



Abordagem morfoopedológica para diagnóstico e controle de processos erosivos

doi: 10.4136/ambi-agua.1007

**Thiago de Oliveira Faria^{1*}; Antonio Brandt Vecchiato¹;
Fernando Ximenes de Tavares Salomão¹; Walter Alves dos Santos Jr²**

¹Universidade Federal de Mato Grosso - Cuiabá, Mato Grosso, Brasil
Departamento de Geologia Geral

²FLORAMAP - Projetos e Consultoria Ambiental - Cuiabá, Mato Grosso, Brasil

*Autor correspondente: e-mail: thiago.geologo@gmail.com,
antoniobrandtvecchiato@gmail.com, ximenes.salomao@gmail.com,
waleli.geologo@gmail.com

RESUMO

Este trabalho foi baseado na abordagem morfoopedológica aplicada à sub-bacia do rio do Sapo, com o objetivo de gerar subsídios para a gestão territorial da bacia visando à conservação do solo e água. A concepção de compartimento morfoopedológico considera unidades homogêneas do terreno com base no solo, relevo e substrato geológico. Foram realizados três mapeamentos temáticos para a caracterização morfoopedológica na escala 1:50.000, e, posteriormente, aplicadas técnicas de análise espacial em ambiente SIG, para a delimitação dos compartimentos morfoopedológicos levando-se em consideração o funcionamento hídrico de vertentes. Como resultado, foram identificados 11 compartimentos do meio físico com características diferentes. Constatou-se predomínio de terrenos relativamente suaves e formados por solos de natureza arenosa em 76,41% da área de estudo, representados pelos compartimentos morfoopedológicos MP-06 e MP-08. Estas duas unidades e o compartimento MP-10 constituído por Neossolo Quartzarênico em anfiteatros erosivos de cabeceira de drenagem, com as rampas coluvionadas e depósitos de tálus do MP-07, juntamente com as médias e baixas vertentes das colinas médias do MP-05, constituem as regiões mais vulneráveis aos processos erosivos. Especialmente nos fundos de vales fluviais do MP-05 e MP-06 e cabeceiras de drenagens se identificam as ocorrências erosivas com impactos diretos nos solos e água da bacia, resultante principalmente de assoreamento, perdas progressivas de hidromorfismo e rebaixamento do nível d'água. Observa-se assim, especialmente para as áreas de maiores fragilidades, a necessidade de medidas de controle preventivo de erosões.

Palavras-chave: Abordagem morfoopedológica, vulnerabilidade aos processos erosivos, conservação do solo e água.

Morphopedologic approach for diagnosis and control of erosion

ABSTRACT

This paper describes a morphopedological approach applied to the Sapo River sub-basin to support territorial management for soil and water conservation. The approach follows the conception of the morphopedological compartment presented by Salomão (1994), which considers terrain homogenous units based on soil, relief and geological substrate. Three thematic maps of 1:50,000 scale were made to characterize the

morphopedology. Afterwards, spatial analyses techniques were developed in GIS to outline the morphopedological compartments considering the hydraulic functions of the relief inclination. As a result, 11 compartments of the physical environment with specific characteristics have been identified. Relatively smooth terrains predominated, formed by sandy soils in 76.41% of the studied area, represented by the MP-06 and MP-08 morphopedological compartments. These two units, together with the Quartzarenic Neosol, the MP-10 compartment with erosive amphitheaters of drainage head waters, the colluvial slopes and slope talus from the MP-07, and the median and low mountain sides of median hills of the MP-05 compartment, constitute the regions most vulnerable to erosion. Erosion occurs predominantly at the bottom of fluvial valleys from MP-05 and MP-06 and at drainage head waters, resulting in direct impacts on soil and waters of the basin due to silt build-up, hydromorphism losses and decrease of the water level. It was concluded that preventive actions are necessary to control erosion, especially in the most fragile areas.

Keywords: Approach morphopedological, vulnerability to erosion, soil conservation and water.

1. INTRODUÇÃO

A concepção atualmente estabelecida da abordagem morfopedológica, evolui de estudos adotados por pesquisadores pertencentes principalmente ao campo da geografia física, que nas últimas décadas desenvolveram estudos na paisagem sob uma ótica mais integrada do espaço geográfico, com destaque no país para a publicação do livro *Ecodinâmica*, publicado pelo IBGE em 1977, de autoria do pesquisador francês J. Tricart (Tricart, 1977). Nesta publicação, Tricart fundamenta o conceito de Unidades Ecodinâmicas e propõe a compartimentação da paisagem, enfatizando uma abordagem integrada que ressalte as relações do meio físico/biótico com as atividades antropogênicas.

Tricart e Kilian (1979) apresentaram uma abordagem acerca do contexto da morfopedologia, ao estabelecerem compartimentos onde porções dos terrenos sejam constituídas por particulares unidades geomorfológicas e de solos, definidas a partir de processos complexos e associados de morfogênese e pedogênese.

Salomão et al. (1981), abordando o estudo do meio físico como ferramenta para identificação de áreas favoráveis à irrigação, realizam uma análise integrada da paisagem, na qual consideram a interação entre o substrato geológico, relevo e solos.

Em estudo sobre o funcionamento hídrico dos terrenos e os processos erosivos lineares no município de Bauru, no estado de São Paulo, Salomão (1994) se baseia na proposta de Tricart e Killian (1979) para realizar uma abordagem morfopedológica no sentido de identificar compartimentos homogêneos do terreno, em relação não apenas aos fatores de relevo e solo, mas considerando também a influência do substrato geológico.

Um artigo publicado por Castro e Salomão (2000) estabelece as bases metodológicas para um roteiro de trabalho de abordagem morfopedológica. Neste sentido, os autores conceituam compartimentos morfopedológicos como fisionomias (externalidade) do meio físico biótico e abiótico que revelam um tipo reconhecível e delimitável de porções do relevo, suportado por organizações/estruturas litológicas e pedológicas (internalidade), cujos atributos e funcionamentos refletem consonância histórico-evolutiva, no tempo e no espaço.

Dentre os variados processos do meio físico que predominam na dinâmica externa de regiões de clima tropical, os processos erosivos acelerados constituem um dos mais impactantes e com uma atuação das mais frequentes. Além de provocar perdas de um recurso natural que demanda enorme tempo para a formação, que corresponde ao solo, as

erosões também conduzem à degradação dos recursos hídricos, devido ao assoreamento ou até mesmo conduzindo à diminuição do gradiente hidráulico.

