

Propriedades físicas do solo e cobertura e uso da terra como subsídio à compreensão dos processos erosivos lineares na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Amazônia Maranhense

Soil physical properties and land use and land cover as a basis for understanding linear erosive processes in the hydrographic basin of the Cachorros river, Amazônia Maranhense

Propiedades físicas del suelo y cobertura y uso de la tierra como subsidio a la comprensión de los procesos erosivos lineares en la cuenca hidrográfica del rio de los Cachorros, Amazônia Maranhense

Melina Fushimi

Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Rio Claro
melina.fushimi@unesp.br

Regina Célia de Oliveira

Universidade Estadual de Campinas
regina5@unicamp.br

João Osvaldo Rodrigues Nunes

Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Presidente Prudente
joao.o.nunes@unesp.br

Resumo

O trabalho analisou a correlação entre as propriedades físicas do solo e a cobertura e o uso da terra como subsídio à compreensão dos processos erosivos lineares na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Amazônia Maranhense. Os materiais e métodos contaram com descrição geral, análise morfológica e textural dos solos e fracionamento da areia por meio de trabalhos de campo e análises laboratoriais, bem como mapeamentos, com a elaboração do esboço das principais classes de solos e do mapa da cobertura e do uso da terra. Os resultados mostraram que nos perfis pedológicos A e B predominam as classes texturais “Areia franca” e

“Francoarenosa”, sendo naturalmente frágeis à erosão, em que a fração areia prevalece em todos os horizontes. Os atributos físicos estrutura, consistência e porosidade são influenciados diretamente pelo uso da terra, cujas inter-relações aceleram a dinâmica erosiva linear sob a forma de sulcos e ravinas e possibilidade de evolução para voçorocas.

Palavras-chave: Vegetação. Extração mineral. Sulcos. Ravinas.

Abstract

The current work analyzed the correlation between soil physical properties and land use and land cover as a basis for understanding linear erosive processes in the hydrographic basin of the Cachorros river, Amazônia Maranhense. The materials and methods included a general description, morphological and textural analysis of soils and sand fraction, through fieldwork and laboratory analysis, as well as mappings, with the elaboration of the outline of the main soil classes and the land use and land cover map. The results showed that in the soil profiles A and B the textural classes “Loamy sand” and “Sandy loam” predominate, being naturally fragile to erosion, where the sand fraction prevails in all horizons. The physical attributes structure, consistency and porosity are directly influenced by land use and their interrelations accelerate linear erosive dynamics by rills and ravines, with the possibility of evolution to gullies.

Keywords: Vegetation. Mineral extraction. Rills. Ravines.

Resumen

Lo trabajo tiene analizado la correlación entre propiedades físicas del suelo y la cobertura y lo uso de la tierra como subsidio a la comprensión de los procesos erosivos lineares en la cuenca hidrográfica del rio de los Cachorros, Amazônia Maranhense. Los materiales y métodos contaran con la descripción general, análisis morfológico y textural de los suelos y fraccionamiento de la arena mediante trabajos de campo y análisis de laboratorios, bien como mapeo, con la elaboración del esbozo de las principales clases de los suelos y del mapa de la cobertura y del uso de la tierra. Los resultados mostraran que en perfiles de suelo A y B predominan las clases texturales “Areno franca” y “Franco arenosa”, siendo naturalmente frágiles a la erosión, en que la fracción arena prevalece en todos los horizontes. Los atributos físico estructura, consistencia y porosidad son influenciados directamente pelo uso de la tierra, cuyas inter relaciones aceleran la dinámica erosiva linear con surcos y cárcavas y posibilidad de evolución para barrancos.

Palabras clave: Vegetación. Extracción mineral. Surcos. Cárcavas.

Introdução

Na ciência geográfica, ao partir da premissa de que é possível conceber uma história da natureza e uma história da sociedade, entretanto, que a formação da sociedade perpassa pela socialização da natureza, é papel deste campo do conhecimento interpretar as relações, as contradições e as apropriações existentes entre natureza e sociedade na perspectiva do tempo histórico (SUERTEGARAY e NUNES, 2001; SUERTEGARAY, 2018).

Em meio aos temas abordados na Geografia, a questão ambiental ou a “Geografia Ambiental” (CASTREE et al., 2009; SOUZA, 2018) avança no sentido de discutir os fenômenos com base nas inter-relações entre os aspectos físico-naturais e

humano-sociais, reconhecendo a pertinência desta concepção nas reflexões teóricas articuladas às práticas.

Sob esse contexto, destaca-se a problemática da erosão dos solos. O solo pode ser considerado um sistema dinâmico e aberto e, por conseguinte, os diferentes usos e as práticas de manejo interferem de modo direto nas suas propriedades físicas e químicas (GUERRA e MENDONÇA, 2004; RANGEL e GUERRA, 2017). Em relação aos atributos físicos, como cor, textura, estrutura e porosidade, devido à atuação que exercem na movimentação da água que entra, que sai e dentro dos solos, influenciam e são influenciados consideravelmente pelos processos erosivos (BRADY e WEIL, 2013). Ressalta-se, também, além dos aspectos físicos, a importância da composição química dos solos (NANDI e LUFFMAN, 2012; XIA et al., 2019).

A erosão que ocorre naturalmente no decorrer do tempo geológico, sem a intervenção das atividades sociais, é denominada de erosão geológica ou natural e configura-se como essencial para a formação do relevo da superfície terrestre, dos solos aluviais e das rochas sedimentares. No entanto, durante o tempo histórico, os usos da terra sem a implantação de medidas conservacionistas, ao desconsiderar as características, as dinâmicas e as limitações da natureza, sobretudo do solo, promovem a erosão acelerada ou induzida (WEILL e PIRES NETO, 2007; OLIVEIRA, 2014; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2017).

As consequências ambientais da erosão acelerada podem ser verificadas tanto no local (*on-site*) quanto em outras áreas (*off-site*). Como exemplo, na primeira situação tem-se o comprometimento da produção agrícola com a redução da fertilidade do solo pela remoção de horizontes superficiais que concentram matéria orgânica e nutrientes e na segunda pode-se mencionar o assoreamento, a poluição e a degradação dos cursos d'água superficiais (GOUDIE, 1995; PIMENTEL, 2000; MORGAN, 2005; NANDI e LUFFMAN, 2012; BRADY e WEIL, 2013; GUERRA et al., 2017).

Ao afetar a sociedade e a natureza, as manifestações erosivas são um dos principais problemas que alteram os solos em escala mundial (PIMENTEL, 2000). De acordo com Brady e Weil (2013), cerca de dois bilhões de hectares encontram-se degradados e aproximadamente 85% advêm da ação erosiva. Lal (1994) estimou que a erosão acelerada acontece em 12% da América do Norte, 19% da Oceania, 26% da Europa, 27% da África, 31% da Ásia e 18% da América do Sul.

Importante destacar que os processos erosivos fazem parte da dinâmica da natureza responsável pelo modelado do relevo. Todavia, quando ocorrem alterações decorrentes da ação humana, podem gerar um sério quadro de degradações ocasionando a formação de erosões lineares e laminares. No caso da Amazônia Maranhense (que compreende os setores Oeste, Central, Norte e Noroeste do estado) e da Ilha do Maranhão, pesquisas apontam feições erosivas lineares de até 16 metros de profundidade próximas às habitações, envolvendo danos ambientais e riscos à população (SATHLER et al., 2009; BEZERRA, 2011; MORAIS, 2018; CATUNDA e DIAS, 2019).

Nesse sentido, o presente artigo realizou-se na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, localizada na Ilha do Maranhão e na Amazônia Maranhense e possuiu como objetivo analisar a correlação entre as propriedades físicas do solo (descrição geral, análise morfológica, textura e fracionamento da areia) e a cobertura e o uso da terra como subsídio à compreensão dos processos erosivos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas).

