



## Características geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, Mato Grosso do Sul: bases de conhecimento para fins de planejamento territorial

### *Geo-environmental characteristics of the Pardo River Watershed, Mato Grosso do Sul: knowledge bases for territorial planning purposes*

Viviane CAPOANE<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Campo Grande, MS, Brasil.

\* E-mail de contato: capoane@gmail.com

Artigo recebido em 16 de agosto de 2022, versão final aceita em 28 de maio de 2023, publicado em 21 de dezembro de 2023.

**RESUMO:** Este trabalho apresenta os resultados da caracterização geoambiental da bacia hidrográfica do rio Pardo, localizada no estado de Mato Grosso do Sul (Brasil). O objetivo principal foi avaliar as condições ambientais a fim de gerar dados que subsidiem o planejamento e ordenamento territorial. A escolha da área foi motivada pela aprovação de sete eixos para implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). Os dados geoespaciais utilizados foram obtidos nos repositórios da USGS, CPRM, IBGE e MapBiomas. Os parâmetros analisados foram: litologia, clima, solos, geomorfologia, geomorfometria (rede de drenagem, geometria e características do relevo) e uso e cobertura da terra. O *software* utilizado foi o ArcMap 10.8.2. Os resultados obtidos mostram um ambiente ecologicamente frágil, altamente suscetível à erosão do solo e ao processo de arenização. As atividades agrícolas desenvolvidas na área, em sua maioria, não consideram as aptidões e restrições agrícolas, e são praticadas de forma predatória. As mudanças no uso e cobertura da terra têm impactado os ecossistemas terrestres (erosão, arenização, sedimentação) e aquáticos (degradação da qualidade e quantidade de água). O avanço dos monocultivos de soja e eucalipto e a construção de PCHs irão pressionar ainda mais os recursos naturais da bacia hidrográfica e gerar conflitos socioambientais.

*Palavras-chave:* agricultura predatória; impactos humanos; erosão do solo; arenização; mudanças no uso.

**ABSTRACT:** This study presents the results of the geo-environmental characterization of the Pardo River watershed, in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. The main objective was to evaluate the environmental conditions to generate data that can support territorial planning and ordering. The area was chosen due to the approval

---

of the seven axes for the implementation of Small Hydroelectric Power Plants (SHPPs). The geospatial data used were obtained from the USGS, CPRM, IBGE and MapBiomass repositories. Lithology, climate, soils, geomorphology, geomorphometry (drainage network, watershed geometry, relief characteristics) and land use and cover were analyzed. ArcMap 10.8.2 was used. The results show an ecologically fragile environment that is highly susceptible to soil erosion and sandification. Agricultural activities carried out in the area, for the most part, do not consider agricultural suitability and restrictions, and are practiced in a predatory manner. Changes in land use and cover have impacted terrestrial (erosion, sandification, sedimentation) and aquatic ecosystems (degradation of water quality and quantity). The expansion of soy and eucalyptus cultures and the construction of SHPPs will put even more pressure on the watershed natural resources and generate socio-environmental conflicts.

*Keywords:* predatory agriculture; human impact; soil erosion; soil sanding; land-use change.

## 1. Introdução

A erosão do solo é considerada um dos mais sérios problemas ambientais associados ao uso da terra (Morgan, 2005), devido à extensiva eliminação da cobertura vegetal primária e adoção de sistemas produtivos que utilizam práticas de manejo incompatíveis com a fragilidade do ambiente. Estas mudanças afetam diretamente a ciclagem de nutrientes e carbono e a produtividade do solo, gerando um impacto significativo no meio ambiente e na economia global (Borrelli *et al.*, 2017).

De acordo com Strahler (1956), a erosão é caracterizada pelo transporte de partículas de matéria ou sedimento de sua localização inicial por um agente fluido. Na natureza, os principais meios fluídos que atuam sobre a crosta terrestre são a água, o ar e o gelo (Zăvoianu, 1985). Os fatores que influenciam no surgimento, desenvolvimento e no resultado do processo erosivo incluem as condições climáticas, hidrológicas, topográficas, geológicas, pedológicas, cobertura vegetal, bem como as condições econômicas, técnicas e socioeconômicas (Williams, 2003). Embora os fatores de erosão se combinem e interajam, um fator ou grupo de fatores, pode prevalecer e se tornar de importância funda-

mental. Para Poesen (2018), a erosão acelerada é impulsionada principalmente por modificações na cobertura da terra, no uso e no manejo do solo. O problema é agravado em áreas com solos arenosos, que além de serem pobres quimicamente, apresentam baixa capacidade de armazenamento de água e elevada suscetibilidade à erosão.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo (BHRP), localizada na região leste do estado de Mato Grosso do Sul, solos de textura arenosa originados dos arenitos do Grupo Caiuá (indiviso), correspondem a 37,6% da área da bacia hidrográfica. Esses solos são submetidos a uma intensa exploração agrícola, principalmente com pecuária extensiva, o que pode levá-los rapidamente à degradação, como demonstrou o trabalho de Sousa (2021) na bacia hidrográfica do Ribeirão das Botas, sub bacia do rio Pardo. Pastagens degradadas e focos em processos de arenização também foram relatados por Capone (2021; 2022) na bacia hidrográfica do córrego Guariroba, sub bacia do Ribeirão da Botas.

Em 2019, foi realizado um Inventário Participativo de Potencial Hidrelétrico na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo em colaboração entre o Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL) e a Agência Nacional de Energia Elétri-

ca (ANEEL), resultando na aprovação de sete eixos para a implantação de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) (IMASUL, 2019; ANEEL, 2019; 2021). Vale destacar que nesta bacia já existe uma Usina Hidrelétrica (UHE) em operação, a UHE Mimoso, e duas Centrais Geradoras de Eletricidade, a Santa Izabel e a Energia Maia Ltda. Além do potencial energético, a BHRP desempenha um papel crucial na produção de água bruta, fornecendo 50% da água que abastece a cidade de Campo Grande, capital do estado de Mato Grosso do Sul. Além disso, os municípios de Ribas do Rio Pardo, Bataguassu e Jaraguari também dependem de mananciais superficiais para atender às suas necessidades de abastecimento público de água. Essa interligação entre a produção agrícola, de energia e o fornecimento de água ressalta ainda mais a relevância da BHRP na região.

Dada a importância da bacia hidrográfica do Rio Pardo na produção de água, energia e alimentos, e reconhecendo que o conhecimento das condições ambientais é fundamental para entender sua dinâmica e para um manejo adequado dos recursos naturais, este trabalho tem como objetivo gerar dados sobre os aspectos geoambientais da área. Essas informações têm o potencial de auxiliar planejadores e gestores na tomada de decisões informadas, uma vez que, como demonstrado por Nkonya *et al.* (2015), o custo da ação contra a degradação da terra é consideravelmente menor do que o custo da inação, e os retornos da ação são altamente favoráveis.

## 2. Metodologia

### 2.1. Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo localiza-se na metade leste do estado de Mato Grosso do Sul (Figura 1), inserida em 14 municípios, sendo os três com maior proporção em área Ribas do Rio Pardo (37,0%), Campo Grande (22,3%) e Santa Rita do Pardo (12,9%). Os demais municípios, em ordem decrescente de representação de área, são: Jaraguari (6,1%), Bandeirantes (5,8%), Nova Alvorada do Sul (5,0%), Bataguassu (3,9%), Nova Andradina (3,3%), Sidrolândia (2,8%), Camapuã (0,6%), Anaurilândia (0,2%), Terenos (0,06%), Brasilândia (0,03%) e Rochedo (0,00003%).

No contexto de microrregiões geográficas, a área de estudo está inserida na de Três Lagoas (49,91%), Campo Grande (37,04%), Nova Andradina (7,43%), Dourados (5,04%) e Alto Taquari (0,58%). Na microrregião de Três Lagoas destaca-se a expansão da atividade florestal, onde a área ocupada com florestas plantadas (eucalipto e seringueira) é a maior do estado de Mato Grosso do Sul. O plantio de eucalipto tende a aumentar com a instalação de uma das maiores plantas de celulose do mundo no município de Ribas do Rio Pardo. Esta microrregião é a quarta mais populosa concentrando 6,4% da população, sendo o município de Três Lagoas o terceiro entre os municípios mais populosos do estado de MS (IBGE, 2015). Conforme Tisott *et al.* (2017), a inserção da atividade florestal influenciou na migração da mão de obra da pecuária, que é a atividade agrícola predominante (MapBiomass, 2022). A microrregião de Campo Grande é considerada o grande polo econômico do

estado e, conforme dados da Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia, os setores mais influentes são o industrial e o de comércio e serviços.

A estrutura fundiária de Mato Grosso do Sul é caracterizada como concentradora, resultado do processo histórico de apropriação capitalista da terra

por meio da aliança entre latifundiários e Estado (Nardoque, 2016). Esta aliança permitiu que grandes proprietários acumulassem grandes extensões de terra, enquanto a maioria da população rural é composta por pequenos agricultores, posseiros e trabalhadores rurais sem terra. Essa concentração



FIGURA 1 – Brasil com destaque para o estado de Mato Grosso do Sul e bacia hidrográfica do rio Pardo, e municípios onde a da área de estudo está inserida.