Desta forma, o levantamento de medidas preventivas e corretivas dos processos erosivos assume destacada importância na preservação dos recursos hídricos e ambientais como um todo. Neste contexto, a morfopedologia, enquanto um método de pesquisa aplicado, tem se destacado como uma ferramenta bastante útil para auxiliar nas etapas de compreensão, prevenção e correção dos processos erosivos, que tanto tem degradado os solos brasileiros e impactando muitos dos cursos d'água no país.

Particularmente em relação ao estado de Mato Grosso, e especialmente nas áreas de domínio do Cerrado, os processos erosivos tem se manifestado em diversas cidades e em áreas rurais, ocasionando perdas ambientais e prejuízos econômicos. Em relação aos processos erosivos em áreas rurais associados à atividade agropecuária, as suas causas são comumente em razão de uso do solo sem considerar critérios técnicos inerentes ao meio físico, ocasionando, por exemplo, a abertura de estradas rurais com traçado e manutenções inadequadas, a ausência de necessárias práticas conservacionistas no plantio de certas culturas, como a adoção de terraceamento, além da falta de planejamento e soluções técnicas adequadas para dessedentação de animais em áreas de pastagem.

Em Mato Grosso, observa-se também certa carência de dados ambientais básicos, especialmente as do meio físico, em escala apropriada de detalhe e semi-detalhe, que serviria como importante subsídio para interpretação do funcionamento hídrico de vertentes. O que resulta na necessidade de adoção de metodologias apropriadas para o estudo das erosões que considerem este contexto.

Nesse sentido, se constata em diversos trabalhos desenvolvidos no estado, que a aplicação da abordagem morfopedológica no diagnóstico e controle de processos erosivos tem se mostrado bastante eficaz no sentido de contornar a dificuldade causada pela limitada existência de dados secundários.

Dentre os trabalhos publicados que utilizam a morfopedologia em Mato Grosso, pode se destacar Lopes et al. (2001) que aplicam a morfopedologia no diagnóstico e controle da erosão como subsídio ao planejamento ambiental de municípios da Amazônia Legal; Ribeiro e Salomão (2003), que aplicam a abordagem morfopedológica ao diagnóstico e prevenção de processos erosivos na bacia do alto rio da Casca; Salomão et al. (2012), que utilizam a morfopedologia como subsídio para elaboração da carta geotécnica do perímetro urbano do município de Chapada dos Guimarães; dentre outros.

Essas publicações evidenciam também que o atual estudo na bacia do Sapo, se utilizando da análise integrada de paisagens por meio da morfopedologia, pode ser útil para a elaboração de um plano de gestão de bacia, assim como servir de referência metodológica para outros estudos envolvendo o meio físico na região.

Desta forma, pretende-se neste trabalho, realizar uma abordagem morfopedológica voltada ao estudo dos processos erosivos na sub-bacia do Sapo, buscando ressaltar as suas relações e interferências nos solos e nas águas, a fim de subsidiar medidas para proteção dos mesmos.

1.1. Área de estudo

A área objeto de estudo corresponde à sub-bacia do rio do Sapo (Figura 1), contribuinte da bacia do rio Sepotuba, que por sua vez integra a Região Hidrográfica Nacional da bacia do rio Paraguai. A sub-bacia de estudo apresenta uma área total de 573,75 km², e sua maior parte está inserida no município de Tangará da Serra, com restrito trecho pertencente aos municípios de Campo Novo dos Parecis e Nova Marilândia, região sudoeste de Mato Grosso.

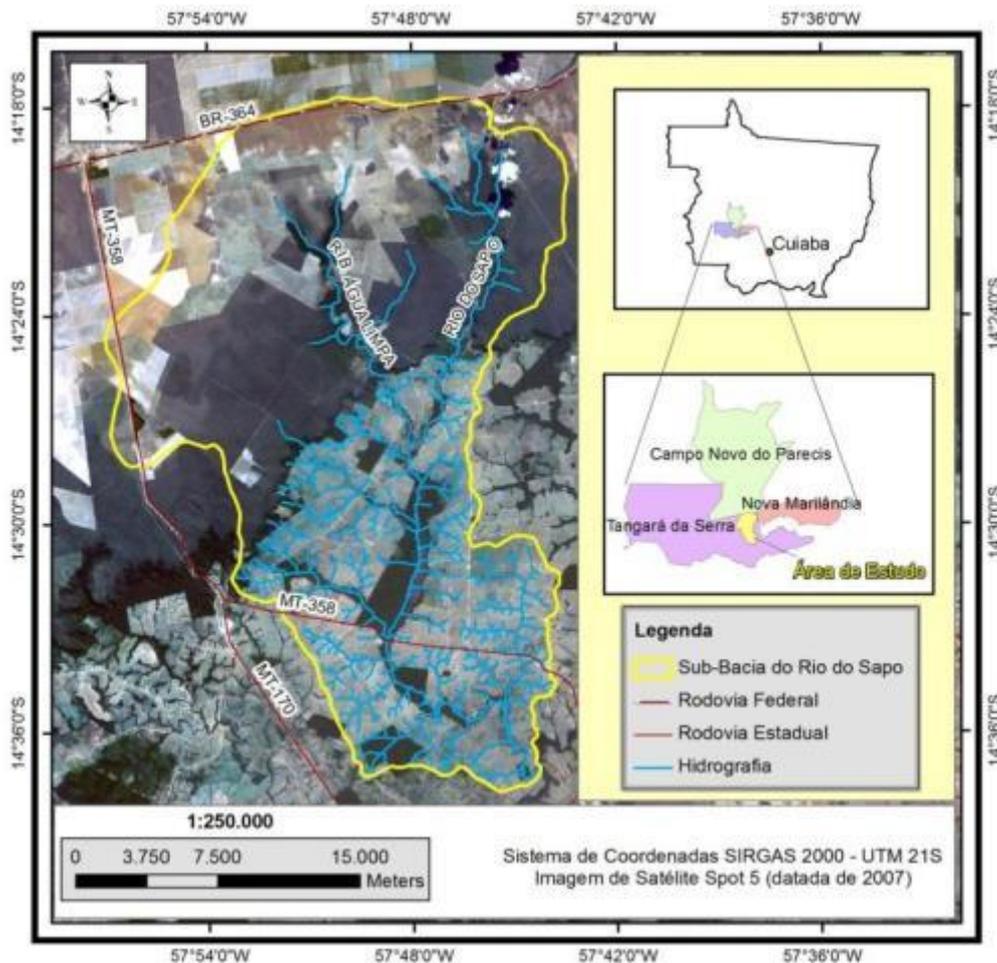


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Compartimentação morfoopedológica

Para a compartimentação morfoopedológica em áreas relativamente homogêneas, faz-se necessário, numa fase inicial dos trabalhos, a elaboração numa mesma escala de cartas temáticas envolvendo o substrato geológico, as formas e feições do relevo e as classes pedológicas (Salomão, 1994; Castro e Salomão, 2000). O que torna necessário, quando não disponível, o levantamento dos produtos cartográficos relacionados aos três temas condicionantes da morfoopedologia, padronizados em uma mesma escala de mapeamento.