O desenvolvimento do trabalho justifica-se diante da relevância dos estudos acerca da erosão acelerada na bacia hidrográfica em tela, cuja dinâmica erosiva é promovida e intensificada pelos usos da terra em solos com predomínio de classe textural arenosa que se associam aos Neossolos Quartzarênicos, propiciando alterações e degradações nos ambientes.

Materiais e Métodos

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (Figura 1) situa-se à Sudoeste da Ilha do Maranhão, ao Norte do estado do Maranhão e no bioma Amazônia. Sob as coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) 9708878 m N, 9698003 m S, 581602 m E e 570410 m W, fuso 23 Sul, possui área aproximada de 65 km², onde localizam-se os povoados Anandiba, Areia Branca, Babilonia, Bacabalzinho, Cabral Miranda, California, Colier, Iguara, Itaperçu, Juçaral, Livramento, Mangue Seco, Mata, Murtura, Olaria, Pedrinhas, Pindora, Rio Grande, Santa Cruz, Santo Antônio, Sítio Grande, Tahim e Usina (SÃO LUÍS, 1992).

Segundo a classificação discorrida por Rodrigues et al. (1994), a Formação Barreiras e a Formação Açuí, principalmente os depósitos aluvionares e coluvionares e os depósitos de mangues, constituem as unidades estratigráficas sobressalentes na área de estudo.

A Formação Barreiras é composta por fácies de sedimentação, com realce no recorte de trabalho para as fácies arenosas e argilosas. As fácies sedimentares mais arenosas estão ferruginizadas, com cor avermelhada a amarelada ocre, enquanto as fácies argilosas encontram-se caulinizadas ao exibir coloração esbranquiçada a rósea (RODRIGUES et al., 1994) e ambas são passíveis de exploração econômica, como atividade de extração mineral para a construção civil (CASTRO; SANTOS, 2012).

A Formação Açuí recobre de modo discordante a Formação Barreiras e caracteriza-se por sedimentos arenosos inconsolidados e argilosos. Os depósitos aluvionares possuem espessura inferior a 5 m de sedimentos arenosos a argilosos, mal selecionados, esbranquiçados, com seixos e grânulos dispersos de lateritas, enquanto os depósitos coluvionares são constituídos por material conglomerático oriundo de processos de detritos (PEREIRA, 2006). Nos depósitos de mangues têm-se lamas arenosas, cinzas, plásticas, não adensadas e maciças, recobertos por típica vegetação arbustiva em ambiente transicional de planície de maré de baixa energia e com intensa atividade orgânica e, por conseguinte, de bioturbação (RODRIGUES et al., 1994).

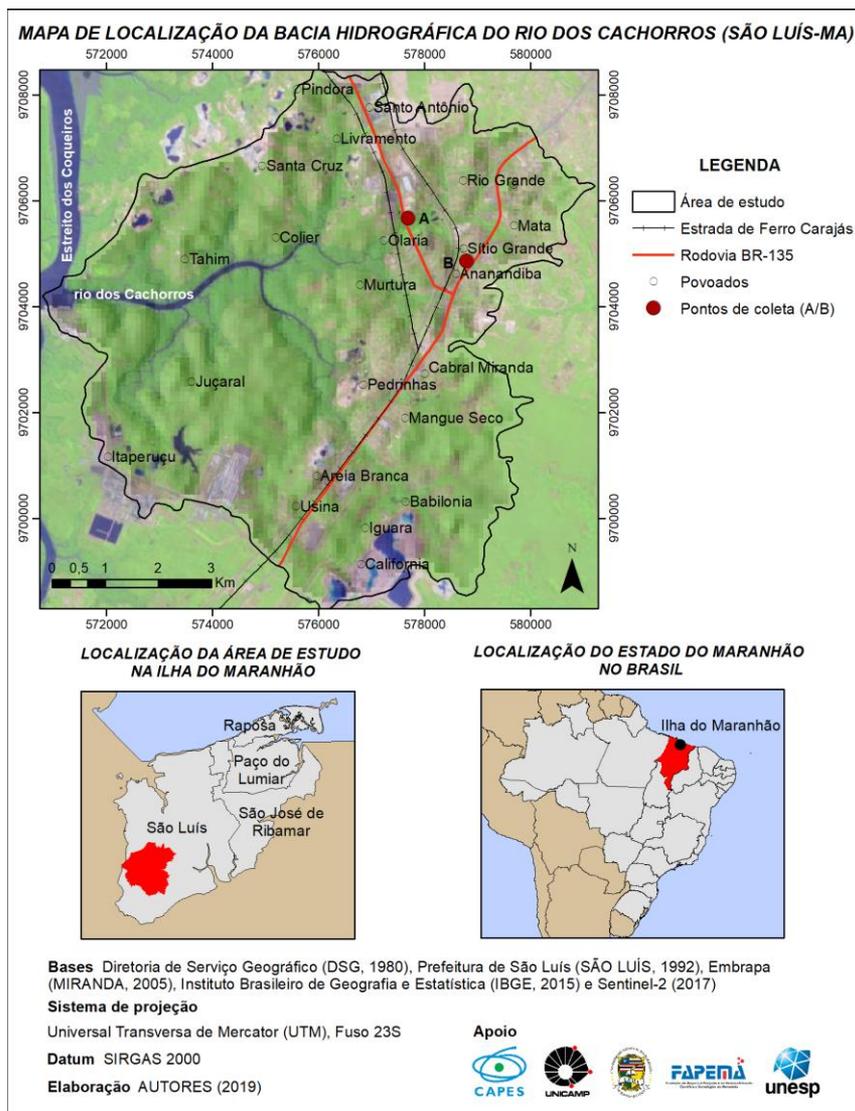


Figura 1: Localização da área de estudo.

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Em relação às formas de relevo, Silva (2012), ao elaborar o mapa geomorfológico da Ilha do Maranhão na escala 1:60.000, afirma que estão presentes como formas agradacionais as planícies de maré e as planícies fluviais e no que se refere às morfologias denudacionais prevalecem os tabuleiros com topos planos e as colinas esparsas.

As planícies de maré formam-se em costas planas a suavemente inclinadas, declividades de 0 a 2% e excepcionalmente até 12%. As planícies fluviais espacializam-se nos fundos de vale, declives entre 0 a 6%, próximas aos canais fluviais e acompanham o padrão de distribuição radial centrífuga que configura a drenagem da Ilha do Maranhão. Os tabuleiros possuem topos planos e convexos, as declividades variam de 0 a 6% e a partir deste compartimento de relevo advém as colinas esparsas, também denominadas por Maranhão (1998) de relevos subtabulares, pois porções do tabuleiro sofreram dissecação no decorrer do tempo geológico, com topos relativamente aplainados e vertentes côncavo-convexas de inclinações entre 2 a 30% (PEREIRA, 2006; SILVA, 2012).

Em conformidade com o mapa de solos da Ilha do Maranhão na escala 1:180.000 organizado por Silva (2012), baseado em Maranhão (1998), na Embrapa (2006) e em trabalhos de campo, ocorrem na área de interesse Argissolos Vermelho-Amarelos nos tabuleiros e nas colinas esparsas, Gleissolos Háplicos nas planícies fluviais e Solos Indiscriminados de Mangue nas planícies de maré.

O clima da Ilha do Maranhão é quente e úmido, com duas principais estações, inverno (seco) e verão (chuvoso), com índices pluviométricos elevados. O período chuvoso estende-se de janeiro a julho e o seco entre os meses de agosto a dezembro (Tabela 1). A temperatura média anual é de 26,9°C e possui pouca variação ao longo do ano (UFMA, 2009; INMET, 2019). Suas características climáticas associam-se à dinâmica atmosférica regional em razão da influência e da ação em escala macrorregional das massas de ar, dos centros dispersores e das zonas de convergência (ARAÚJO, 2014).