FONTES: USGS (2020) e IBGE (2021).

fundiária tem consequências significativas para a economia, a sociedade e o meio ambiente do estado.

As pequenas propriedades rurais estão presentes, majoritariamente, em Projetos de Assentamentos de Reforma Agrária e, segundo dados do Portal de informações e Geoposicionamento de MS (2023), existem atualmente 20 assentamentos federais e dois estaduais na BHRP, perfazendo 2,4% do território. Há ainda 11 Projetos de Assentamento criados a partir do financiamento do Programa Banco da Terra em uma área de 3.585,05 hectares, o que corresponde a 0,11% da BHRP. Esses projetos de assentamento são de grande importância para a região, pois a agricultura familiar é responsável por produzir grande parte dos alimentos consumidos pela população brasileira, além de gerar empregos e renda para as comunidades locais.

## 2.2. Dados geográficos

Os dados geoespaciais de referência utilizados foram: o Modelo Digital de Superfície (MDS) SRTM 30 m do ano 2000 (USGS, 2020), que constituiu a base cartográfica de onde foram derivados os atributos geomorfométricos; a base vetorial da litologia disponibilizada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais na escala 1:1.000.000 (Lacerda Filho *et al.*, 2006), atualizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021); a base vetorial de solos na escala 1:250.000 (IBGE, 2021); o trabalho de Alvares *et al.* (2014) com a classificação climática; a representação dos limites dos biomas compatível com a escala 1:250.000 (IBGE, 2019); e o trabalho de Sano *et al.* (2019), que delinearão 19 unidades da savana brasileira com

base na geomorfologia, solos, geologia, vegetação, diversidade de plantas e precipitação pluviométrica.

O uso e cobertura da terra foi analisado com base nos dados disponibilizados pela Rede MapBiomias, coleção 6 (MapBiomias, 2021), cuja metodologia de classificação pode ser encontrada em Souza *et al.* (2020) e no *hub* MapBiomias. Os recortes temporais selecionados para a análise foram 1985, 1995, 2005 e 2020. O ano de 1985 corresponde ao início da série histórica das imagens *Landsat*. A quantificação para cada classe de uso foi feita no *software* ArcGIS 10.8.2 (ESRI, 2022). Os dados de uso e cobertura da terra também foram correlacionados às declarações do Cadastro Ambiental Rural (CAR), a fim de identificar passivos ambientais (BRASIL, 2012; MATO GROSSO DO SUL, 2014).

Os resultados da caracterização geoambiental são apresentados em mapas temáticos. Recortes espaciais do *Google Earth*, juntamente com fotografias obtidas em trabalhos de campo, são utilizados como complementos na análise e discussão dos resultados.

## 3. Resultados e discussão

A geologia da BHRP (Figura 2a) é composta pelos basaltos da Formação Serra Geral (13,9%), que estão sobrepostos aos arenitos eólicos da Formação Botucatu e sotopostos pelas rochas siliciclásticas neocretácicas do Grupo Caiuá indiviso (78,3%), Formação Santo Anastácio (1,5%), e Coberturas Detrito-Lateríticas Neogênicas (1,8%). Terraços Pleistocênicos (1,4%), Terraços Holocênicos (2,6%), Depósitos Aluvionares Holocênicos (0,3%), Depósitos Colúviais Holocênicos (0,02%), Aluviões Fluviolacustres Holocênicos (0,02%) e



corpo d'água continental (0,2%), perfazem o restante da área da BHRP (IBGE, 2021).

Os fluxos de lava da Formação Serra Geral, uma das maiores províncias vulcânicas do mundo (Bigarella *et al.*, 1985), datam do Cretáceo Inferior e recobriram uma grande bacia sedimentar intracratônica (Bacia do Paraná) que começou a afundar no início do Paleozóico. O maior volume de lavas foi extrusionado em torno de 134,5 Ma (Pinto *et*

*al.*, 2011; Janasi *et al.*, 2011), mas, segundo Brückmann *et al.* (2013), o vulcanismo fissural teve manifestações em tempo mais prolongado até 129 Ma. Em trabalho desenvolvido por Hartmann *et al.* (2019), os autores estimaram que a duração do magmatismo da Formação Serra Geral foi maior que o considerado anteriormente, e teria durado aproximadamente 16 Ma.

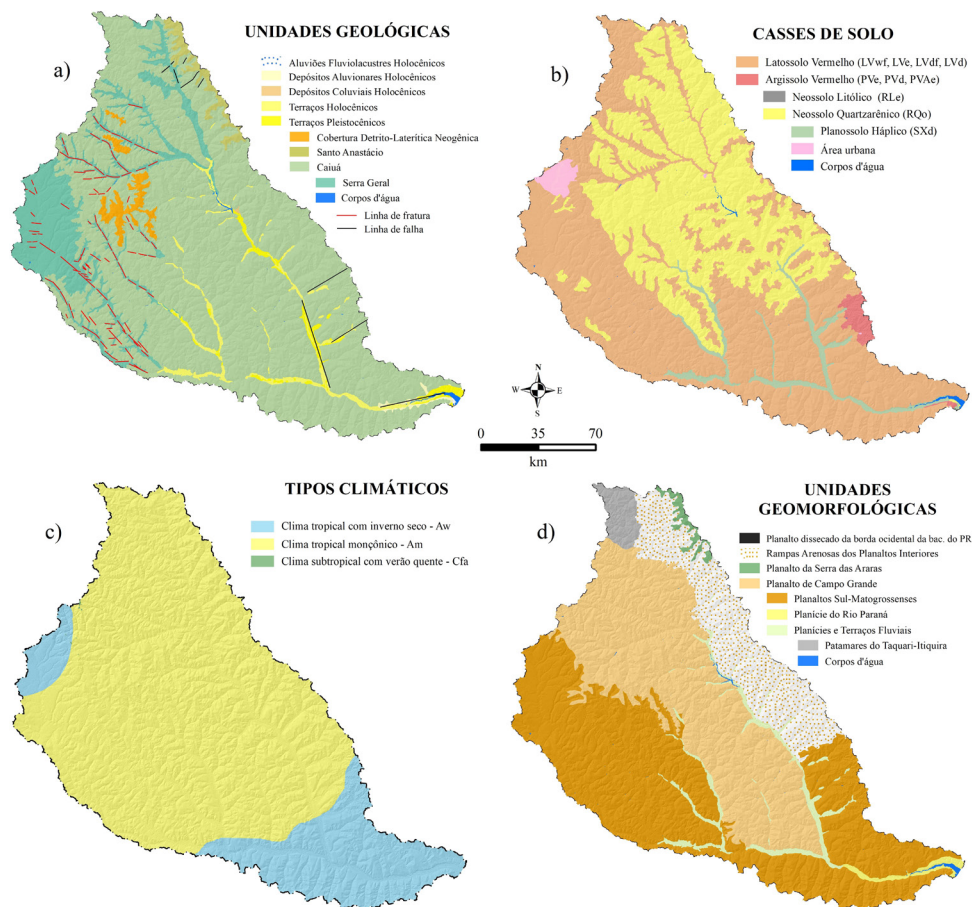


FIGURA 2 – Unidades geológicas (a), classes de solo (b), tipos de clima (c) e unidades geomorfológicas (d) na bacia hidrográfica do Rio Pardo. FONTES: unidades geológicas, tipos de solo, unidades geomorfológicas (IBGE, 2021); Clima: Alvares *et al.* (2014).

As rochas vulcânicas dominantes (95% do volume) na Formação Serra Geral são basalto, andesito basáltico e andesito, seguidas de riodacito e pouco riolito (Hartmann, 2014). Estas cobrem os arenitos da Formação Botucatu (Machado *et al.*, 2015). Os fluxos de lava apresentam vesículas dispersas e fraturas preenchidas com arenito (diques clásticos) em suas bordas de base e topo, além da presença de arenitos intercalados com contatos irregulares e espessuras variadas (Machado *et al.*, 2015). Os diques se mostram, regra geral, constituídos de material arenoso, que penetram os basaltos, tanto na vertical formando diques clásticos, como, por vezes, na horizontal formando *sills*. As intrusões clásticas observadas em campo apresentam diferentes formas e dimensões.

Para Hartmann (2014), durante todo processo efusivo gerador do grupo vulcânico, o clima teria permanecido árido, pois não há indicações de presença de sedimentos formados em lagos ou rios. A espessura do estrato de rochas ígneas extrusivas antes da erosão é estimada em 5.000 m próximo à costa atlântica e 3.000 m no interior do continente, sendo a espessura máxima (1.755 m) medida em sondagem no sudoeste de São Paulo (Hartman, 2014). O trabalho de Wildner *et al.* (2006) mostrou que há grandes extensões com 500-1.000 m de espessura no depocentro da Bacia do Paraná.

Os fluxos de lava apresentam uma zonalidade de distribuição de rochas vulcânicas de alto teor de titânio (Ti) na porção norte da província vulcânica e baixo-Ti na porção sul, mas há exceções em algumas partes. Para Hartmann (2014), às variações composicionais, os dados geocronológicos, as características texturais e o arranjo entre derrames e intrusivas da bacia, possibilitaram a divisão do magmatismo Serra Geral em fácies distintas, seis

relacionadas ao magmatismo máfico (fácies Gramado, Paranapanema, Pitanga, Esmeralda, Campo Erê e Lomba Grande) e quatro ao magmatismo intermediário a félsico (fácies Palmas, Chapecó, Várzea do Cedro e Alegrete). Licht & Arioli (2012), com base em tratamento estatístico de grande número de análises químicas de rochas vulcânicas do Grupo, sugerem a existência de um número maior de tipos químicos.