Assim, realizou-se inicialmente um levantamento de campo preliminar, por meio de caminhamento, com descrição de pontos de exposição de solo e de duas trincheiras abertas na área de estudo, visando identificar as respectivas classes pedológicas. Ainda neste primeiro levantamento, também efetuou a descrição das formas de relevo observado na bacia de estudo, e a interpretação preliminar das litologias presentes como substrato geológico. Posteriormente desenvolveu-se uma etapa de gabinete onde se efetuou a análise das interações entre os temas, com uso de técnica de sobreposição cartográfica dos três mapas temáticos, realizado em ambiente SIG na plataforma *ArcGIS 9.3*, permitindo, desta maneira, reconhecer preliminarmente as unidades homogêneas em relação aos três temas do meio físico, com base principalmente na interpretação do funcionamento hídrico de vertentes.

No mapa morfoopedológico preliminar, foram definidos para cada compartimento morfoopedológico, os respectivos sistemas pedológicos presentes no mesmo, cujo

entendimento adotado segue o de Salomão (1994), que conceitua sistema pedológico como diferenciações lateral e vertical de solos que se repetem sistematicamente na paisagem, constituindo a cobertura pedológica marcante nas vertentes dos compartimentos. Os sistemas pedológicos foram identificados como a associação de classes pedológicas característica em cada compartimento.

Após os resultados iniciais da compartimentação morfopedológica, realizou-se novo levantamento em campo visando à checagem dos compartimentos identificados preliminarmente, de modo a obter a delimitação cartográfica definitiva dos compartimentos morfopedológicos. Nesta etapa de checagem em campo, além do mapeamento por caminhamento, foram realizadas investigações do solo com base em 17 sondagens a trado.

Com os dados levantados na etapa de checagem, desenvolve-se nova etapa de trabalho em gabinete, cuja análise integrada dos temas levantados possibilitou a interpretação do funcionamento hídrico superficial e subsuperficial do terreno, e com base nesta interpretação, gerar o mapa morfopedológico final, em escala de 1:50.000. Para cada compartimento morfopedológico definido, se obteve a interpretação da suscetibilidade aos processos erosivos laminar e linear.

2.2. Caracterização dos solos

O mapeamento dos solos foi desenvolvido com base em trabalhos de campo, realizado em escala de 1:50.000, onde primeiramente se efetuou análises e descrições morfológicas em exposições de perfis de solo verificados na área da bacia, assim como de duas trincheiras encontradas já abertas na região norte da área de pesquisa (Figuras 2 a 4). Esta primeira etapa referida, em que desenvolveu caminhamento a campo, permitiu uma individualização preliminar das unidades de solos, contribuída pela grande exposição superficial dos solos na sub-bacia. Em uma segunda etapa de campo realizou-se 17 sondagens a trado visando uma melhor definição e delimitação dos tipos pedológicos da bacia de estudo, completando a investigação de solo realizada.

Este mapeamento baseou-se em conceitos presentes no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2009) da Embrapa (Embrapa, 2009), que auxiliou na definição das classes de solos, em nível hierárquico de segundo grau categórico, bem como serviu de base para seleção do padrão de cores e convenções cartográficas para apresentação do mapa temático.

2.3. Caracterização das formas de relevo

Os trabalhos consistiram inicialmente na interpretação preliminar do relevo, com base na análise de MDT (Modelo Digital de Terreno) elaborado a partir de imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), o que possibilitou delimitar de forma aproximada as unidades geomorfológicas e as principais feições homogêneas do relevo, que auxiliaram nos trabalhos de campo. Para elaboração do MDT, foi utilizado o software *ArcGis 9.3* com o uso da função “Topo to Raster”.

Foi elaborado mapa com curvas de nível obtidas por meio de processamento de imagem SRTM, com uso da função “Contour” do software *ArcGis 9.3*, e interpoladas com equidistância em 10 m. As curvas de nível e o MDT produzido auxiliaram os trabalhos de campo voltados ao mapeamento das formas de relevo observadas na bacia. A identificação em campo de regiões contendo particulares formas de relevo foi norteada por parâmetros morfométricos, como amplitude e gradiente topográfico, conforme apresentado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (1981, apud Moreira e Pires Neto, 1998), exibido na Tabela 1, e que foi adaptado neste atual trabalho, especialmente com a inclusão de forma de relevo plano e na descrição de formas que envolveu maior detalhamento.

Tabela 1. Classificação das formas de relevo.

| Amplitude local (m) | Gradiente predominante | Formas de relevo |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| <100 | <1% | Plano |
| | 1 a 5% | Rampa |
| | 5 a 10% | Colina |
| | >15% | Morrote |
| 100 a 300 | 5 a 15% | Morro com encosta suave |
| | >15% | Morro |
| >300 | >15% | Montanha |

Fonte: IPT (1981, apud Moreira e Pires Neto, 1998) modificado.

2.4. Caracterização da geologia

No estudo da geologia, a abordagem morfoopedológica exige prioritariamente a caracterização das litologias presentes na área de estudo, em detrimento ao mapeamento geológico convencional que costuma identificar as unidades litoestratigráficas, que comumente reúnem diversas litologias com diferentes condicionantes geológico-geotécnicos.

Para caracterização da geologia e confecção do mapa litológico, realizou-se inicialmente um levantamento de publicações de trabalhos que envolvem a área de estudo, onde se considerou no contexto geológico regional as publicações de Barros et al. (1982) e Lacerda Filho et al. (2004). A consulta de trabalhos publicados foi somada a etapa de campo, em que realizou caminhamentos pela área de estudo com intuito de reconhecer afloramentos rochosos e possibilitar a elaboração do mapa de litologias em escala de 1:50.000.

Na caracterização mais detalhada das unidades litológicas, além das observações efetuadas a campo, teve como auxílio as publicações em escala maiores, em comparação com os trabalhos consultados para compreensão do contexto geológico regional. Nesse sentido, destacam-se as publicações de Barros et al. (2006), que estudaram os Basaltos Tapirapuã na região de Tangará da Serra e, Weska (2006), que realizou um estudo sintetizando o cretáceo em Mato Grosso.

2.5. Sistemas pedológicos e suas representações

A definição dos sistemas pedológicos foi desenvolvida a partir do mapeamento dos solos, obtidos com a descrição das características morfológicas das exposições de cobertura pedológica. Os sistemas pedológicos foram representados em vertentes características de cada compartimento morfoopedológico, sendo escolhida como a vertente característica, a que mais predomina no compartimento.