Tabela 1: Precipitação acumulada (mm) das Normais Climatológicas 1961-1990 e 1981-2010 de São Luís.

| Período | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|--------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-----|------|------|
| 1961-1990 | 244,2 | 373 | 428 | 475,9 | 316,5 | 173,3 | 131,1 | 29,4 | 23,3 | 7,6 | 10,5 | 77,4 |
| Total | 2290 | | | | | | | | | | | |
| 1981-2010 | 226,4 | 321,4 | 462,1 | 457,6 | 302 | 183,4 | 122,9 | 30 | 6,4 | 4,7 | 10,5 | 72,5 |
| Total | 2199,9 | | | | | | | | | | | |

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019).

No que se refere aos usos da terra, a década de 1980 representa um marco histórico, na medida que o capital industrial, reforçado por interesses nacionais e internacionais, articulou-se com o Estado ao nível das três esferas e instituíram a política territorial inerente ao Programa Grande Carajás. Nessas circunstâncias, estabeleceu-se em São Luís a mineradora Companhia Vale do Rio Doce (atual Vale) e a Alumar (Consórcio de Alumínio do Maranhão) que justificaram a implantação do distrito industrial no município que, por sua vez, vincula-se ao Complexo Portuário de São Luís, composto pelo porto do Itaqui, pelo terminal privado da Alumar e pelo terminal privado de Ponta da Madeira (FERREIRA, 2000).

Na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, no corrente momento histórico, a atividade mineradora detém 72% das empresas de mineração, cujos empreendimentos encontram-se em expansão. As principais extrações são de areia e de laterita empregadas na construção civil para o mercado interno (CASTRO; PEREIRA, 2012; CASTRO; SANTOS, 2012). Conseqüentemente, ao substituir a vegetação de capoeira (florestas secundárias com estratos arbustivos e arbóreos) e de manguezais, acontece o aparecimento e/ou incremento de diversos processos, dentre eles, a dinâmica erosiva linear.

Trabalhos de campo e análises laboratoriais

Em trabalhos de campo caracterizaram-se dois perfis de solo (pontos A e B) que, por apresentar condições ambientais semelhantes no que se refere ao relevo de colinas esparsas, com declividades suaves de 0 a 5% e ocorrência de sedimentos da Formação Barreiras, considerou como critérios de escolha dos pontos a presença de processos de ravinamento (feições erosivas lineares previamente constatadas em imagens do Google Earth Pro[®]) e diferentes coberturas e usos da terra: vegetação secundária (ponto A) e área urbanizada (ponto B). Assim, realizaram-se descrições gerais, análises morfológicas e coleta de três amostras de solo em cada perfil dos pontos A e B, com base no manual técnico de Pedologia (IBGE, 2015a) e manual técnico de Pedologia: guia prático de campo (IBGE, 2015b).

As amostras de solos dos horizontes identificados passaram pela análise textural em laboratório, sendo o procedimento adaptado do manual de métodos de análise de solo da Embrapa (1997). A textura expressa a participação em g.kg^{-1} das partículas constituintes do solo (argila, silte e areia), separadas por tamanho. Os resultados obtidos foram agrupados em classes texturais mediante o triângulo textural e foram representados em gráficos, ambos baseados no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2015a).

Com a areia resultante da análise textural efetuou-se o seu fracionamento por intermédio do agitador de peneiras. Posteriormente, as areias presentes em cada peneira foram coletadas, pesadas e, considerando-se a massa total, têm-se as quantidades (g.kg^{-1}) de cada fração: muito grossa, grossa, média, fina e muito fina.

Mapeamentos

O esboço das principais classes de solos realizou-se no *software* ArcGIS 10.5[®] mediante a correlação do Macrozoneamento do Golfão Maranhense na escala 1:100.000 (MARANHÃO, 1998), do mapa geomorfológico da Ilha do Maranhão na escala 1:60.000 (SILVA, 2012), do levantamento de pontos de observação e de coleta de amostras de solos, envolvendo descrições gerais, análises morfológicas e texturais na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros (FERREIRA e FUSHIMI, 2019; FUSHIMI et al., 2020), tal como trabalhos de campo. Em virtude das alterações dos atributos pedológicos pelos usos da terra, adaptaram-se as classes de solos propostas por Trentin (2011) para a área estudada, conforme o Quadro 1:

Quadro 1: Adaptação das classes de solos para a área de estudo.

| Classes de solos propostas por Trentin (2011) | Classes de solos adaptadas para a área de estudo |
|--|---|
| Solos rasos a bem desenvolvidos em colinas arenosas | Solos desenvolvidos |
| Solos rasos a bem desenvolvidos em rochas areníticas | Solos rasos a desenvolvidos |
| Solos rasos de altitudes elevadas | Solos rasos a desenvolvidos |
| Solos hidromórficos | Solos hidromórficos |

Fonte: Trentin (2011). Organização: Autores (2020).

As associações dos solos basearam-se nas características e nas nomenclaturas do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018):

- (a) Solos desenvolvidos – associação Latossolos;
- (b) Solos rasos a desenvolvidos – associação Argissolos;
- (c) Solos rasos a desenvolvidos – associação Neossolos Quartzarênicos;
- (d) Solos hidromórficos – associação Gleissolos Háplicos;
- (e) Solos indiscriminados de mangue – associação Gleissolos Tiomórficos.

A nomenclatura de Solos indiscriminados de mangue utilizou como referência IBGE (2015a). Enfim, a legenda de cores do documento cartográfico baseou-se no IBGE (2015a).

O mapa da cobertura e do uso da terra espacializou-se no programa ArcGIS 10.5[®] com a imagem de satélite Sentinel-2, de domínio público, com resolução espacial de 10 m e datada de 22 de outubro de 2017. A escolha da cena e do ano considerou a baixa cobertura de nuvens (abaixo de 10%) e a representatividade de processos erosivos na imagem. Primeiramente, foi feita a classificação supervisionada e, a posteriori, a atualização das informações baseada no mapa de zoneamento municipal na escala 1:35.000 (SÃO LUÍS, 1992), nas imagens do Google Earth Pro[®] e nos trabalhos de campo.

As classes da cobertura e do uso da terra foram adaptadas do manual técnico de uso da terra (IBGE, 2013), níveis I e II (Quadro 2), bem como a convenção de cores.

As bases cartográficas acerca das vias de acesso, da Estrada de Ferro Carajás, da rodovia BR-135 e dos cursos d'água inseridas em todos os mapeamentos foram disponibilizadas pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) do ano de 1980 na escala 1:10.000 e representadas segundo IBGE (1998). No ArcGIS 10.5[®], os cálculos das porcentagens e das áreas mapeadas ocorreram por meio da ferramenta *Calculate Geometry* e o sombreado pela opção *Hillshade* a partir de imagens do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução espacial de 90 metros (MIRANDA, 2005).

Quadro 2: Adaptação das classes da cobertura e do uso da terra para a área de estudo.

| Classes da cobertura e do uso da terra (níveis I e II) propostas pelo IBGE (2013) | Classes da cobertura e do uso da terra adaptadas para a área de estudo | Amostras da imagem Sentinel-2 para classificação supervisionada |
|---|--|--|
| 1. Áreas antrópicas não agrícolas 1.1 Área urbanizada | Área urbanizada |  |
| 1. Áreas antrópicas não agrícolas 1.2 Área de mineração | Área industrial |  |
| 3. Áreas de vegetação natural 3.1 Florestal | Vegetação de manguezais |  |
| 3. Áreas de vegetação natural 3.2 Campestre | Vegetação secundária |  |
| 4. Água | Água |  |

Fonte: IBGE (2013). Organização: Autores (2019).