A bacia sedimentar de Bauru (Fernandes & Coimbra, 1996) possui 370.000 km<sup>2</sup>, é do tipo intracratônica de subsidência isostática desenvolvida no Cretáceo Superior, pós-ruptura do continente Gondwana (Silva *et al.*, 2003; Fernandes & Ribeiro, 2015; Batezelli, 2015). Em termos litoestratigráficos possui um pacote sedimentar da ordem de 480 metros de espessura que compõem duas unidades cronocorrelatas: Grupo Caiuá (Formações Rio Paraná, Goio Erê e Santo Anastácio) e Grupo Bauru (Formações Uberaba, Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Marília, incluindo os Analcimitos Taiúva) (Fernandes & Coimbra, 2000; Fernandes, 2004).

O preenchimento da bacia de Bauru teria ocorrido em condições semiáridas nas margens da bacia e em condições desérticas no interior, em duas fases de deposição: a primeira fase um sistema desértico e a segunda, um sistema flúvio-eólico (Fernandes & Coimbra, 2000; Fernandes & Ribeiro, 2015). A Supersequência Bauru do Cretáceo Superior (Milani *et al.*, 2007) recobre parte dos estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás no Brasil, e parte do nordeste do Paraguai (Fernandes & Ribeiro, 2015).

Conforme Fernandes (2004), no final do Cretáceo, passaram a dominar forças verticais de sentido oposto, geradas por reação compensatória,

iniciando-se a fase de “inversão” tectônica da bacia e erosão do pacote suprabasáltico neocretáceo. Segundo ele, a reativação de estruturas tectônicas nas margens provocou importantes alterações no quadro geográfico da bacia, promovendo o avanço de leques aluviais para o seu interior, como o encontrado no alto curso da bacia hidrográfica do Ribeirão das Botas (Figura 3), próximo ao interflúvio das bacias hidrográficas do Paraguai e Paraná (20°15'13.31"S; 54°29'3.44"O). Simultaneamente, mudanças climáticas graduais, talvez provocadas pelas transformações do relevo, trouxeram maior umidade às zonas marginais. Segundo Almeida (1980), grande parte do registro sedimentar foi removido durante a elevação regional no Cenozóico. Nos trabalhos de campo, observou-se a presença de arenitos sili-

cificados, cuja ocorrência pode estar associada ao magmatismo alcalino neocretáceo identificado na porção sul da bacia Bauru por Fernandes, Coimbra & Brandt Neto (1993).

Na BHRP o conjunto litofaciológico suprabasáltico corresponde ao Grupo Caiuá, indiviso (78,33%) e a Formação Santo Anastácio (1,50%). Para Freitas (1973), o Grupo Caiuá, composto por arenitos quartzosos a subarcoseano, fino a médio, se originou da erosão por águas correntes do planalto do “trapp” do Paraná e teve como fonte o arenito Botucatu e Latossolos pretéritos, fruto da decomposição do basalto sob clima úmido. Para esse autor, o retrabalhamento superficial na sedimentação do Grupo Bauru, representado pela Formação Santo Anastácio, indica um novo ciclo sedimentar. Essa

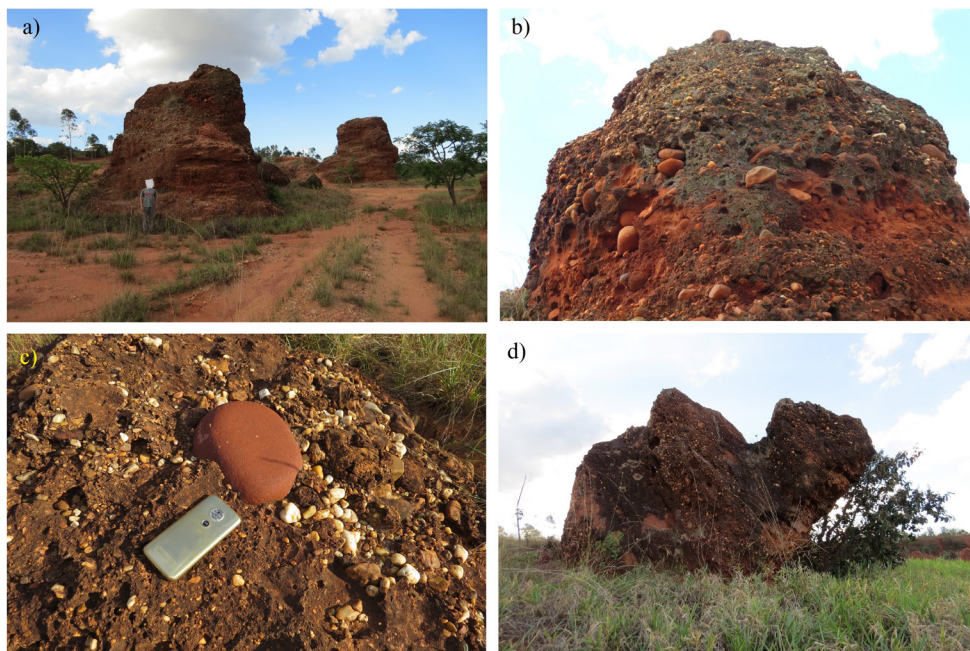


FIGURA 3 – Sistema de leque aluvial próximo ao divisor de águas das bacias hidrográficas do Paraguai e Paraná.

FONTE: arquivo pessoal da autora (2021).



Formação é constituída por estratos arenosos tabulares de aspecto maciço, de espessura decimétrica, com raras intercalações de estratos de lamitos e argilitos. Os arenitos são quartzosos subarcoseanos, quase sempre maciços, finos a muito finos, pobremente selecionados, com fração silte subordinada, e pequena quantidade de matriz silto-argilosa (Lacerda Filho *et al.*, 2006).

As coberturas detrito lateríticas neogênicas podem recobrir diretamente os basaltos da Formação Serra Geral e os arenitos do Grupo Caiuá. Esse material encontra-se em platôs maciços e horizontes detriticos ferruginosos, por vezes concrecionários, como mostrado na Figura 4. Estas coberturas são formadas por sedimentos aluvionares e/ou coluvionares (areias, cascalheiras, siltes/argilas), total ou parcialmente laterizados (arenitos, conglomerados e lamitos), e lateritos autóctones com carapaças ferruginosas, cujo ambiente de formação é conti-

nental (Theodorovicz & Theodorovicz, 2010). Em campo, constatou-se que existem muitas manchas com crostas lateríticas bastante endurecidas não mapeadas na escala 1:1.000.000 (Lacerda-Filho *et al.*, 2006).

As classes de solo (Figura 2b) mais representativas em áreas na BHRP são: Latossolo (57,6%) e Neossolo Quartzarênico (37,6%). Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo), Planossolo Háptico Distrófico (SXd), Argissolo Vermelho Eutrófico (Pve), Latossolo Vermelho Acriférico (LVwf), Latossolo Vermelho Distroférico (LVdf), Argissolo Vermelho Distrófico (PVd), Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (PVAe), Latossolo Vermelho Eutrófico (Lve), Neossolo Litólico Eutrófico (Rle), correspondem a uma área de 56,3%, 37,6%, 3,4%, 0,8%, 0,7%, 0,5%, 0,3%, 0,1%, 0,01% e 0,0002%, respectivamente. Embora a base cartográfica seja apresentada na es-

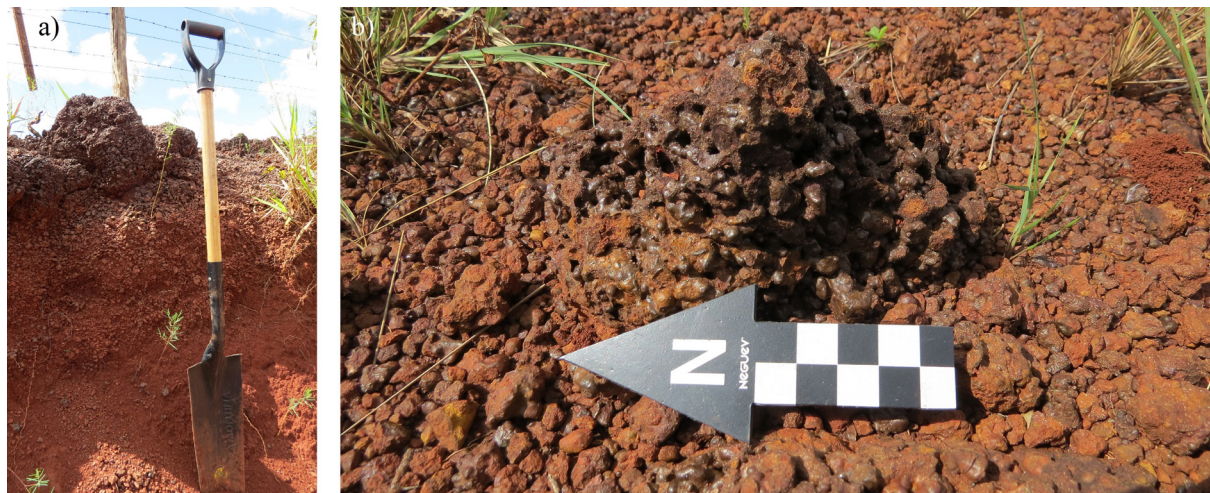


FIGURA 4 – Afloramento de coberturas lateríticas em talude de corte de estrada (a) e área de pastagem (b).