Observa-se que tanto nos trabalhos envolvendo a morfoopedologia quanto em estudos relacionados a solos de forma geral, é muito comum a representação gráfica de sistemas pedológicos nas vertentes na forma bidimensional com base nas topossequências.

Com o avanço das geotecnologias nos últimos anos, atualmente se tem disponíveis recursos computacionais gráficos capazes de gerar produtos que proporcione novas formas de representação dos sistemas pedológicos.

Neste trabalho, se utiliza ferramentas em ambiente SIG para representar tridimensionalmente os principais sistemas pedológicos e compartimentos morfoopedológicos definidos na área de estudo.

Com base no Modelo Digital de Elevação (MDE) proveniente da missão espacial Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com resolução espacial de 90X90 m, se executou técnicas de geoprocessamento na plataforma *ArcGIS 9.3* com uso frequente dos aplicativos *Arcmap* e *ArcScene*, e das extensões *Spatial Analyst* e *3D Analyst*.

A sequência de atividades para gerar as representações em 3D foi basicamente a obtenção de imagem SRTM da área de estudo, no site da Embrapa (<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>); o uso da ferramenta “Contour” para geração de curvas de nível; uma breve edição das vetorizações das curvas de nível no *Arcmap*, com intuito de corrigir algumas imperfeições e adequá-las melhor; o uso da ferramenta “Create TIN from Features”, para gerar um arquivo Triangular Irregular Network (TIN); a manipulação do arquivo TIN no aplicativo *ArcScene*, de modo a visualizar tridimensionalmente a representação do MDE da área de estudo, e com isso obter a espacialização em 3D do terreno. Sendo aplicado um exagero vertical de oito vezes na representação tridimensional, adotado pelo fato de que a partir do método de tentativas, observou-se que tal exagero demonstra bem as características geomorfológicas observadas na bacia de estudo, e que um exagero maior distorceria demasiadamente a representação do relevo, realçando muito o aspecto acidentado do terreno.

2.6. Interpretação do funcionamento hídrico de vertentes e vulnerabilidade a processos erosivos

A interpretação do funcionamento hídrico de vertentes dos compartimentos morfoopedológicos, se desenvolveu por meio de interpretação qualitativa de fatores geomorfológicos, geológicos e de solos, que impõe aos terrenos menores ou maiores capacidades de infiltração ou escoamento d'água. Desse modo, os resultados desta etapa auxiliaram na definição da vulnerabilidade a processos erosivos lineares dos compartimentos.

O estudo da suscetibilidade dos compartimentos morfoopedológicos frente aos processos erosivos especificamente do tipo laminar, foi consolidado com base no roteiro metodológico apresentado por Salomão (2010).

Conforme a metodologia citada se considera a erodibilidade dos solos e a declividade das encostas como fatores decisivos na determinação das classes de suscetibilidade à erosão laminar, e também a erosividade e o comprimento das encostas como parâmetros complementares.

Destaca-se que se efetuou uma compatibilização das classes do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (Embrapa, 2009), adotado neste trabalho, com as classes de solos presentes na tabela de erodibilidade apresentada em Salomão (2010).

Para os solos mapeados neste trabalho como Argissolos, conforme EMBRAPA (2009) convencionou ser mais apropriado enquadrar o mesmo na classe II de erodibilidade, em que se tem presente os Podzólicos não abruptos, textura média/argilosa e textura média, conforme tabela proposta por Salomão (2010).

Desta forma, na conjugação das classes de erodibilidade com as classes de declividade dos terrenos, conforme a metodologia do autor citado, torna-se possível determinar as cinco classes de suscetibilidade à erosão laminar, conforme apresentado no Quadro 1.

Para determinação das classes de suscetibilidade à erosão linear, também adotou-se os critérios proposto por Salomão (2010). O autor menciona que para determinação da vulnerabilidade a erosão linear, se faz necessário desenvolver uma análise qualitativa e integrada da paisagem, considerando principalmente os fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos.

Em estudo realizado no estado de São Paulo, o Departamento de Águas e Energia Elétrica/IPT (1989, apud Salomão, 2010) estabelece cinco classes de suscetibilidade à

erosão linear (Quadro 2), cada uma das quais apresentando critérios definidos, e que foi utilizado como referência neste trabalho, sendo adaptado com a inclusão da classe pouco suscetível a ravinas e a boçorocas, a fim de se melhor aplicar no contexto da região estudada.

Quadro 1. Classes de suscetibilidade à erosão laminar, com respectivas descrições resumidas.

| Classes de suscetibilidade a erosão laminar | |
|--|---|
| Classe I Extremamente suscetível | Corresponde às classes VII e VIII de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, indicados para preservação ou para reflorestamento. |
| Classe II Muito suscetível | Corresponde à classe VI de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, parcialmente favoráveis à ocupação por pastagens, sendo mais apropriados para reflorestamento. |
| Classe III Moderadamente suscetível | Corresponde à classe IV de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, sendo mais indicados a pastagens e culturas perenes. |
| Classe IV Pouco suscetível | Corresponde à classe III de capacidade de uso das terras, onde os terrenos apresentam problemas complexos de conservação, sendo mais indicados a pastagens e culturas perenes e, eventualmente, a culturas anuais, porém exigindo práticas intensivas mecanizadas de controle de erosão. |
| Classe V Pouco a não suscetível | Corresponde às classes I, II e V de capacidade de uso das terras. A classe I de capacidade de uso corresponde a terrenos sem problemas especiais de conservação, podendo ser utilizados com qualquer tipo de cultura; a classe II corresponde a terrenos com problemas simples de conservação, podendo também ser utilizados com qualquer tipo de cultura, porém exigindo práticas não mecanizadas de controle da erosão; a classe V corresponde a terrenos sem problemas de conservação, mas exigindo técnicas especiais de cultivo, por se constituírem de solos encharcados. |

Fonte: Salomão (2010).