Resultados e Discussão

As principais classes de solos presentes na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros são solos desenvolvidos – associação Latossolos, solos rasos a desenvolvidos – associação Argissolos, solos rasos a desenvolvidos – associação Neossolos Quartzarênicos, solos hidromórficos – associação Gleissolos Háplicos e solos indiscriminados de mangue – associação Gleissolos Tiomórficos (Tabela 2 e Figura 2).

Tabela 2: Extensão dos solos na área de estudo.

| Classes de solos | Extensão | |
|---|-----------------|------------|
| | Km ² | % |
| Solos desenvolvidos – associação Latossolos | 9,11 | 14,03 |
| Solos rasos a desenvolvidos – associação Argissolos | 4,24 | 6,53 |
| Solos rasos a desenvolvidos – associação Neossolos Quartzarênicos | 36,14 | 55,67 |
| Solos hidromórficos – associação Gleissolos Háplicos | 4,88 | 7,52 |
| Solos indiscriminados de mangue – associação Gleissolos Tiomórficos | 8,74 | 13,46 |
| Água | 1,81 | 2,79 |
| Total | 64,92 | 100 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

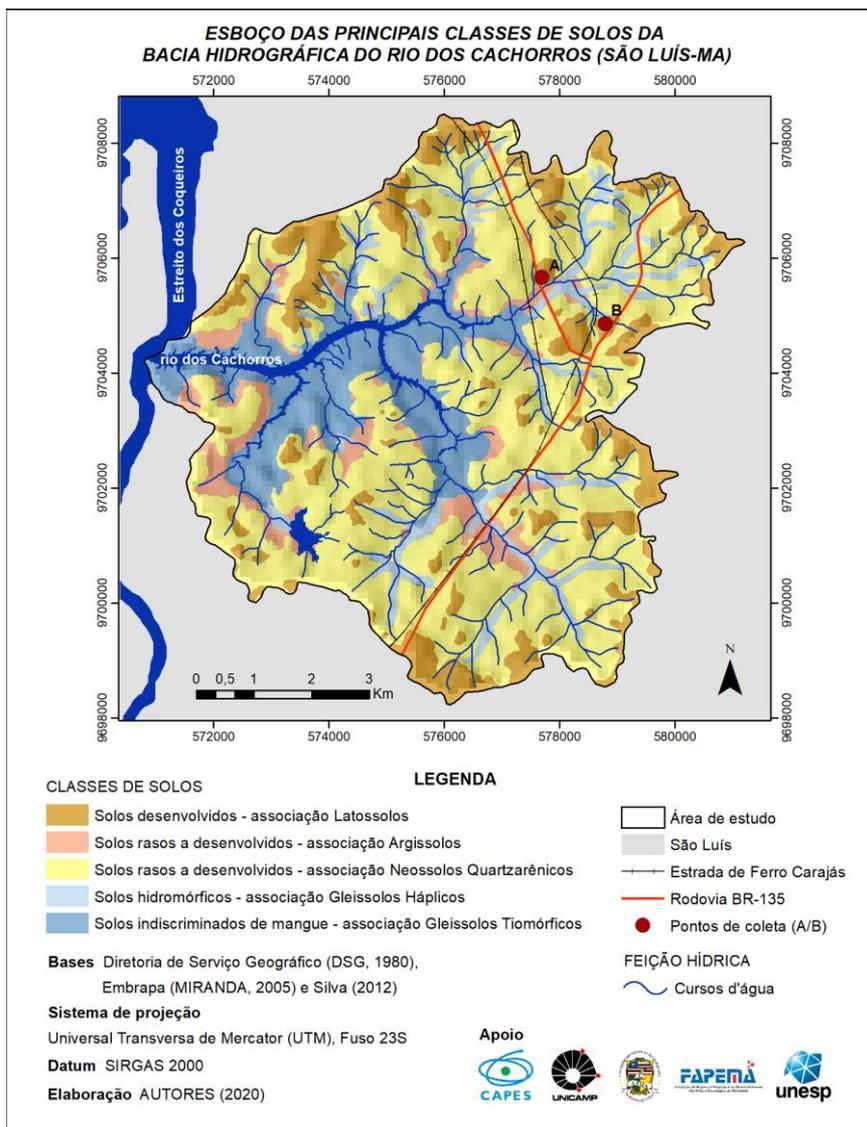


Figura 2: Esboço das principais classes de solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros-MA.
Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Na bacia de estudo prevalece cobertura vegetal secundária, com 46,89%, composta por vegetação de capoeira (MARANHÃO, 2010; CASTRO e PEREIRA, 2012). Especificamente têm-se palmeiras, como anajá (*Attalea maripa*), macaúba (*Acrocomia acuelata*) e tucum (*Astrocaryum vulgare*), babaçu (*Attalea speciosa*) nas

áreas secas e degradadas e juçara (*Euterpe oleracea*) e buriti (*Mauritia flexuosa*) nos setores úmidos (IBAMA e SEMATUR, 1991).

Em seguida ocorre área urbanizada (26,17%), inclusive nas proximidades dos cursos d'água e nas nascentes do rio dos Cachorros no povoado Rio Grande (SANTOS et al., 2020), área industrial (14,46%), apenas 9,44% correspondente à vegetação de manguezais, em que a espécie predominante é o mangue vermelho (*Rhizophora mangle*) (MARANHÃO, 2010; FUSHIMI e OLIVEIRA, 2020) e 3,04% de água (Tabela 3 e Figura 3).

Tabela 3: Extensão da cobertura e do uso da terra na área de estudo.

| Classes da cobertura e do uso da terra | Extensão | |
|--|-----------------|------------|
| | Km ² | % |
| Área urbanizada | 16,99 | 26,17 |
| Área industrial | 9,39 | 14,46 |
| Vegetação de manguezais | 6,13 | 9,44 |
| Vegetação secundária | 30,44 | 46,89 |
| Água | 1,97 | 3,04 |
| Total | 64,92 | 100 |

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Do ponto de vista da legislação municipal de São Luís, a Lei nº 3253/1992 dispõe sobre o zoneamento, o parcelamento, o uso e a ocupação do solo urbano, juntamente com o mapa de zoneamento municipal na escala 1:35.000 (SÃO LUÍS, 1992), onde a área de trabalho classifica-se em XXXIV - Zona Rural - ZRU (rio dos Cachorros), LI - Zona Industrial 2 – ZI 2, LII - Zona Industrial 2 – ZI 2 (Porto Grande), LIII - Zona Industrial 3 – ZI 3 (Alumar) e XVIII - Zona Residencial 10 – ZR 10. As áreas de mangue são categorizadas como Zona de Proteção Ambiental 2 – ZPA 2, ou seja, “[...] considerada de preservação ambiental todo o interior e uma faixa externa de 50,00 m (cinquenta metros), a partir de suas margens” (SÃO LUÍS, 1992, p. 31).

Com a finalidade de analisar e inter-relacionar as propriedades físicas do solo e a cobertura e o uso da terra para subsidiar a compreensão dos processos erosivos lineares, definiram-se dois pontos de coleta de amostras em perfil de solo, A e B.