FONTE: arquivo pessoal da autora (2023).

cala 1:250.000 (IBGE, 2021), o conteúdo temático se refere a um levantamento pedológico na escala 1:1.000.000 (IBGE, 2018).

Nas cabeceiras de drenagem (quadrantes noroeste e sudoeste), os solos argilosos relacionam-se ao material de origem, basaltos da Formação Serra Geral. No baixo curso da bacia hidrográfica a gênese dos solos se relaciona aos processos morfodinâmicos de erosão, transporte, deposição. A presença de Latossolos nos vales do alto curso do rio Pardo relaciona-se aos processos de denudação que removeram o pacote sedimentar do Grupo Caiuá expondo os basaltos. Contudo, nesses locais é preciso considerar o fator escala de mapeamento.

O clima da região é marcadamente sazonal, com verões chuvosos e invernos secos com ventos fortes. Conforme classificação climática de Alvares *et al.* (2014), o tipo climático predominante (80%) é o tropical monçônico, em que as precipitações variam de 1.600 a 1.900 mm ano<sup>-1</sup>. O clima tropical savânico corresponde a 19,9% da área, é marcadamente sazonal com ocorrência no vale do rio Paraná e na região central do estado. O clima subtropical úmido ocorre em pequenos núcleos (0,02%) no cerrado sul-mato-grossense, o que pode estar relacionado aos dados meteorológicos disponíveis para a região. A distribuição dos tipos climáticos pode ser visualizada na Figura 2c.

As unidades geomorfológicas (Figura 2d) predominantes na área são: Planaltos Sul-mato-grossenses (42,7%), Planalto de Campo Grande (35,1%) e Rampas Arenosas dos Planaltos Interiores (15,2%). As Unidades Planícies e Terraços Fluviais, Patamares do Taquari-Itiquira, Planalto da Serra das Araras, Planície do Rio Paraná, Planalto Dissecado da Borda Ocidental da Bacia do Paraná e Depressão

Interpatamares correspondem a 3,1%, 2,1%, 0,8%, 0,8%, 0,003% e 0,0003% da área, respectivamente.

A elevação mínima da BHRP é de 232,0 m e a máxima de 743,0 m (Figura 5a, Tabela 1), tendo como média 556,9 m e amplitude de 511,0 m. Os valores de sombra, derivados do MDS SRTM 30 usando o algoritmo *hillshade* (azimute 345, altitude 45), variaram de 0 a 255 (Figura 5b). A interpretação de mapas de sombreamento é semelhante à interpretação de imagens de sensoriamento remoto e baseia-se no reconhecimento ou identificação de características do relevo a partir da iluminação (Imhof, 2007). O sombreamento permite uma interpretação mais próxima do real (Tinós *et al.*, 2014), desde feições maiores como escarpas, mudanças abruptas de declive e topografia escalonada, a variações sutis da topografia. Este atributo também permitiu a visualização de artefatos de vegetação, em que fragmentos florestais correspondem a ruído de elevação, pois o valor de altitude (Z) está em algum ponto entre a superfície terra nua e o topo do dossel.

A declividade variou de 0,00002 a 56,6% (Figura 5c) com média de 4,2% e desvio padrão de 2,3. Os maiores valores estão associados às áreas de relevo dissecado como vales. Os artefatos de vegetação (fragmentos florestais) influenciam nos valores de declive, com superestimação de áreas declivosas, como nas bordas de fragmentos florestais. Os intervalos de classe (Lepsch *et al.*, 2015) mostram que a inclinação suave (2-5%) predomina na área (52,8%), seguida da classe moderadamente inclinada (5-10%) com 31,3%; plana ou quase plana (0-2%) em 14,3%; muito inclinada (10-15%) em 1,5%; fortemente inclinada (10-45%) em 0,2%; e íngreme montanhoso em 0,001% da área da bacia hidrográfica.

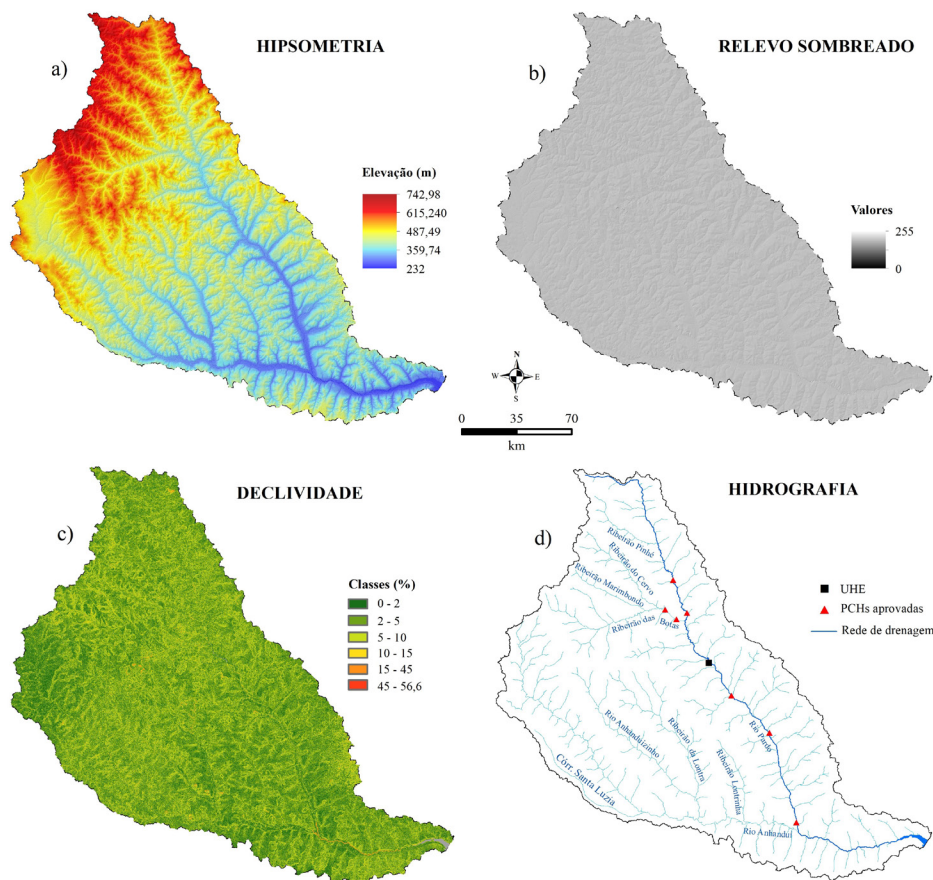


FIGURA 5 – Hipsometria (a), sombra (b), declividade (c) e rede de drenagem (d) da bacia hidrográfica do Rio Pardo. Base cartográfica: MDS SRTM 30 m; Limiar hidrografia 30.000 (D8)

FONTE: USGS (2020).

A relação de relevo ( $R_r$ ) é de 0,0016 (Tabela 1). Este parâmetro é a relação entre a amplitude altimétrica da BH e a distância horizontal da drenagem principal, sendo um indicador da intensidade dos processos de erosão que operam nas encostas (Schumm, 1956). A percentagem de relevo relativo ( $R_{hp}$ ) é de 0,030 (Tabela 1). Este parâmetro é calculado usando o perímetro e a amplitude total da bacia hidrográfica (Melton, 1957). O significa-

do é que terrenos com baixos valores de  $R_{hp}$  são menos propensos à erosão do que aqueles com altos valores. Contudo, como apresentado acima, solos arenosos, que perfazem 37,6% da BHRP, são altamente suscetíveis à erosão do solo. O índice de dissecação de 0,69 (Tabela 1) indica dissecação moderada, o que mostra, que embora jovem, o tipo de solo e as práticas de manejo que não conside-

ram a suscetibilidade à erosão, contribuem para a aceleração da dissecação.

A hidrografia da área (Figura 5d) mostra o controle estrutural (Figura 2a) nas principais drenagens. Para a apresentação temática optou-se pelo limiar 30.000 (Figura 5d), e para a quantificação (Tabela 1), o limiar de 800. O limiar de 800 foi o que mais se aproximou da rede de drenagem existente quando sobreposta às imagens de alta resolução espacial do *World Imagery* do ArcMap.