Quadro 2. Classes de suscetibilidade à erosão linear, com critérios resumidos.

| Classes de suscetibilidade a erosão linear | Crítérios resumidos |
|---|--|
| Extremamente suscetíveis a ravinas e boçorocas | Locais com gradientes hidráulicos subterrâneos elevados; áreas de nascente, fundo de vales, cabeceira de drenagem, setores de vertentes com nível d'água do lençol subaflorante. |
| Muito suscetíveis a ravinas e pouco suscetíveis a boçorocas | Áreas com certa declividade, que permita a fácil concentração das águas de escoamento superficial, associadas a solos caracterizados por alto gradiente textural entre os horizontes superiores do perfil. |
| Moderadamente suscetíveis a ravinas e pouco suscetíveis a boçorocas | Áreas de dispersão dos fluxos de água, bem drenadas, e com elevadas permeabilidades até grandes profundidades, facilitando a rápida infiltração das águas de chuva; cobertura pedológica com solos pouco coesos. |
| Suscetíveis a ravinas e não suscetíveis a boçorocas | Áreas favoráveis à concentração dos fluxos de água; cobertura pedológica com profundidades relativamente pequenas e com ausência do lençol freático; terrenos com declividade relativamente elevada. |
| Pouco suscetíveis a ravinas e a boçorocas | Locais relativamente favoráveis a infiltração, com cobertura pedológica apresentando considerável espessura e, de modo geral, com nível d'água profundo. |
| Não suscetíveis a ravinas e a boçorocas | Áreas de agradação constituídas por terrenos com declividade praticamente nula, impossibilitando o escoamento das águas superficiais. |

Fonte: DAEE/IPT (1989, apud Salomão, 2010) modificado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características do meio físico

3.1.1. Solos

Muito embora se tenha identificado diversificados tipos de solos na sub-bacia, se nota ampla ocorrência de solos arenosos, marcado por Neossolo Quartzarênico, sendo que esse tipo pedológico se sobressai praticamente em toda a parte média da bacia e em grande parte do setor alto da bacia. Esta classe de solo se torna ausente apenas em setor posicionado ao extremo norte da bacia, onde ocorre Latossolo e Plintossolo, e no setor da baixa bacia do Sapo, cujo local sofre grande influência de substrato geológico basáltico, resultando em solos com maior predominância de fração argilosa, onde ocorre principalmente Argissolos e Latossolos. Ainda no setor da baixa bacia, se verifica ocorrências de Cambissolo e Neossolo Litólico em vertentes mais acentuadas de colinas.

A Figura 2 representa o mapa de solos elaborado para a sub-bacia do Sapo.

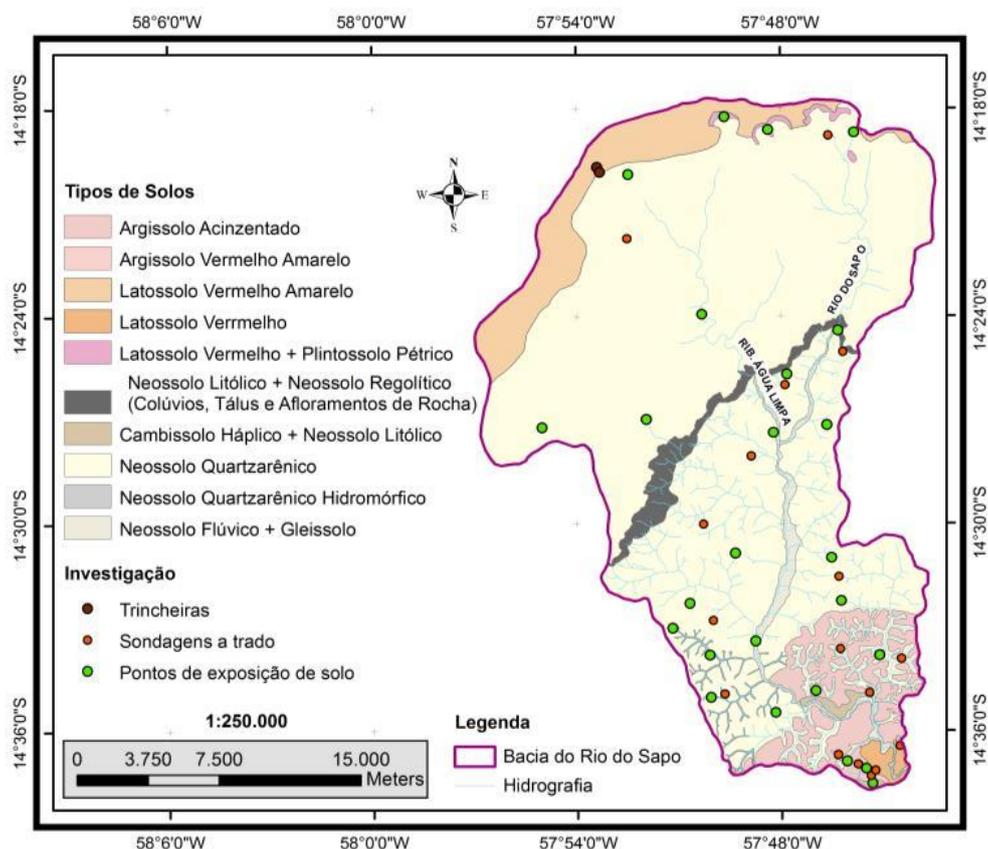


Figura 2. Mapa de solos da sub-bacia do rio do Sapo.

3.1.2. Formas de relevo

Para fins de entendimento do estudo geomorfológico do Planalto dos Parecis, onde se insere a sub-bacia do Sapo, Ross e Santos (1982) propõe a criação de duas subunidades, o Planalto Dissecado dos Parecis e a Chapada dos Parecis. Sendo que o Planalto Dissecado dos Parecis constitui um patamar topograficamente abaixo da Chapada, e que na área de pesquisa constitui toda a porção a jusante da escarpa erosiva. Nesse sentido, a Chapada dos Parecis é considerada como unidade de relevo acima da escarpa pela qual é bordejada.

No mapeamento das formas de relevo, se identificou nove tipos de unidades, com amplo destaque para presença de colinas médias e colinas amplas na região do Planalto

Dissecado dos Parecis, contendo também em trechos de menor extensão nesse setor, colinas amplas e colinas pequenas com superfícies em rampas, além de fundos de vales e planícies fluviais ao longo principalmente do rio do Sapo. E na região da Chapada dos Parecis se destaca uma extensa área de superfícies em rampas, com presença em menor proporção de anfiteatros erosivos de cabeceira, de fundos de vales de drenagens, e de superfícies aplainadas em restrito trecho correspondente ao norte da sub-bacia do Sapo, conforme o mapa de formas de relevo apresentado na Figura 3.