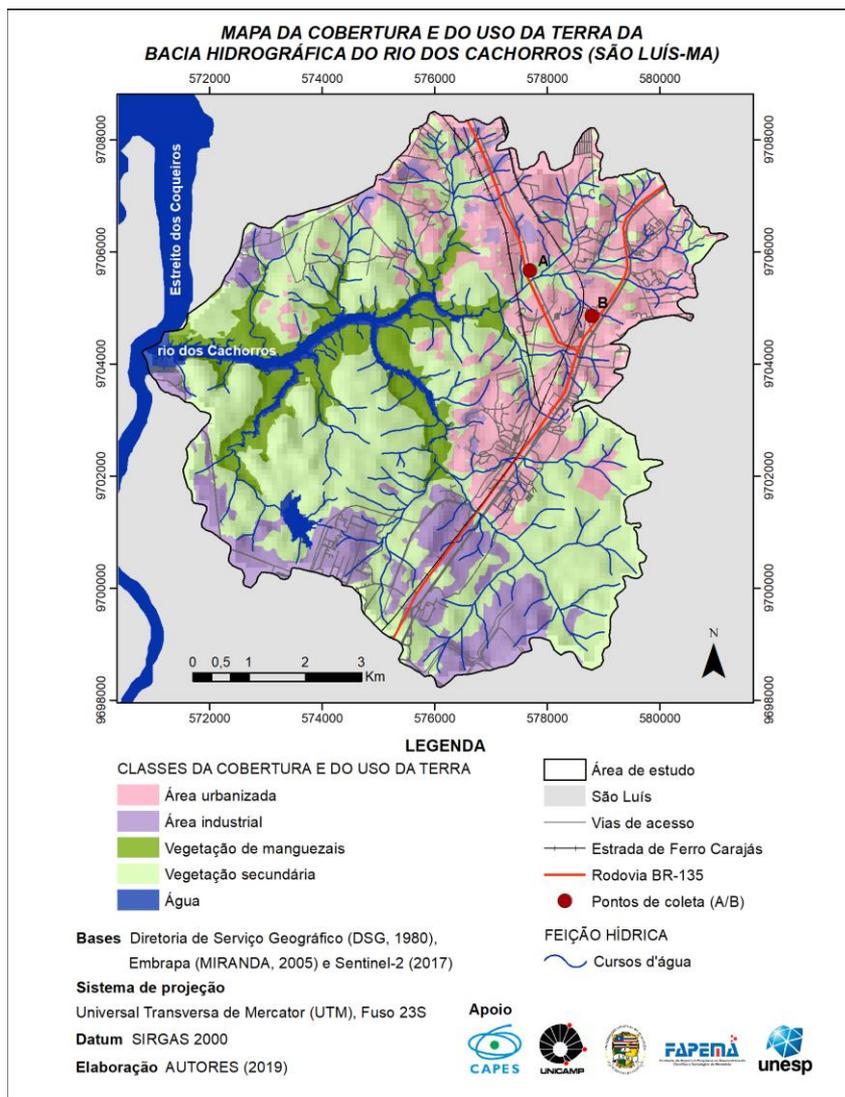


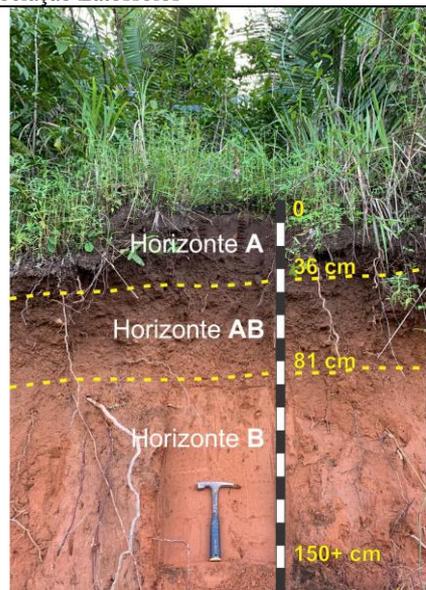
Figura 3: Mapa da cobertura e do uso da terra da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros-MA.
Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Em conformidade com a Figura 2, os solos do ponto A caracterizam-se como desenvolvidos – associação Latossolos (Quadro 3). São solos típicos de regiões equatoriais, de drenagem moderada, em avançado estágio de intemperização, profundos (mais de 150 cm de profundidade), seqüência de horizontes A, AB e B e o incremento de argila do A para o B é pouco expressivo, cujos atributos associam-se aos Latossolos descritos pela Embrapa (2018).

A cobertura vegetal, mesmo que secundária, relaciona-se com a presença de matéria orgânica no horizonte superficial A e, portanto, a formação da estrutura granular. Em consonância com Resende et al. (2007) e Brady e Weil (2013), a unidade estrutural descreve a maneira como as partículas estão agregadas e define a natureza do sistema de poros e dos canais no solo. Dessa forma, o formato granular é muito poroso em conjunto, facilitando a infiltração das águas.

Quadro 3: Descrição geral e análise morfológica do ponto A.

| Solos desenvolvidos – associação Latossolos | | | |
|---|---|---|--|
| DESCRIÇÃO GERAL | | | |
| Data | 28 de maio de 2019 | | |
| Localização | São Luís-MA | | |
| Coordenadas (UTM) e altitude (m) | 577696 m E; 9705665 m S e 17 m | | |
| Situação (tipo de paisagem) | Colinas esparsas | | |
| Relevo local e declividade | Suave ondulado e 0 a 5% | | |
| Cobertura vegetal sobre o perfil e uso atual | Vegetação secundária | | |
| Litologia e unidade litoestratigráfica | Sedimentos e Formação Barreiras | | |
| Cronologia | Terciário | | |
| Erosão (classe e forma) | Forte e ravinas | | |
| Drenagem | Moderadamente drenado | | |
| Descrito e coletado por | Autores | | |
| ANÁLISE MORFOLÓGICA | | | |
| Horizonte | A | AB | B |
| Profundidade (cm) | 0 – 36 | 37 – 81 | 82 – 150+ |
| Características morfológicas | Cor: bruno-escuro (10YR 3/3, seca); Estrutura: moderada média granular; Consistência: solta (seca), solta (úmida), não plástica (molhada); Poros: médios, abundantes. | Cor: bruno-forte (7,5YR 4/6, seca); Estrutura: fraca média blocos subangulares; Consistência: solta (seca), solta (úmida), não plástica (molhada); Poros: médios, abundantes. | Cor: vermelho-amarelado (5YR 5/6, seca); Estrutura: fraca média blocos subangulares; Consistência: solta (seca), solta (úmida), não plástica (molhada); Poros: médios, abundantes. |



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

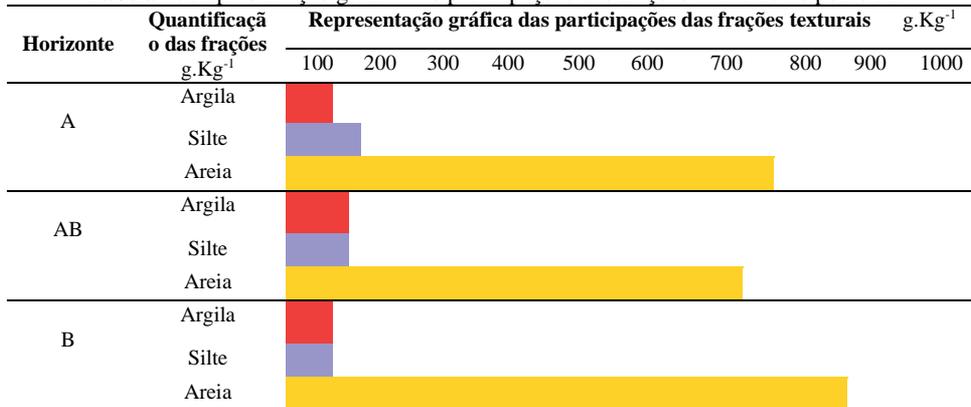
No entanto, nos horizontes A, AB e B a fração areia se sobressai, com 796,94 g.Kg⁻¹, 783,58 g.Kg⁻¹ e 827,28 g.Kg⁻¹ e classes texturais “Areia franca”, “Francoarenosa” e “Areia franca”, nessa ordem. Observa-se que as maiores quantidades de areia estão nos intervalos de areia média e areia muito fina (Tabelas 4 e 5). Nesse aspecto, as partículas de areia, pelo seu tamanho relativamente grande em comparação à argila e ao silte, possuem baixa capacidade específica, pouca capacidade de reter água ou nutrientes e não aderem umas às outras em uma massa coerente. Como consequência, os solos são soltos, pouco férteis e vulneráveis à ruptura dos agregados, a qual representa o início da dinâmica erosiva linear. O predomínio de areia muito fina intensifica o processo, pois, por ser facilmente transportada pelo vento (erosão eólica) ou pela água (erosão hídrica), a dispersão destes sedimentos tende a ser maior (MORGAN, 2005; BRADY e WEIL, 2013).