A hierarquia fluvial, que representa uma medida da extensão da ramificação do fluxo dentro de uma bacia hidrográfica (Strahler, 1964), é de oitava ordem (limiar 800); o comprimento total dos canais é de 26.108,14 km; a densidade de drenagem, que expressa a relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia hidrográfica e a sua área total, é de 0,78 (Tabela 1). Essa variável se relaciona diretamente aos processos climáticos atuantes na área, os quais influenciam o fornecimento e o transporte de material detrítico. Em solos menos permeáveis, como os Latossolos de textura argilosa, as condições para ocorrer escoamento superficial são melhores, possibilitando a formação de canais e, conseqüentemente, aumentando a densidade de drenagem. O contrário acontece com rochas de granulometria grossa, das quais derivam solos arenosos como os RQs (Horton, 1945). Conforme Pedron, Dalmolin & Flores (2019), solos arenosos apresentam baixa capacidade de retenção de água em função da macroporosidade dominante. Nestes solos a diminuição do teor de matéria orgânica também afeta a retenção de água no solo.

O índice de sinuosidade encontrado foi de 1,56 (Tabela 1), o que indica formas transicionais entre canais retilíneos e sinuosos. Os canais meândricos, encontram-se predominantemente no baixo curso do

Rio Pardo, nas planícies de inundação, e no baixo curso das principais bacias hidrográficas tributárias. Canais meândricos também são observados no médio e alto curso e estão diretamente relacionados ao material de origem sedimentar (arenitos do Grupo Caiuá).

O gradiente do canal principal é de 0,91 (Tabela 1), sendo mais íngreme no alto curso e suaviza à medida que se aproxima do vale do rio Paraná (Figura 6). A constituição geológica da BHRP influencia no relevo suave predominante, assim, o gradiente de inclinação do canal principal demonstra que a área drenada por este sistema fluvial sofre uma maior pressão pela erosão fluvial no alto curso, denotando a grande importância dos processos erosivos nas cabeceiras de drenagem no modelado dos canais.

O comprimento axial da BHRP é de 326,5 km, a área é de 33.674,1 km<sup>2</sup> e o perímetro de 1675,5 km (Tabela 1). Os valores para o fator de forma ( $F_f$ ), razão de alongação ( $R_e$ ), razão de circularidade ( $R_c$ ) e coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) foram 0,32, 0,63, 0,15, e 2,57 (Tabela 1). O  $F_f$  tem sido utilizado em análises de vazão máxima de inundação. No caso de bacias hidrográficas longas e estreitas como, por exemplo, bacias que ocupam vales sinclinais e vales em rifte, o fator de forma é indicativo do regime de cheia do córrego. Para bacias de forma irregular, especialmente aquelas com solos permeáveis, como a BHRP, o fator de forma não é um indicador sensível das características hidrológicas. Segundo a classificação proposta por Shumm (1956), a BHRP é alongada (0,5-0,7). Esses resultados indicam que em eventos de chuva o tempo de concentração será maior com diminuição da tendência de haver picos de enchentes. Para a  $R_c$ , baixos valores como os obtidos no presente trabalho (0,15) indicam estágio geomórfico jovem (Miller, 1953).



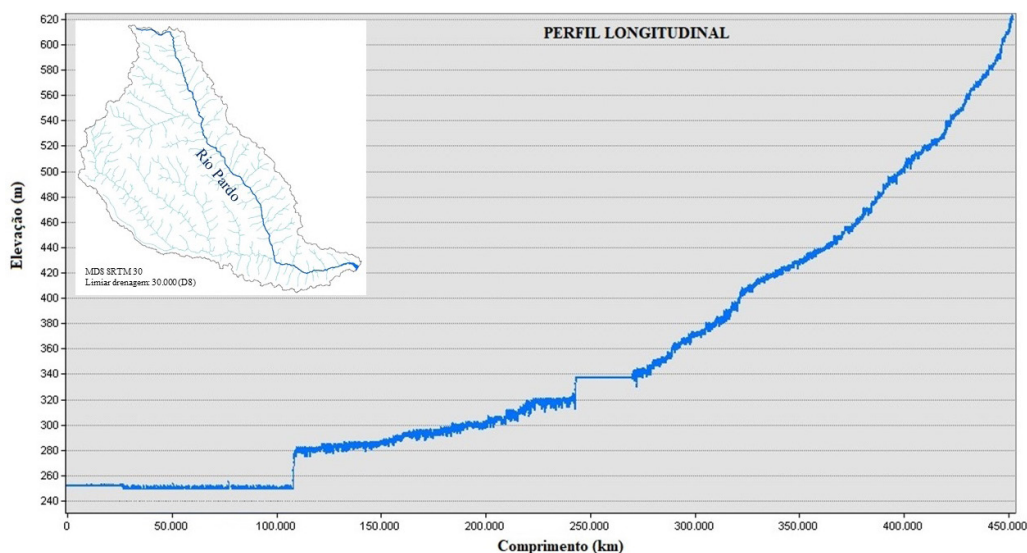


FIGURA 6 – Rede hidrográfica com destaque para o canal principal e perfil longitudinal do rio Pardo/MS.

FONTE: MDS SRTM 30 m.

A BHRP encontra-se predominantemente no bioma Cerrado (99,89%), na ecorregião Planalto Guimarães (Sano *et al.*, 2019), e uma pequena parte (0,11%), ao longo das calhas dos rios Pardo e Anhanduí, no bioma Mata Atlântica. Toda a região, originalmente, possuía uma cobertura vegetal exuberante pertencente à diferentes unidades fitogeográficas, contudo, a vegetação natural foi praticamente dizimada (Figura 7d) e os remanescentes encontram-se fragmentados e muitos descaracterizados. As nascentes e rios de baixa ordem encontram-se destituídos de matas ripárias (passivo ambiental previsto em legislação federal e estadual) o que, conforme Curcio (2017), incorre, necessariamente, em perda de qualidade dos recursos hídricos, além da própria perda de corredores ecológicos e suas múltiplas funcionalidades. Embora a BHRP conte com cinco Unidades de Conservação (UCs), classificadas como de uso

restrito, a saber: as Reservas Particulares de Patrimônio Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Vale do Sol II e Vale do Anhanduí e os Parques Estaduais do Prosa e Matas do Segredo, essas áreas representam apenas 0,06% da extensão total da BHRP. Por outro lado, as quatro UCs que se enquadram na categoria de uso sustentável, nomeadamente as Áreas de Proteção Ambiental (APAs) da Microbacia Anhanduí Pardo, da Sub-Bacia do Rio Pardo e dos mananciais dos Córregos Guariroba e Lajeado, abrangem expressivos 23,1% da área total da BHRP. Apesar de sua significativa extensão, as APAs enfrentam desafios e conflitos ambientais, semelhantes às áreas localizadas fora das UCs, mesmo com a implementação de Planos de Manejo.

Os recortes temporais de uso e cobertura da terra mostram a redução significativa nas formações florestais, savânicas e campestres no período entre 1985 e 2020 (Figura 7). A área de formação flores-

TABELA 1 – Atributos geomorfométricos da bacia hidrográfica do Rio Pardo/MS.

<b>Geometria da bacia hidrográfica</b>			
Comprimento da bacia ( $L_b$ ) (km)	–	Horton (1932)	326,50
Área (A) ( $\text{km}^2$ )	–	–	33.674,1
Perímetro (P) (km)	–	–	1.675,5
Fator forma ( $F_f$ )	$F_f = A/L_b^2$	Horton (1932)	0,32
Razão de elongação ( $R_e$ )	$R_e = (2/L_b) \times (A/\pi)^{0.5}$	Schumm (1956)	0,63
Razão de circularidade ( $R_c$ )	$R_c = 4\pi A/P^2$	Miller (1953)	0,15
Coefficiente de compacidade ( $K_c$ )	$K_c = 0,282 * P/\text{raiz } A$	Gravelius (1914)	2,57
<b>Rede de drenagem</b>			
Ordem dos canais	Classificação hierárquica	Strahler (1964)	8*
Comprimento de todos os canais ( $L_t$ ) (km)	$L_t = L_1 + L_2 + \dots + L_n$	Horton (1945)	26.108,14*
Densidade de drenagem ( $D_d$ )	$D_d = L_t/A$	Horton (1945)	0,78*
Índice de Sinuosidade ( $I_s$ )	$I_s = L_{c(km)}/L_v(km)$	Schumm (1963)	1,56
Gradiente dos canais	$G_c = (\text{Alt.}_{\text{nasc.}} - \text{Alt.}_{\text{fz.}})/L_{\text{comp. rio principal}}$	–	0,91
<b>Características do relevo</b>			
Altura da saída da bacia ( $Z_{\min}$ ) (m)	–	–	232,0
Altura máxima da bacia ( $Z_{\max}$ ) (m)	–	–	743,0
Amplitude altimétrica (H) (m)	$H = Z_{\max} - Z_{\min}$	Strahler (1952)	510,99
Relação de relevo ( $R_h$ )	$R_h = H(km)/L_b$	Schumm (1956)	0,0016
Percentagem de relevo relativo ( $R_{hp}$ )	$R_{hp} = H(km) \times 100/P$	Melton (1957)	0,030
Índice de dissecação (Dis)	$\text{Dis} = H/Z_{\max}$	Gravelius (1914)	0,688

\* Algoritmo de distribuição de fluxo: D8, Limiar 800.