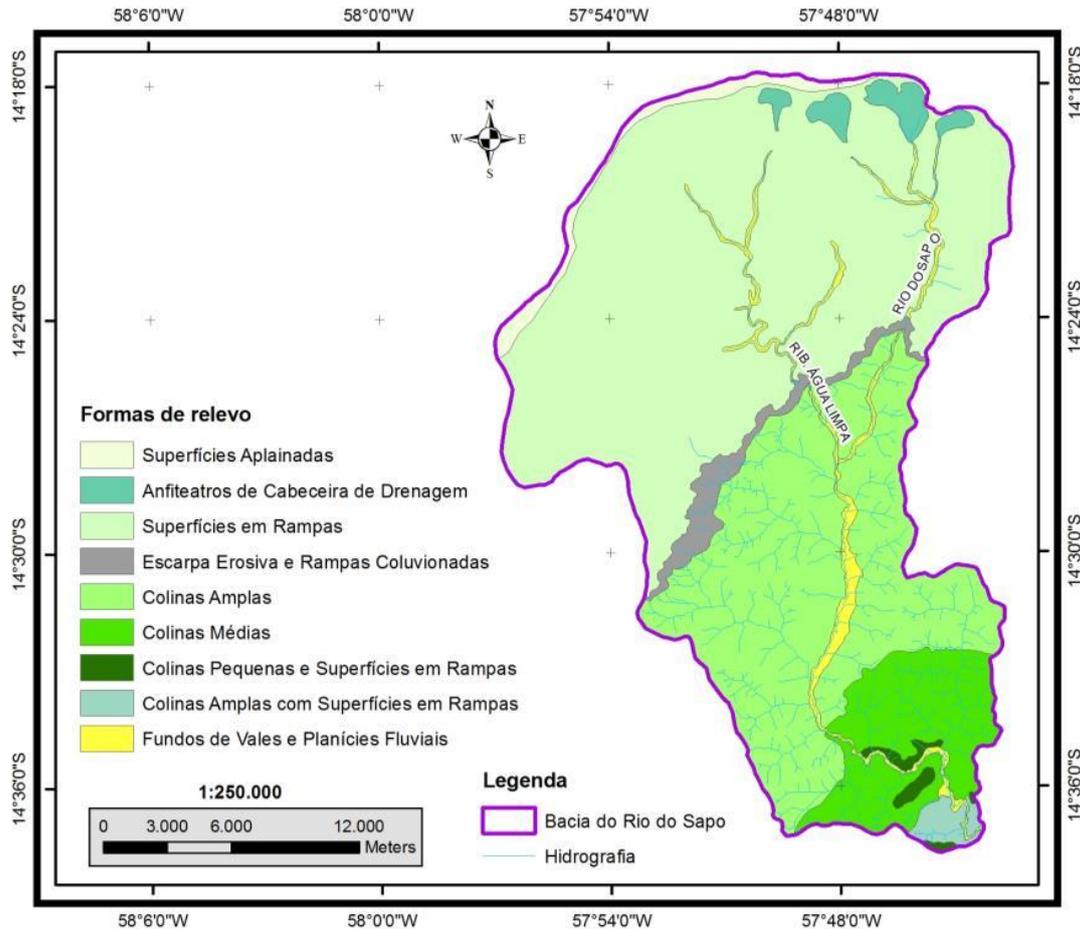


Figura 3. Mapa de formas de relevo da sub-bacia do rio do Sapo.

3.1.3. Geologia

Na bacia do rio do Sapo, existem três unidades litoestratigráficas mapeadas no Projeto do Radambrasil, identificados nas folhas SD. 21 Cuiabá (Barros et al., 1982), e que estão presentes também no trabalho publicado mais recentemente pela CPRM (Lacerda Filho et al., 2004), intitulado Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso. As três unidades em questão se tratam da Formação Salto das Nuvens, Formação Utiriti e de Coberturas Detrito-Lateríticas.

Além das três unidades mencionadas, nos trabalhos realizados a campo na área da bacia foi possível constatar também a ocorrência da Formação Tapirapuã, que apesar de abrangência limitada em termos de área total, exerce forte influência como condicionante morfoopedológico na região de entorno da foz do rio do Sapo.

As rochas basálticas identificadas ocorrem de maneira geral com cor cinza a chumbo, com textura afanítica, de granulação predominantemente fina a muito fina, se apresentando frequentemente como rochas compactas e também estruturadas por amígdalas, vesículas e

fraturas, sendo comum o aparecimento de juntas de contração, que por vezes formam disjunções colunares.

A Formação Salto das Nuvens, litologicamente está representado principalmente por conglomerados petromíticos de matriz argilo-arenosa intercalados por lentes de arenitos vermelhos de granulometria variável desde muito fina a conglomerática. Sobreposto aos conglomerados, em geral ocorre arenito imaturo com estratificação cruzada de médio porte, contendo seixos e calhaus de diversos litótipos (Lacerda Filho et al., 2004).

Com base em trabalhos publicados e em observações de campo, predomina-se na área de pesquisa, como principal substrato rochoso da Formação Utiariti, arenitos com composição predominantemente quartzosa, com limitada presença de matriz e cimento, e de baixa resistência à desagregação. Sendo que a ação do intemperismo ao longo do tempo nessas rochas resultou no aparecimento de extenso manto de alteração de solo arenoso presente em grande parte da bacia.

A seguir é exibida a Figura 4 representando o mapa geológico da área de estudo.