Tabela 4: Resultados da textura e do fracionamento da areia do ponto A.

| Horizonte | Argila | Silte | Areia | Areia muito grossa | Areia grossa | Areia média | Areia fina | Areia muito fina | Classe textural |
|-----------|--------|--------|--------|--------------------|--------------|-------------|------------|------------------|-----------------|
| | | | | g.Kg ⁻¹ | | | | | |
| A | 87,99 | 115,07 | 796,94 | 1,51 | 55,62 | 356,18 | 170,08 | 415,94 | Areia franca |
| AB | 105,99 | 110,43 | 783,58 | 0,25 | 56,68 | 330 | 164,75 | 448,33 | Francoarenosa |
| B | 87,33 | 85,39 | 827,28 | 0,48 | 59,59 | 318,25 | 179,54 | 442,14 | Areia franca |

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Tabela 5: Representação gráfica das participações das frações texturais do ponto A.



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Ademais, nas proximidades do ponto A a vegetação foi retirada para extração de areia a ser empregada na construção civil, conforme aponta pesquisas de Castro e Pereira (2012) e Castro e Santos (2012) e para a abertura de vias de acesso das áreas urbanizadas à rodovia BR-135, contribuindo para o escoamento linear concentrado e a formação de sulcos e ravinas (Figura 4).

Em meio às definições que distinguem as feições erosivas lineares, optou-se pela classificação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) ao utilizar a nomenclatura de ravinas enquanto canais criados pela ação do escoamento superficial e as voçorocas são canais esculpidos pelo afloramento do lençol ou aquífero freático (OLIVEIRA, 2014). Quanto aos sulcos, são pequenas incisões verticais no solo e passíveis de correção no trato simples da terra (ZANATTA et al., 2017).



Figura 4: Ravinas nas proximidades do ponto A. Fotografia de veículo aéreo não tripulado (VANT).
Fonte: Fotografia dos autores (2019).

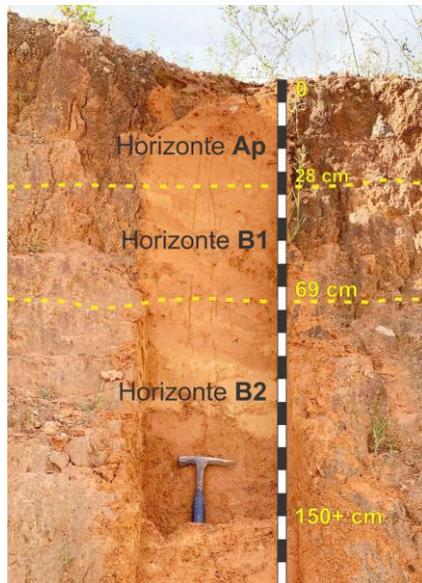
De acordo com a Figura 2, no ponto B os solos são desenvolvidos e associam-se aos Latossolos (Quadro 4). O perfil pedológico intemperizado e moderadamente drenado detém profundidade superior a 150 cm, com um horizonte alterado Ap e dois horizontes B (B1 e B2), subdivididos por diferenças texturais e transição difusa. O aumento de argila do horizonte Ap para os horizontes B1 e B2 é inexistente e permanece constante ao longo do perfil. Estas propriedades estão associadas aos Latossolos discorridos pela Embrapa (2018).

A vegetação foi removida e, assim, reduz-se a matéria orgânica do horizonte superficial A e a unidade estrutural torna-se de granular para blocos subangulares, uma vez que a primeira está sujeita a alterações rápidas e amplas (BRADY e WEIL, 2013). O uso da terra por áreas urbanizadas e, principalmente atividade de extração mineral que faz uso de maquinário e revolve o solo, afeta a estrutura e reduz os poros pela compactação (SILVA e CASTRO, 2014), fato evidenciado pela consistência dura quando seca e firme sob condição úmida no horizonte Ap.

Por consequência, têm-se a diminuição da infiltração e o incremento do escoamento superficial e da erosão hídrica no período chuvoso e na estação seca predomina o desprendimento dos sedimentos em razão da ausência de cobertura vegetal. Tais fatos corroboram com os achados de Sathler et al. (2009) e Bezerra (2011).

Quadro 4: Descrição geral e análise morfológica do ponto B.

| Solos desenvolvidos – associação Latossolos | | | |
|---|--|---|---|
| DESCRIÇÃO GERAL | | | |
| Data | 28 de maio de 2019 | | |
| Localização | São Luís-MA | | |
| Coordenadas (UTM) e altitude (m) | 578798 m E; 9704857 m S e 43 m | | |
| Situação (tipo de paisagem) | Colinas esparsas | | |
| Relevo local e declividade | Suave ondulado e 0 a 5% | | |
| Cobertura vegetal sobre o perfil e uso atual | Área urbanizada | | |
| Litologia e unidade litoestratigráfica | Sedimentos e Formação Barreiras | | |
| Cronologia | Terciário | | |
| Erosão (classe e forma) | Forte e ravinas | | |
| Drenagem | Moderadamente drenado | | |
| Descrito e coletado por | Autores | | |
| ANÁLISE MORFOLÓGICA | | | |
| Horizonte | Ap | B1 | B2 |
| Profundidade (cm) | 0 – 28 | 29 – 69 | 70 – 150+ |
| Características morfológicas | Cor: vermelho (10R 5/8, seca); Estrutura: fraca média blocos subangulares; Consistência: dura (seca), firme (úmida), não plástica (molhada); Poros: médios, poucos. | Cor: vermelho-claro (10R 6/8, seca); Estrutura: fraca média blocos subangulares; Consistência: solta (seca), solta (úmida), não plástica (molhada); Poros: médios, comuns. | Cor: vermelho-claro (10R 6/8, seca); Estrutura: fraca média blocos subangulares; Consistência: solta (seca), solta (úmida), não plástica (molhada); Poros: médios, comuns. |



Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

O perfil de solo B caracteriza-se por ser muito arenoso, pois em todos os horizontes identificados a areia prevalece, apresentando $817,62 \text{ g.Kg}^{-1}$ no horizonte Ap, $810,84 \text{ g.Kg}^{-1}$ no horizonte B1 e $791,28 \text{ g.Kg}^{-1}$ no horizonte B2 e classes texturais “Areia franca”, “Areia franca” e “Francoarenosa”, respectivamente (Tabelas 6 e 7). Em relação ao tamanho das partículas de areia, a areia média ocorre em maior quantidade, seguida de areia muito fina e areia fina. A areia média, em função do seu maior peso em

comparação à areia fina e muito fina, é menos vulnerável à remoção e ao transporte destes sedimentos, isto é, à erosão.

Em contrapartida, as análises morfológica e textural permitem apontar que, devido à consistência não plástica quando molhada, em eventos de elevada pluviosidade e sem cobertura vegetal de porte, a coesão é baixa em decorrência da pouca presença de argila, indicando valores de 103,33 g.Kg⁻¹ no horizonte Ap, 101,34 g.Kg⁻¹ no horizonte B1 e 99 g.Kg⁻¹ no horizonte B2 e ocasionando a formação de feições erosivas lineares nas áreas adjacentes.