FONTE: MDS SRTM 30.

tal que em 1985 correspondia a 22,8% da BHRP, reduziu para 13,7% em 1995, 9,5% em 2005 e 9,1% em 2020. O período de maior desmatamento relaciona-se ao *boom* das *commodities* no país. A vegetação savânica, que em 1985 correspondia a 13,6% da BHRP, reduziu para 11,5% em 1995, 8,1% em 2005 e 7,1% em 2020. A formação campestre apresentou incremento na área de 0,71% em 1985;

0,73% em 1995, 0,9% em 2005 e 1,1% em 2020. Isso resulta da descaracterização das formações florestais e savânicas.

As áreas com vegetação nativa que foram convertidas inicialmente para a pecuária extensiva – em 1985 esta classe correspondia a 44,9% da área, em 1995 64,5%, em 2005 71,6% – estão sendo convertidas para lavouras de soja e “florestas plantadas”

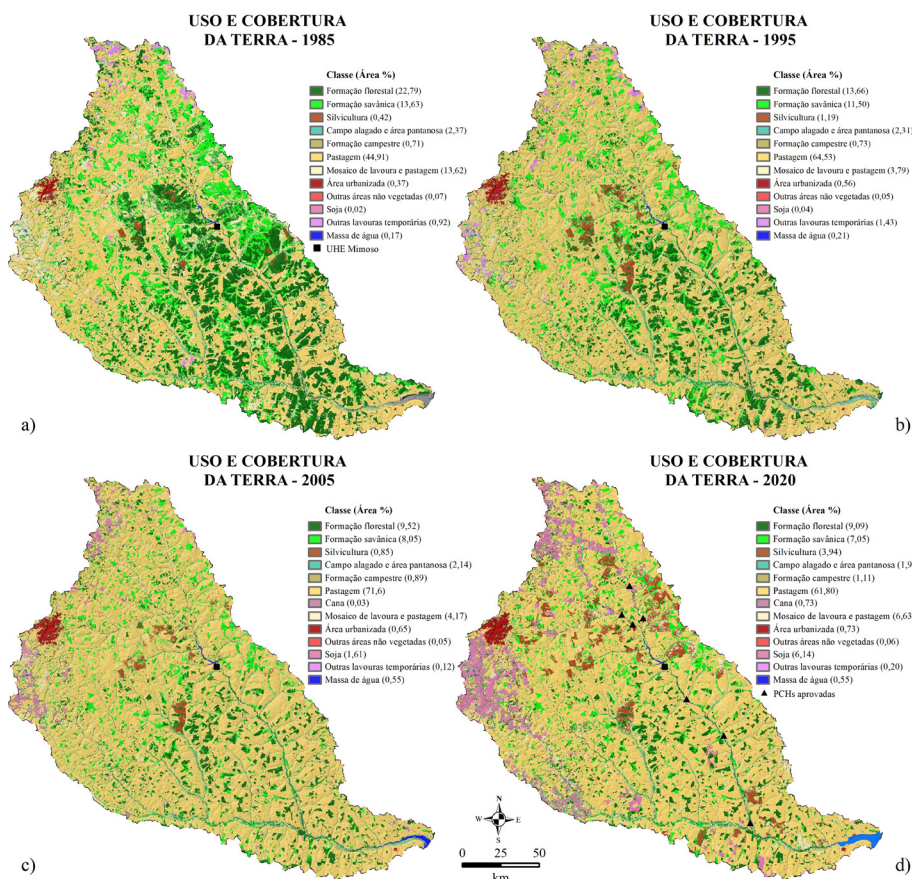


FIGURA 7 – Uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Pardo nos anos de 1985 (a), 1995 (b), 2005 (c) e 2020 (d).  
 FONTE: MapBiomias, coleção 6.

de eucalipto e seringueira (0,4% em 1985, 1,2% em 1995, 0,9% em 2005 e 4,0% em 2020). Entre 2005 e 2020 a classe pastagem apresentou redução na área de 13,4%. Embora a partir de 2005 as áreas de pastagens tenham diminuído em detrimento das “florestas plantadas” e lavouras de soja, esta classe de uso ainda ocupa a maior área da BHRP com 62,0% em 2020. Nas APAs, observou-se uma redução significativa da vegetação nativa, corroborando com Lima (2011) quando diz que as UCs são meias

conquistas ambientais, pois, uma vez criadas, não são oferecidas condições reais de geri-las adequadamente através de planos de manejo e de gestão.

As áreas de pastagens são, em sua maioria, mal manejadas, com inúmeros focos em processo de arenização como apresentado nas Figuras 8 e 9a. O processo de arenização consiste no retrabalhamento de depósitos pouco ou nada consolidados, o que dificulta a fixação da vegetação devido a mobilidade dos sedimentos (Suertegaray, 1987). Segundo essa



FIGURA 8 – Foco de arenização com vegetação sendo enterrada (a) e dunas avançando sobre a vegetação (b) na bacia hidrográfica do córrego Guarairoba (20°36'57.82"S; 54°23'26.73"O).

FONTE: arquivo pessoal da autora (2023).

autora, no sudoeste do Rio Grande do Sul os areais são de origem natural, associados a depósitos Quaternários assentados sobre o substrato arenítico das Formações Botucatu e Guará, e a evolução recente está relacionada às atividades antrópicas.

No contexto do presente trabalho a origem dos areais é antrópica, resultante de uma combinação de fatores como: o substrato arenítico (Grupo Caiuá) que dá origem a solos arenosos (RQs), a extensiva eliminação da cobertura vegetal primária e a conversão para a pecuária mal manejada. Isso torna os solos mais vulneráveis a atuação de processos hídricos (pluviodenudação) e eólicos (deflação).

Nas áreas de pecuária, além das voçorocas em encostas e topos, há inúmeras voçorocas aluviais formadas pelo tráfego de animais até o rio para

dessedentação e travessia (Figura 9b). Também foram observadas inúmeras paleovoçorocas, algumas delas reativadas (Figura 9c), o que pode ser decorrência de uma combinação de fatores como os climáticos, tectonismo, a remoção da cobertura vegetal natural e agricultura predatória.

Em 1985, a soja estava presente em somente 0,02% da área (788,4 ha); em 1995 em 0,04% (1.414,9 ha); em 2005 em 1,6% (54.197,4 ha); e em 2020, 6,2%. As áreas de soja predominam em solos argilosos derivados da Formação Serra Geral (Figura 2b), contudo, a sojicultura tem avançado em áreas de solos arenosos (Figuras 7d e 2b), o que pode resultar na contaminação das águas superficiais e subterrâneas (aquífero Bauru). Também tem aumentado na BHRP sistemas de irrigação por



pivô central (Figura 9d), que se caracteriza por uma linha lateral móvel com vários emissores, suportada acima do solo por torres que giram em torno de um mecanismo de pivô central, irrigando assim uma área circular (Phocaides, 2000). Na BHRP, as áreas de soja irrigada são encontradas nas proximidades de águas superficiais (rios e reservatórios formados a partir da construção de barragens de terra), o que aumenta o risco de lançamento de sedimentos e poluentes nos cursos d'água. Conforme Batista *et al.* (2023), a irrigação no Cerrado causa e/ou agrava a erosão do solo e o problema tem sido negligenciado.

A área de campo alagado que em 1985 correspondia a 2,4% da BHRP, reduziu para 2,3% em 1995, 2,1% em 2005 e 2,0% em 2020 (Figura 7). Os impactos no ciclo hidrológico na bacia hidrográfica estão relacionados às mudanças na cobertura (ve-

getação natural-agricultura) e no uso e cobertura da terra (pecuária-soja; pecuária-silvicultura), e com as mudanças climáticas.

O aumento da massa de água de 0,17% em 1985, para 0,55% em 2020 corresponde, principalmente, ao reservatório da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta no Rio Paraná, inaugurada no ano de 2003. No Cerrado, a água natural, de rios livres, está perdendo espaço para a água antrópica, em reservatórios. Há uma combinação de regiões com redução e outras com aumento de superfície de água em barragens no Cerrado, levando a uma leve perda de superfície da água neste bioma (WWF, 2021).

Os recortes temporais de uso e cobertura da terra mostram a expansão da área urbana, principalmente em Campo Grande. Na BHRP a área desta



FIGURA 9 – a) Foco de arenização; b) Voçorocas aluviais em área de pecuária; c) Paleovoçoroca reativada; d) Lavouros de soja irrigadas por pivô central.

FONTE: Google Earth (2023).

classe correspondia a 0,37% em 1985, 0,56% em 1995, 0,65% em 2005 e 0,74% em 2020. Diferente do que ocorreu na década de 1970 quando as áreas urbanas viram aumentos dramáticos na população devido ao influxo de áreas rurais, onde as oportunidades de emprego eram poucas em função da mecanização agrícola, conforme Vieira Neto (2008), a expansão urbana recente no centro-oeste está ligada diretamente ao urbano.

Os resultados aqui apresentados mostram que a conversão de sistemas naturais (Cerrado e da Mata Atlântica) para ambientes agrícolas, de forma predatória, e sem considerar as aptidões e restrições agrícolas, impactaram profundamente os serviços ecossistêmicos como a regulação do fluxo de água, a fertilidade do solo, *habitat* e conectividade de *habitats*, a biodiversidade e o clima. A dinâmica inicial da mudança foi o declínio das formações florestais e savânicas e expansão de florestas de transição, formações campestres e pastagens plantadas. Em 1985, embora o uso predominante fosse pecuária extensiva, 36,4% da área era composta por formações florestais e savânicas, em 2020 este número reduziu para 16,2%.