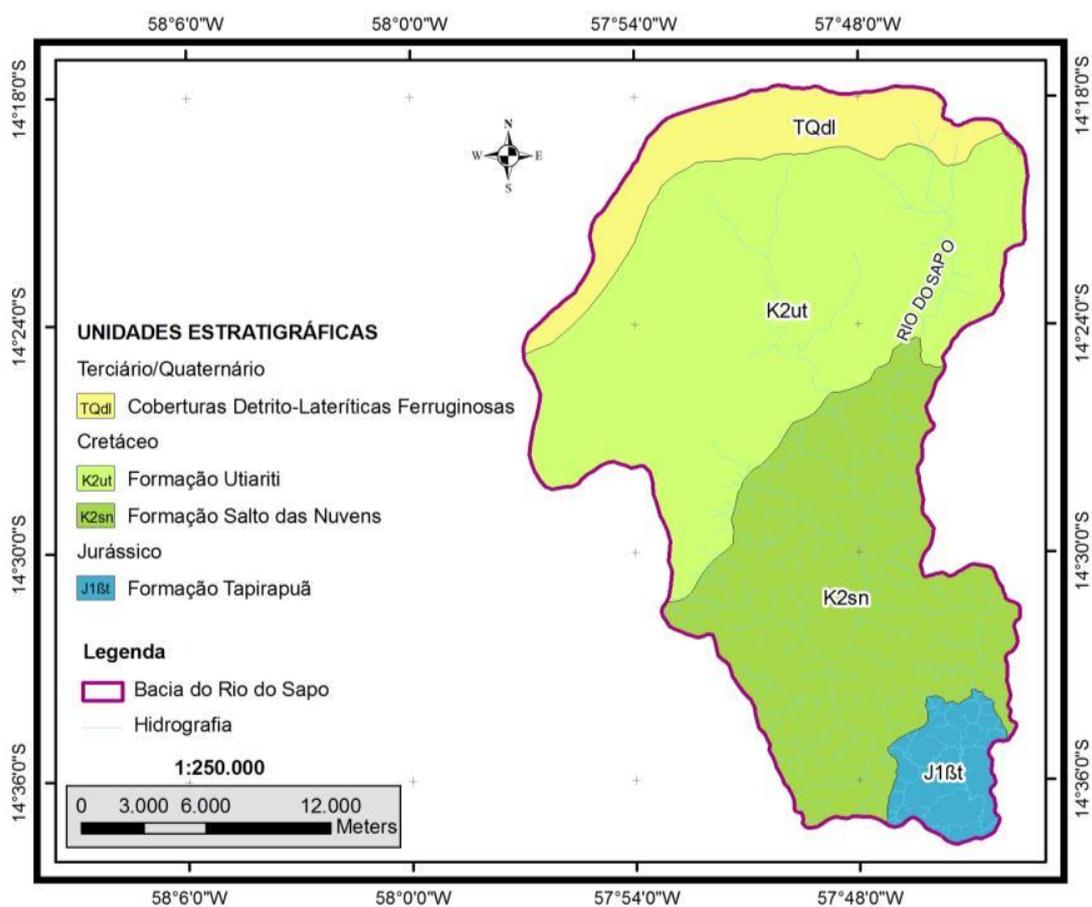


Figura 4. Mapa de litologia da sub-bacia do rio do Sapo.

3.2. Compartimentos morfoopedológicos e vulnerabilidade a processos erosivos

Como produto da abordagem morfoopedológica em questão, se obteve um mapa com 11 compartimentos morfoopedológicos, em que 7 compartimentos integram o Planalto Dissecado dos Parecis, e 4 ocupam área da unidade de Chapada dos Parecis.

O Quadro 3 sintetiza os resultados da abordagem morfoopedológica, ressaltando as características de solo, formas de relevo, geologia, e suscetibilidade à erosão de cada compartimento.

Quadro 3. Síntese da compartimentação morfoopedológica da sub-bacia do Sapo.

| COMPARTIMENTOS | SOLO | FORMAS DE RELEVO | GEOLOGIA | SUSCETIBILIDADE À EROSÃO |
|----------------|--|--|---|--|
| MP-01 | Neossolo Flúvico; Neossolo Quartzarênico Hidromórfico; Gleissolo | Planície Fluvial | Basaltos da Fm. Tapirapuã; Arenitos e Conglomerados do Grupo Parecis | Pouco a não suscetível à erosão laminar; Não suscetível a ravinas e boçorocas |
| MP-02 | Latossolo Vermelho de textura argilosa | Colinas Amplas; Superfícies em Rampas | Basaltos da Fm. Tapirapuã | Pouco a não suscetível à erosão laminar; Pouco suscetível a ravinas e boçorocas |
| MP-03 | Argissolo Vermelho Amarelo | Colinas Amplas; Superfícies em Rampas | Basaltos da Fm. Tapirapuã | Moderadamente suscetível à erosão laminar; Moderadamente suscetível a ravinas e pouco suscetível a boçorocas |
| MP-04 | Cambissolo Háplico e Neossolo Litólico | Colinas Pequenas e Superfícies em Rampas | Basaltos da Fm. Tapirapuã; Arenitos grosseiros e Conglomerados da Fm. Salto das Nuvens | Muito suscetível à erosão laminar; Suscetível a ravinas e não suscetível a boçorocas |
| MP-05 | Argissolo; Neossolo Quartzarênico; Neossolo Quartzarênico Hidromórfico | Colinas Médias | Arenitos e Conglomerados do Grupo Parecis; Basaltos da Fm. Tapirapuã | Nas vertentes: moderadamente (Argissolo) e extremamente (Neos. Quartzarênico) suscetível à erosão laminar, muito suscetível a ravinas e pouco suscetível a boçorocas; Nos fundos de vales: extremamente suscetível a ravinas e boçorocas |
| MP-06 | Neossolo Quartzarênico; Neossolo Quartzarênico Hidromórfico | Colinas Amplas | Arenitos do Grupo Parecis | Nas vertentes: muito suscetível à erosão laminar, moderadamente a muito suscetível a ravinas e pouco suscetível a boçorocas; Nos fundos de vales: extremamente suscetíveis a ravinas e boçorocas |
| MP-07 | Afloramentos de Rocha, Depósitos de Tálus; Colúvios | Escarpas; Vertentes Inclinadas (15 a 30%); Superfícies rampeadas | Arenitos da Fm. Utiariti | Extremamente suscetível à erosão laminar; Muito suscetível a ravinas e pouco suscetível a boçorocas |
| MP-08 | Neossolo Quartzarênico | Superfícies em Rampas | Arenitos da Fm. Utiariti; Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas | Muito suscetível à erosão laminar; Moderadamente suscetível a ravinas e não suscetíveis a boçorocas |
| MP-09 | Latossolo Vermelho Amarelo de textura média | Superfícies em Rampas | Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas | Pouco a não suscetível à erosão laminar; Moderadamente suscetível a ravinas e pouco suscetível a boçorocas |
| MP-10 | Latossolo; Plintossolo Pétrico; Neossolo Quartzarênico | Anfiteatros Erosivos de Cabeceiras de Drenagem | Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas; Arenitos da Fm. Utiariti | Latossolo/Plintossolo: pouco suscetível a erosão laminar, moderadamente suscetível a ravinas e pouco suscetível a boçorocas; Latossolo/Neossolo Quartzarênico: extremamente suscetível à erosão laminar, extremamente suscetível a ravinas e boçorocas |
| MP-11 | Latossolo Vermelho de textura argilosa | Relevo Aplainado | Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas | Pouco a não suscetível à erosão laminar; Pouco suscetível a ravinas e a boçorocas |

O mapa morfoopedológico (Figura 5) exibido abaixo contém os compartimentos representados pela simbologia de MP, seguida de um número atribuído na ordem crescente, no sentido de jusante para montante da bacia.