Tabela 6: Resultados da textura e do fracionamento da areia do ponto B.

| Horizonte | Argila | Silte | Areia | Areia muito grossa | Areia grossa | Areia média | Areia fina | Areia muito fina | Classe textural |
|-----------|--------------------|--------|--------|--------------------|--------------|-------------|------------|------------------|-----------------|
| | g.Kg ⁻¹ | | | | | | | | |
| A | 103,33 | 79,05 | 817,62 | 0,16 | 32,57 | 383,14 | 225 | 359,12 | Areia franca |
| B1 | 101,34 | 87,82 | 810,84 | 0,29 | 33,27 | 441,70 | 206,81 | 317,92 | Areia franca |
| B2 | 99 | 109,72 | 791,28 | 0,14 | 30,47 | 394,84 | 224,04 | 350,51 | Francoarenosa |

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

Tabela 7: Representação gráfica das participações das frações texturais do ponto B.

| Horizonte | Quantificação das frações g.Kg ⁻¹ | Representação gráfica das participações das frações texturais g.Kg ⁻¹ | | | | | | | | | |
|-----------|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| A | Argila | | | | | | | | | | |
| | Silte | | | | | | | | | | |
| | Areia | | | | | | | | | | |
| B1 | Argila | | | | | | | | | | |
| | Silte | | | | | | | | | | |
| | Areia | | | | | | | | | | |
| B2 | Argila | | | | | | | | | | |
| | Silte | | | | | | | | | | |
| | Areia | | | | | | | | | | |

Fonte: Elaborado pelos autores (2019).

A extração mineral próxima ao ponto B é um aspecto que desencadeia e/ou intensifica de modo significativo a erosão acelerada sob as formas de sulcos e ravinas (Figura 5), ao eliminar a vegetação secundária por meio de queimadas, em que, segundo Redin et al. (2011), alteram-se algumas propriedades físicas (como volume de macroporos, tamanho dos agregados, taxa de infiltração, umidade, dificuldade de penetração das raízes no solo e densidade) e químicas (incremento dos teores de N, P, K, Ca e Mg) do solo, expondo-o aos agentes erosivos, além da retirada de material mediante a utilização de retroscavadeiras (Figura 5).

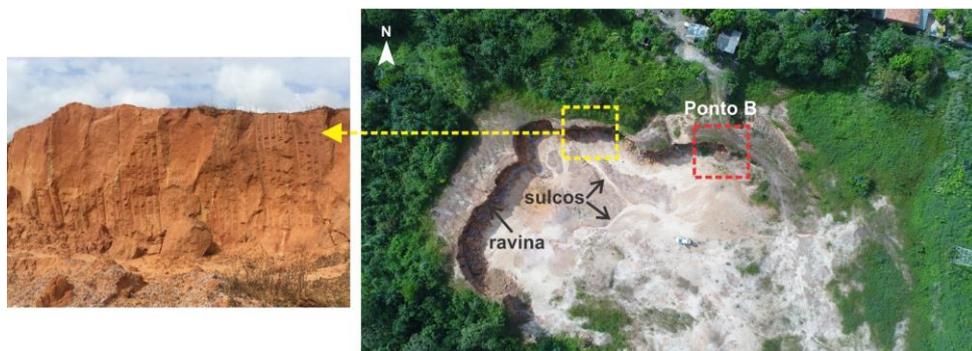


Figura 5: Sulcos e ravina próximos ao ponto B. Fotografia de veículo aéreo não tripulado (VANT).
Fonte: Fotografia dos autores (2019).

Em síntese, na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, as propriedades físicas do solo, em especial estrutura, consistência e porosidade, relacionadas às elevadas quantidades de areia identificadas nos perfis pedológicos A e B, predisõem uma fragilidade natural aos processos erosivos lineares. Associa-se a este fato os usos da terra por práticas sociais, com ênfase à atividade de extração mineral (areia) ao modificar a estrutura do solo principalmente nos horizontes superficiais, assim como acelerar o desenvolvimento de sulcos e ravinas.

Considerações Finais

Diante das considerações realizadas constatou-se que a fração areia predomina nos solos analisados, caracterizando-os como arenosos. Os atributos físicos como estrutura, consistência e porosidade são influenciados de maneira direta pelos usos da terra, cujas inter-relações aceleram a dinâmica erosiva linear sob a forma de sulcos e ravinas, com possibilidade de evolução para voçorocas.

O presente estudo sugere a necessidade de um manejo ambiental adequado, sobretudo nas áreas de extração mineral, com a implantação de técnicas de bioengenharia que utilizam materiais vivos ou inertes de natureza vegetal para conter os processos erosivos existentes e evitar que outras erosões se instalem, considerando que os solos da área de estudo são naturalmente frágeis à ocorrência deste fenômeno. No mais, é relevante uma mudança neste uso da terra, visto que os interesses econômicos se sobressaem às questões ambientais, gerando degradação.

Nos setores com cobertura vegetal recomenda-se a efetivação das políticas de planejamento ambiental e territorial pelos órgãos governamentais responsáveis e, em conjunto com as comunidades locais, implementem políticas públicas de fiscalização para evitar o desmatamento e consequentes impactos, os quais encontram-se cada vez mais expressivos na Amazônia e na Amazônia Maranhense.

Referências

- ARAÚJO, R. R. *Clima e vulnerabilidade socioespacial: uma avaliação dos fatores de risco na população urbana do município de São Luís (MA)*. 2014. 289 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2014.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 10. ed. São Paulo: Ícone, 2017.
- BEZERRA, J. F. R. *Geomorfologia e Reabilitação de Áreas Degradadas por Erosão com Técnicas de Bioengenharia de Solos na Bacia do Rio Bacanga, São Luís – MA*. 2011. 249 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 686 p.
- CASTREE, N.; DEMERITT, D.; LIVERMAN, D.; RHOADS, B. (Org.). *A Companion to Environmental Geography*. Malden, MA: Wiley-Blackwell, 2009.
- CASTRO, H. F. R.; PEREIRA, E. D. Cartografia geológico-geotécnica da Bacia Hidrográfica do Rio dos Cachorros. *Revista Geonorte*, v. 3, n. 4, p. 750-759, 2012.
- CASTRO, T. C. S. de; SANTOS, F. R. B. dos. Diagnóstico ambiental da atividade de extração mineral classe 2 na bacia hidrográfica do rio dos cachorros, São Luís – MA, Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, Pombal, v. 6, n. 1, p. 67-76, jan./dez. 2012.
- CATUNDA, P. H. de A.; DIAS, L. J. B. da S. (Org.). *Sumário Executivo do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão – ZEE. Etapa bioma amazônico*. São Luís: IMESC, 2019. 493 p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos (CNPS). *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. (EMBRAPA – CNPS. Documentos; 1).
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI, 2006. 306 p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- FERREIRA, A. J. de A. Uma interpretação geográfica para São Luís. *GEOUSP – Espaço e Tempo*, São Paulo, n. 7, p. 51-58, 2000.
- FERREIRA, B. S.; FUSHIMI, M. Caracterização dos solos da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Ilha do Maranhão. In: XXXI Seminário de Iniciação Científica da UEMA, 2019, São Luís. *Anais [...]*. São Luís: EDUEMA, 2019. p. 752-754.
- FUSHIMI, M.; OLIVEIRA, R. C. Dinâmicas ambientais na planície de maré da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, Ilha do Maranhão (MA). *Ciência Geográfica*, v. XXIV, n. 3, p. 1095-1104, jan./dez. 2020.

FUSHIMI, M.; OLIVEIRA, R. C.; LISBOA, G. S.; FERREIRA, B. S.; SILVA, P. Z. F.; NUNES, J. O. R. Caracterização físico-química de solo raso a desenvolvido (associação Neossolo Quartzarênico) e solo hidromórfico (associação Gleissolo Háplico): o contexto ambiental da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, São Luís-MA. *Brazilian Geographical Journal*, v. 11, n. 1, p. 4-18, 2020.