A principal mudança recente no uso da terra é a conversão de pastagens para lavouras de soja e florestas plantadas – principalmente eucalipto. O avanço das lavouras de soja se dá em áreas de solos arenosos (RQ), que apresentam predomínio de macroporos, resultando em elevada drenagem e baixa capacidade de retenção de água, logo, de baixo potencial de filtro (Curcio, 2017). Os baixos teores de argila e matéria orgânica conferem a esses solos uma baixa fertilidade e agregação, tornando-os assim altamente susceptíveis aos processos erosivos hídricos e eólicos (Pedron & Dalmolin, 2019). Como agravante, os cursos d'água de baixa

ordem (Strahler), em sua maioria, não apresentam proteção da cobertura florestal fluvial (matas de galeria), o que resulta em forte fragilidade aos ambientes fluviais.

Os impactos nocivos do processo acelerado de erosão do solo causados pelo desmatamento, sobrepastoreio, preparo do solo e práticas agrícolas inadequadas são bem conhecidos e documentados, assim como a mecânica do processo erosivo (Lal, 2001; Montgomery, 2007; Pimentel & Burgess, 2013; Walling, 2013). Para Borrelli *et al.* (2017), os impactos podem ser severos não apenas pela degradação da terra e perda de fertilidade, mas pelos efeitos externos, por exemplo, sedimentação, assoreamento e eutrofização de cursos d'água e reservatórios ou inundações intensificadas. O custo global anual da degradação da terra devido à mudança de uso/cobertura e o uso de práticas de manejo inadequadas é de cerca de 300 bilhões de dólares (Nkonya *et al.*, 2015). No contexto das mudanças climáticas antropogênicas, a erosão do solo também pode aumentar ou diminuir as emissões de gás carbônico por meio de mineralização aprimorada e soterramento de sedimentos (Lal, 2004; Van Oost *et al.*, 2007). Os impactos fora do local também irão afetar a produção de energia hidrelétrica, pela morte de nascentes e assoreamento de rios e reservatórios, e isso aumentará sobremaneira os custos globais anuais da degradação do solo.

No que tange a produção de energia, ao contrário do que vêm ocorrendo na Europa e América do Norte que estão removendo barragens e investindo em energia solar, eólica e biomassa (Moran *et al.*, 2018), os países em desenvolvimento como o Brasil, estão construindo barragens para a produção de energia (UHEs e PCHs). A tendência recente de construção de grandes barragens hidrelétricas e

pequenas centrais hidrelétricas, mostra que determinados setores ignoram as externalidades sociais e ambientais desses projetos, bem como a insustentabilidade deste modelo energético.

Para Lima (2011), a ação do mercado se orienta exclusivamente pela rentabilidade dos capitais investidos e pelo curto prazo, o que para ele, não garante respostas racionais aos problemas ambientais, equidade no trato da justiça social e respeito aos dilemas éticos frequentes na construção de uma sustentabilidade democrática. No momento que soluções inovadoras são necessárias, como a energia solar, eólica e outras fontes renováveis, a governança e a sustentabilidade do modelo hidrelétrico não são discutidas (Moran *et al.*, 2018).

Como mencionado anteriormente, na bacia hidrográfica do rio Pardo, há uma Usina Hidrelétrica em operação e foram aprovados sete eixos para a implantação de PCHs. No contexto das mudanças climáticas, desmatamento e degradação de terras agrícolas, a erosão acelerada e o processo de arenização estão sendo ignorados e os benefícios das PCHs, superestimados. Dado o grau de degradação ambiental existente como degradação dos solos (erosão, arenização, sedimentação, lixiviação, entre outros), os passivos ambientais em áreas de preservação permanente e reserva legal, e os impactos cumulativos de pequenas barragens de terra (Capoane, 2021), é urgente que gestores (âmbito municipal e estadual) considerem as interações do clima, atividades socioeconômicas e degradação dos recursos naturais do solo e da água. A correlação entre os aspectos abióticos e de uso e cobertura da terra são fundamentais para a criação de políticas e programas de governo para a proteção efetiva do meio ambiente.

#### 4. Considerações finais

A caracterização geoambiental mostra um ambiente ecologicamente frágil, altamente suscetível à erosão do solo e ao processo de arenização. As atividades agrícolas desenvolvidas na área não consideram as aptidões e restrições agrícolas, e a maioria delas ocorre de forma predatória. Passivos ambientais em áreas de preservação permanente no entorno de nascente, cursos d'água e reservatórios aumentam a conectividade encosta-rio-reservatório. As áreas com maior passivo ambiental são as de cabeceira de drenagem e canais de baixa ordem (Stralher), estes completamente ignorados no Cadastro Ambiental Rural.

As mudanças no uso e cobertura da terra têm impactado os sistemas terrestres (erosão, arenização, sedimentação) e aquáticos (degradação da qualidade e quantidade da água). A inserção do monocultivo de soja, que utiliza altas doses de fertilizantes e agrotóxicos, e do monocultivo de eucalipto, que também utiliza agrotóxicos e cuja transpiração é muito superior à da vegetação nativa, bem como a aprovação dos sete eixos para a implantação de PCHs, irão pressionar ainda mais os recursos naturais da BHRP e gerar conflitos socioambientais.

#### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro, Processo n. 404996/2021-3.

---

## Referências

- Alvares, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728, 2014. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- ANEEL – Agência Nacional de Energia. *ANEEL e IMASUL aprovam estudos de PCHs que podem gerar R\$ 1 bi em investimentos no MS*. Available on: [http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset\\_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/aneel-e-imasul-aprovam-estudos-de-pchs-que-podem-gerar-r-1-bi-em-investimentos-no-ms/656877?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/aneel-e-imasul-aprovam-estudos-de-pchs-que-podem-gerar-r-1-bi-em-investimentos-no-ms/656877?inheritRedirect=false). Access: Oct 12, 2020.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia. *Download de dados*. Available on: <https://sigel.aneel.gov.br/Down/>. Access: Sep 21, 2021.
- Batezelli, A. Continental systems tracts of the Brazilian Cretaceous Bauru Basin and their relationship with the tectonic and climatic evolution of South America. *Basin Research*, 29(1), 1-25, 2015. doi.org/10.1111/bre.12128
- Batista, P.; Baptista, V.; Wilken, F.; Seufferheld, K.; Quinton, J.; Fiener, P. First evidence of widespread, severe soil erosion underneath centre-pivot irrigation systems. *Social Science Research Network SSRN Electronic*, 2023. doi: 10.2139/ssrn.4377295
- Bigarella, J. J.; Bolsanelo, A.; Leprovost, A. *Rochas do Brasil*. Rio de Janeiro: LTC, 1985.
- Borrelli, P. *et al.* An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8, 1-13, 2017. doi: 10.1038/s41467-017-02142-7
- Brasil. Lei nº. 12.651, de 25 de maio de 2012. Brasília: DOU de 28/05/2012.
- Brückmann, M. *et al.* Extended duration of Paraná volcanism 135-119 Ma. In: Anais do XIV Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos. Cuiabá, May 19-23, 2013.
- Capoane, V. Impactos do período seco e geadas no vigor da vegetação: estudo de caso para a bacia hidrográfica do córrego Guariroba, Campo Grande, Mato Grosso do Sul. *Revista Cerrados*, 20, 221-241, 2022. doi: 10.46551/rc24482692202225
- Capoane, V. Mapeamento dos pequenos reservatórios e análise dos impactos ambientais associados na bacia hidrográfica do córrego Guariroba, Campo Grande-MS. *GEO*, 39, 1-23, 2021. doi: 10.12957/geouerj.2021.51688
- Curcio, G. R. Solos desenvolvidos sobre o arenito caiua: potencialidades e riscos. In: V Reunião Paranaense de Ciências do Solo. II Simpósio Brasileiro de Solos Arenosos, 2017, Maringá. Livro eletrônico. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. p. 20-22.
- ESRI – Environmental Systems Research Institute. *ArcGIS Desktop, version 10.8.2*. Licença pessoal.
- Pedron, F. A.; Dalmolin, R. S. D. (Org.). *Solos arenosos do bioma Pampa brasileiro*. Santa Maria: Editora UFSM, 2019.
- Fernandes, L. A. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1.000.000. *Boletim Paranaense de Geociências*, (55), 53-66, 2004.
- Fernandes, L. A.; Coimbra, A. M. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68(2), 195-206, 1996.
- Fernandes, L. A.; Coimbra, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). *Revista Brasileira de Geociências*, 30(4), 717-728, 2000. doi: 10.25249/0375-7536.2000304717728
- Fernandes, L. A.; Coimbra, A. M.; Brandt Neto, M. Silicificação hidrotermal neocretácea na porção meridional da Bacia Bauru. *Revista do Instituto Geológico*, 14(2), 19-26, 1993. doi: 10.5935/0100-929X.19930007
- Freitas, R. O. Geologia e petrologia da Formação Caiua no estado de São Paulo. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico. *Boletim IGG*, 50, 1973.
- Gravelius, H. *Compendium of hydrology*. Goschen, Berlin: The Gruyter, 1914.
- Hartmann, L. A. A história natural do Grupo Serra Geral desde o Cretáceo até o recente. *Ciência e Natura*, 36, 173-182, 2014. doi: 10.5902/2179460X13236



