologia. **Sítios georreferenciados**. 2018. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/cna/pagina/detalhes/1227>. Acesso em: 07 jun. 2019.

KLEIN, E.L.; MOURA, C. A.V. Age constraints of granitoids and metavolcanic rocks of the São Luis Craton and Gurupi Belt, northern Brazil: implications for lithostratigraphy and geological evolution. **International Geology Review**, v. 43, p. 237-253, 2001.

- OLIVEIRA, N.P., AQUINO, E.G.T. As bauxitas da foz do rio Piriá e seu relacionamento com as lateritas terciárias do Pará e Maranhão. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 1., 1982, Belém. **Anais [...]**. Belém: SBG - Núcleo Norte, 1982. v. 2, p. 263-274.
- PANIZZA, M. Geomorphosites: Concepts, methods and examples of geomorphological survey. **Chinese Science Bulletin**, v. 36, supp., p. 4-6, 2001.
- PASTANA, J.M.N.; JORGE JOÃO, X.S. Cisalhamento Tentugal. *In: PASTANA, J.M.N. Turiaçu, folha SA.23-V-D e Pinheiro, folha SA.23.Y.B: estados do Pará e Maranhão*. Brasília: CPRM, 1995. p. 29-40. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB.
- PINHEIRO, R. V.; MAURITY, C. W.; HENRIQUES, A. L.; SILVEIRA, L. T.; MOREIRA, J. R. A.; LOPES, P. R. C.; SILVEIRA, O. T.; PAIVA, R. S.; LINS, A. L. F. A.; VERÍSSIMO, C. U. V.; ARCANJO, S. H. S.; KERN, D. C.; KRAUSE, E. A.; LIMA FILHO, M. F.; ROCHA, J. B.; SANTOS, W. As Grutas bauxíticas da Serra do Piriá-PA. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra**, v. 13, p. 03-97, 2001.
- REYNARD, E. Geomorphosites: definitions and characteristics. *In: REYNARD, E.; CORATZA, P.; REGOLINI-BISSIG, G. (Org.). Geomorphosites*. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil, p. 9-20, 2009.
- SANTOS, P.H.C. O perfil laterítico ferroaluminoso da Serra do Piriá. 2014. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.
- TEIXEIRA, S.G., BANDEIRA, I.C.N. **Mapa Geodiversidade da costa nordeste do Pará, PA**. [S. l.]: Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 1 mapa, color. Escala 1:100.000. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/21510>. Acesso em: 18 jan. 2020.
- TEIXEIRA, S. G.; BANDEIRA, I. C. N. (org.). **Geodiversidade da costa nordeste do Pará: nota explicativa: escala 1:100.000**. Belém: CPRM, 2020. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/21510>.



**SERVIÇO GEOLÓGICO
DO BRASIL – CPRM**

SECRETARIA DE
GEOLOGIA, MINERAÇÃO
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



**PÁTRIA AMADA
BRASIL**
GOVERNO FEDERAL