GOUDIE, A. *The changing Earth-Rates of Geomorphological Processes*. Oxford: Blackwell Publishers, 1995.

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. do C. O.; BEZERRA, J. F. R.; SHOKR, M. S. Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review. *Pedosphere*, v. 27, n.1, p. 27-41, fev. 2017.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). *Reflexões sobre a geografia física no Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. p. 225-256.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Noções básicas de cartografia*. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências, 1998.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Manual Técnico de Uso da Terra*. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Manual Técnico de Pedologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015a. 430 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Manual Técnico de Pedologia: guia prático de campo*. Rio de Janeiro: IBGE, 2015b. 134 p.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA); Secretaria de Meio Ambiente e Turismo (SEMATUR). *Diagnóstico dos principais problemas ambientais do Estado do Maranhão*. São Luís: Lithograf, 1991. 194 p.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). *Normais climatológicas do Brasil*. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: 16 out. 2019.

LAL, R. Water management in various crop production systems related to soil tillage. *Soil and Tillage Research*, v. 30, n. 2-4, p. 169-185, jun. 1994.

MARANHÃO. *Macrozoneamento do Golfão Maranhense; Diagnóstico Ambiental da Microrregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário*. São Luís: SEMA. MMA. PNMA, 1998.

MARANHÃO. *Diagnóstico ambiental da Ilha do Maranhão – com a implementação do Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro do Estado do Maranhão – GERCO Ilha do Maranhão – etapa 1*. São Luís, 2010.

MIRANDA, E. E. de (Coord.). *Brasil em Relevo*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 7 out. 2019.

MORAIS, M. S. de. *Impactos socioambientais causados por processos erosivos em unidades de conservação: o caso do Parque Estadual do Bacanga, São Luís – MA*. 2018. 154 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2018.

MORGAN, R. P. C. *Soil erosion & conservation*. 3. ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.

NANDI, A.; LUFFMAN, I. Erosion Related Changes to Physicochemical Properties of Ultisols Distributed on Calcareous Sedimentary Rocks. *Journal of Sustainable Development*, v. 5, n. 8, p. 52-68, 2012.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. p. 57-99.

PEREIRA, E. D. *Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do Reservatório Batatã – São Luís - MA*. 2006. 133 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

PIMENTEL, D. Soil Erosion and the Threat to Food Security and the Environment. *Ecosystem Health*, v. 6, n. 4, p. 221-226, dez. 2000.

RANGEL, L. de A.; GUERRA, A. J. T. Qualidade física de um Cambissolo Háplico sob diferentes usos na bacia do Córrego dos Micos, Paraty (RJ). *Bol. Goia. Geogr. (Online)*, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 91-105, jan./abr. 2017.

REDIN, M.; SANTOS, G. F.; MIGUEL, P.; DENEGA, G. L.; LUPATINI, M.; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 381-392, abr./jun. 2011.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 5. ed. rev. Lavras: Ed. UFLA, 2007. 322 p.

RODRIGUES, T. L. N.; ARAÚJO, C. C. de; CAMOZZATO, E.; RAMGRAB, G. E. (Org.). *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil*. São Luís. Folha SA.23-Z-A, Cururupu. Folha SA.23-X-C, Estado do Maranhão. Brasília: CPRM, 1994.

SANTOS, L. F. dos; FUSHIMI, M.; SILVA, P. Z. F. Impactos ambientais nas nascentes da bacia hidrográfica do rio dos Cachorros, bairro Rio Grande, Ilha do Maranhão. In: PORTUGUEZ, A. P.; COSTA, C. L.; PEDRO MIYAZAKI, L. C. *Espaço geográfico e dinâmicas ambientais: usos e apropriação dos recursos naturais no Centro-Norte do Brasil*. Ituiutaba: Barlavento, 2020. p. 148-167.

SÃO LUÍS (MA). Lei nº 3.253, de 29 de dezembro de 1992. *Dispõe sobre o zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo urbano e dá outras providências*, São Luís, Sistema de Leis Municipais, 2019. Disponível em: www.saoluis.ma.gov.br. Acesso em: 25 set. 2019.

SATHLER, R.; POLIVANOV, H.; GUERRA, A. J. T.; BARROSO, E. V. Caracterização de Voçorocas na Ilha do Maranhão. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, v. 32, n. 1, p. 34-45, 2009.

SILVA, A. A.; CASTRO, S. S de. Indicadores macro e micromorfológicos da qualidade física de um Latossolo Vermelho textura média cultivado com cana-de-açúcar na microrregião de Quirinópolis, Goiás. *Bol. Goia. Geogr. (Online)*, Goiânia, v. 34, n. 2, p. 233-251, mai./ago. 2014.

SILVA, Q. D. da. *Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão*. 2012. 249 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.

SOUZA, M. L. de. Quando o trunfo se revela um fardo: reexaminando os percalços de um campo disciplinar que se pretendeu uma ponte entre o conhecimento da natureza e o da sociedade. *GEOUSP (Online)*, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 274-308, mai./ago. 2018.

SUERTEGARAY, D. M. A. *Geografia física e geomorfologia: uma releitura*. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2018. 126 p.

SUERTEGARAY, D. M. A.; NUNES, J. O. R. A natureza da Geografia Física na Geografia. *Terra Livre*, São Paulo, n. 17, p. 11-27, 2º semestre 2001.

TRENTIN, R. *Mapeamento geomorfológico e caracterização geoambiental da bacia hidrográfica do Rio Itu - oeste do Rio Grande do Sul - Brasil*. 2011. 220 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

Universidade Federal do Maranhão (UFMA). *Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental da Refinaria Premium I*. v. 2. São Luís: UFMA, 2009.

WEILL, M. A. M.; PIRES NETO, A. G. Erosão e Assoreamento. In: SANTOS, R. F. (Org.). *Vulnerabilidade Ambiental*. Brasília: MMA, 2007. p. 39-58.

XIA, J.; CAI, C.; WEI, Y.; WU, X. Granite residual soil properties in collapsing gullies of south China: spatial variations and effects on collapsing gully erosion. *Catena*, v. 174, p. 469-477, mar. 2019.

ZANATTA, F. A. S.; LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N. Morfometria do relevo e dinâmica erosiva linear em área rural degradada no Oeste Paulista. *Ra'e Ga-O Espaço Geográfico em Análise*, v. 41, p. 82-97, ago. 2017.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Processo 88887.200484/2018-00, e à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA), Processo Universal-00846/2018.

Melina Fushimi

Pós-doutorado em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas. Doutora em Geografia pela Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Presidente Prudente. Professora da Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Rio Claro e do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão, Câmpus de São Luís.

Avenida 24 A, 1515, Cep: 13506-900, Rio Claro-SP, Brasil.

E-mail: melina.fushimi@unesp.br

Orcid: 0000-0002-3682-4701

Regina Célia de Oliveira

Livre Docente em Geografia pela Universidade Estadual de Campinas. Doutora em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Rio Claro. Professora do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Campinas.

Cidade Universitária Zeferino Vaz, Cep: 13083-970, Campinas-SP, Brasil.

E-mail: regina5@unicamp.br

Orcid: 0000-0002-3506-5723

João Osvaldo Rodrigues Nunes

Livre Docente em Geografia pela Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Presidente Prudente. Doutor em Geografia pela Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Presidente Prudente. Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Presidente Prudente.

Rua Roberto Simonsen, 305, Cep: 19060-900, Presidente Prudente-SP, Brasil.

E-mail: joao.o.nunes@unesp.br

Orcid: 0000-0003-3924-4056

Recebido para publicação em agosto de 2022.

Aprovado para publicação em maio de 2023.