- Hartmann, L. A. *et al.* U-Pb geochronology of Paraná volcanics combined with trace element geochemistry of the zircon crystals and zircon Hf isotope data. *Journal of South American Earth Sciences*, 89, 219-226, 2019. doi: 10.1016/j.jsames.2018.11.026
- Horton, R. E. Drainage basin characteristics. *Transactions of the American Geophysical Union*, 13, 350-360, 1932. doi: 10.1029/TR013i001p00350
- Horton, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56, 275-370, 1945. doi:10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2
- Imasul – Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. *Ação integrada do Imasul e Aneel deve viabilizar investimentos de R\$ 1 bi em MS*. 2019. Available on: <https://www.imasul.ms.gov.br/acao-integrada-do-imasul-e-aneel-deve-viabilizar-investimentos-de-r-1-bi-em-ms/>
- Imhof, E. *Cartographic relief presentation*. Redlands, CA: ESRI Press, 2007.
- Janasi, V. A.; Freitas, V. A.; Heaman, L. H. The onset of flood basalt volcanism, Northern Paraná Basin, Brazil: a precise U-Pb baddeleyite/zircon age for a Chapecó-type dacite. *Earth and Planetary Science Letters*, 302, 147-153, 2011. doi: 10.1016/j.epsl.2010.12.005
- Lacerda Filho, J. V. *et al.* *Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso do Sul - Escala 1:1.000.000*. 2006.
- Lal, R. Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development*, 12(6), 519-539, 2001. doi: 10.1002/ldr.472
- Lal, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304, 1623-1627, 2004. doi: 10.1126/science.109739
- Lepsch, I. F. *et al.* *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso*. Viçosa: SBCC, 2015.
- Licht, O. A. B.; Arioli, E. E. Statistic behavior of major and minor elements in basic, intermediate and acidic rocks of the Serra Geral Formation and Arapey Group, Paraná Large Igneous Province, South America. *Revista Pesquisas em Geociências*, 39, 247-267, 2012.
- Lima, G. F. C. A institucionalização das políticas e da gestão ambiental no Brasil: avanços, obstáculos e contradições. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 23, 121-132, 2011.
- Machado, F. B. *et al.* Geologia e litogeoquímica da formação serra geral nos estados de mato grosso e mato grosso do sul. *Geociências*, 28(4), 523-540, 2009.
- Machado, F. B. *et al.* Volcanological aspects of the northwest region of Paraná continental flood basalts (Brazil). *Solid Earth*, 6, 227-241, 2015. doi: 10.5194/se-6-227-2015
- MapBioma. Coleção 6. *Uso e cobertura do solo - período de 1985 - 2021*. Available on: <https://plataforma.mapbiomas.org/>. Access: Jan 03, 2023
- Mato Grosso do Sul. *Decreto nº 13.977, de 5 de junho de 2014*. Dispõe sobre o Cadastro Ambiental Rural de Mato Grosso do Sul; sobre o Programa MS Mais Sustentável, e dá outras providências. Campo Grande: DOEMS de 06/06/2014.
- Melton, M. A. *An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology*. Project NR 389-042, Tech. Rept. 11, Columbia University, Department of Geology, ONR, Geography Branch, New York, 1957.
- Miller, V. C. *A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristic in the Clinch, Mountain area, Verdinia and Tennesser*. Project NR 389-042, Tech. Rept. 3. Columbia University, Department of Geology, ONR, Geography Branch, New York. Patton. 1953.
- Montgomery, D. R. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 13268-13272, 2007. doi: 10.1073/pnas.0611508104
- Moran, E. F. *et al.* Sustainable hydropower in the 21st century. *PNAS*, 115(47), 1891-11898, 2018. doi: 10.1073/pnas.1809426115
- Morgan, R. P. C. *Soil erosion and conservation*. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.
- Nardoque, S. A questão agrária e indígena em Mato Grosso do Sul. *Boletim Dataluta*, Presidente Prudente, 97,

2-10, 2016.

Nkonya, E.; Mirzabaev, A.; Von Braun, J. Economics of land degradation and improvement: an introduction and overview. In: Nkonya E.; Mirzabaev A.; Von Braun J. (Eds). *Economics of land degradation and improvement - a global assessment for sustainable development*. Springer, Cham, 2016. Available on: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-319-19168-3.pdf>

Pedron, F. A.; Dalmolin, R. S. D.; Flores, C. A. Gênese e morfologia dos solos arenosos do Bioma Pampa. In: Pedron, F. A.; Dalmolin, R. S. D. (Orgs.). *Solos arenosos do bioma Pampa brasileiro*. Santa Maria: Editora UFSM, 2019. p. 51-95.

Pimentel, D.; Burgess, M. Soil erosion threatens food production. *Agriculture*, 3, 443-463, 2013. doi: 10.3390/agriculture3030443

PIN – Portal de Informações e Geoposicionamento de Mato Grosso do Sul. *Galeria para PINMS*. Available on: <https://www.pinms.ms.gov.br/portal/home/gallery.view=grid&sortOrder=asc&sortField=title>

Pinto, V. M. *et al.* Zircon U–Pb geochronology from the Paraná bimodal volcanic province support a brief eruptive cycle at ~135 Ma. *Chemical Geology*, 281, 93-102, 2011. doi: 10.1016/j.chemgeo.2010.11.031

Phocaides, A. *Technical handbook on pressurized irrigation techniques*. Rome: FAO, 2000.

Poesen, J. Soil erosion in the Anthropocene: research needs. *Earth surface processes and landforms*, 84, 64-84, 2018. doi: 10.1002/esp.4250

Sano, E. E. *et al.* Cerrado ecoregions: a spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. *Journal of Environmental Management*, 232, 818-828, 2019. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.11.108

Schumm, S. A. Evolution of drainage system and slope in badlands of Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*, 67(5), 597-646, 1956. doi:10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2

Schumm, S. A. Sinuosity of alluvial rivers of Great Plains. *Geological Society of America Bulletin*, 74(9), 1089-1100,

1963. doi:10.1130/0016-7606(1963)74[1089:SOAROT]2.0.CO;2

Silva, A. J. P. *et al.* sedimentares Paleozóicas e Mesozoóicas interiores. In: Bizzi, L. A. *et al.* (Orgs.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. Brasília: CPRM, 2003. p. 55-85.

Souza, C. M. *et al.* Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, 12(2735), 1-27, 2020. doi: 10.3390/rs1212735

Strahler, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *GSA Bulletin*, 63(11), 1117-1142, 1952. doi:10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2

Strahler, A. N. Quantitative slope analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 67, 571-596, 1956. doi:10.1130/0016-7606(1956)67[571:QSA]2.0.CO;2

Strahler, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: Chow, V. (Ed.). *Handbook of applied hydrology*. New York: McGraw-Hill Book Co, 1964.

Suertegaray, D. M. A. *A trajetória da natureza: um estudo geomorfológico sobre as areias de Quaraí*, RS. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

Theodorovicz, A. M. G.; Theodorovicz, A. *Geodiversidade do Estado de Mato Grosso do Sul*. São Paulo: CPRM, 2010.

Tinós, T. M. *et al.* Técnicas de visualização de modelos digitais de elevação para o reconhecimento de elementos de análise do relevo. *Geociências*, 33(2), 2014.

Tisott, S. T.; Schmidt, V.; Waquil, P. D. Atividade florestal e o desenvolvimento socioeconômico em Três Lagoas e Região uma análise baseada na abordagem de cluster. *Desenvolvimento em Questão*, 15(38), 228-260, 2017. doi: 10.21527/2237-6453.2017.38.228-260

Van Oost, K. *et al.* The impact of agricultural soil erosion on the global carbon cycle. *Science*, 318, 626-629, 2007. doi: 10.1126/science.1145724

- 
- Vieira Neto, J. A urbanização da região centro-oeste brasileira. *Espaço em Revista*, 10, 2008.
- Walling, D. E. The evolution of sediment source fingerprinting investigations in fluvial systems. *Journal of Soils and Sediments*, 13, 1658-1675, 2013. doi: 10.1007/s11368-013-0767-2
- Wildner, W. *et al.* *Geologia e Recursos Minerais do Sudoeste do Estado do Paraná*. Convênio CPRM/MINEROPAR, Brasília, Distrito Federal, 2006.
- Williams, M. *Deforesting the Earth: from prehistory to global crisis*. The University of Chicago Press, Chicago, London, 2003.
- WWF – World Wide Fund for Nature. *Brasil perde 15% de superfície de água desde os anos 1990*. 2021. Available on: <https://www.wwf.org.br/?79608/brasil-perde-15-porcento-de-superficie-de-agua-desde-o-comeco-dos-anos-1990#:~:text=Os%20dados%20indicam%20uma%20clara,todos%20os%20biomas%20do%20Pa%C3%ADs.&text=A%20superf%C3%ADcie%20coberta%20por%20%C3%A1gua,estado%20do%20Rio%20de%20Janeiro>
- Zăvoianu, I. Formation of channel networks. *Developments in Water Science*, 20, 26-38, 1985. doi: 10.1016/S0167-5648(08)70414-3