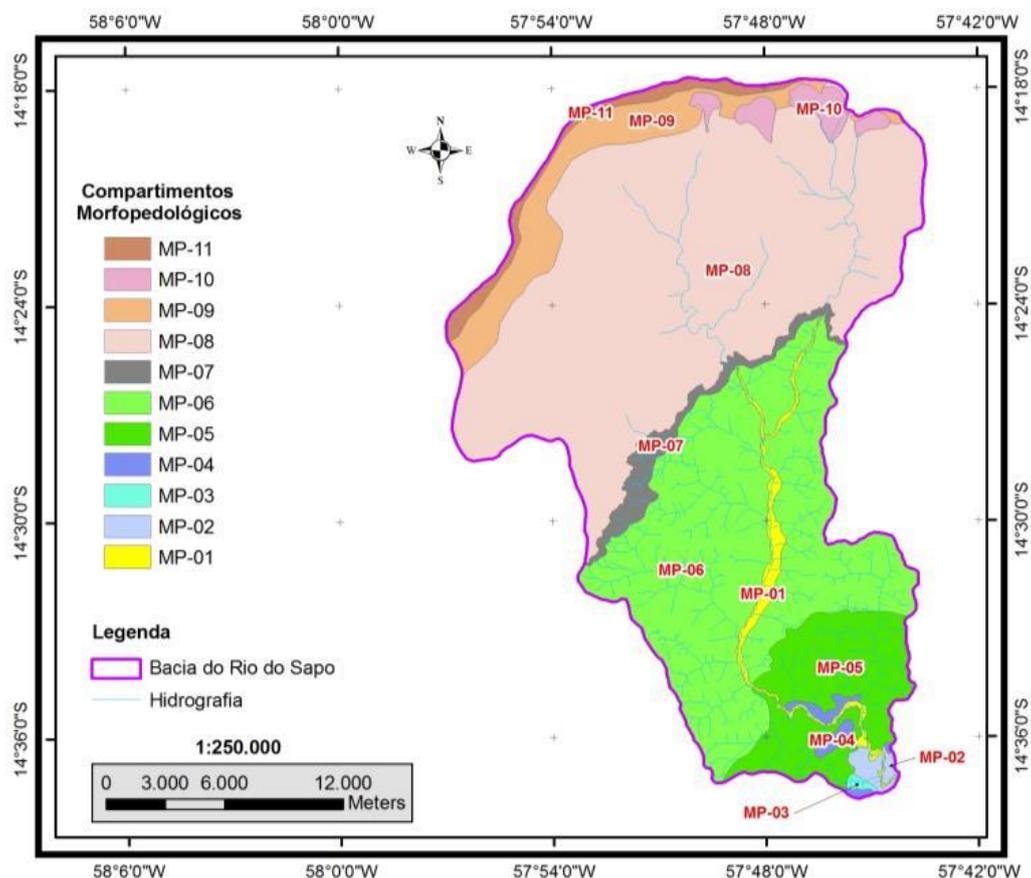


Figura 5. Mapa morfoopedológico da sub-bacia do rio do Sapo.

Como unidades de maior representatividade na área de estudo estão os compartimentos MP-08 e MP-06, que juntos somam cerca de 76,41% da área total. Em contrapartida, as unidades MP-02, MP-03 e MP-04, alcançam menos que 1% da área total cada um. A Tabela 2 contém as porcentagens de cada compartimento em relação a área total da bacia do Sapo.

Tabela 2. Porcentagens das áreas dos compartimentos morfoopedológicos em relação à área total da sub-bacia do Sapo.

| Compartimentos | MP-01 | MP-02 | MP-03 | MP-04 | MP-05 | MP-06 | MP-07 | MP-08 | MP-09 | MP-10 | MP-11 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| % | 1,80 | 0,60 | 0,15 | 0,71 | 8,60 | 29,56 | 1,93 | 46,85 | 6,06 | 1,77 | 1,97 |

Pelas características demonstradas por cada compartimento, os que se apresentam com terrenos de melhor estabilidade e de modo geral com baixa vulnerabilidade a processos erosivos, são os Latossolos de textura argilosa em colinas amplas e superfícies em rampas do MP-02, os Argissolos em colinas amplas e superfícies em rampas do MP-03, os Latossolos de textura média em superfícies em rampas do MP-09 e os latossolos de textura argilosa em superfícies planas do MP-11.

O MP-04, com solos pouco desenvolvidos, que ocupa principalmente colinas pequenas, é bastante suscetível a erosões laminares e lineares rasas e não suscetível a boçorocas. E o MP-07, em setor de escarpa é vulnerável a processos de deslocamentos de rochas e quedas de blocos em geral, com seu trecho de tálus de vertentes inclinadas e colúvios em rampas apresentando, respectivamente, potencialidades a processos de escorregamento e desenvolvimento de erosões laminares e lineares profundas.

As unidades morfopedológicas que se destacam pelas maiores vulnerabilidades à erosão ou baixa capacidade de uso, e, por conseguinte, maiores potenciais à degradação dos seus solos e água são o MP-01, o MP-05, o MP-06, o MP-08 e o MP-10.

O compartimento MP-01 abrange o entorno de inundação dos cursos d'água do rio do Sapo e rib. Água Limpa (Figura 6), sendo ocupado principalmente por Neossolo Flúvico, mas contendo também Neossolo Quartzarênico Hidromórfico e Gleissolo, em relevo de planície fluvial. Apesar da sua baixa suscetibilidade a erosão laminar e linear, pois se tratam de áreas de agradação, esta unidade apresenta nível d'água geralmente próximo à superfície e constituindo terrenos de baixa capacidade de suporte, sujeito a inundações e alagamentos periódicos, o que conduz a certa fragilidade e o torna limitado a ocupação.

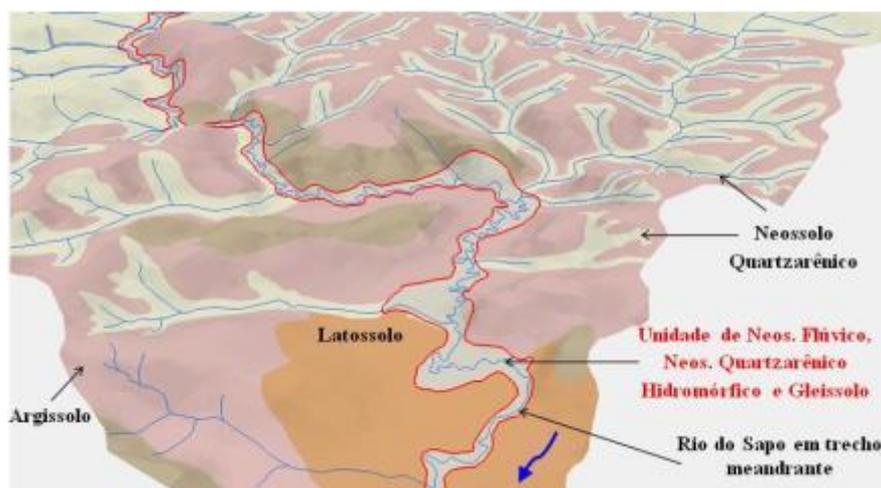


Figura 6. Representação esquemática em perspectiva da ocorrência de Neossolo Flúvico, Neossolo Quartzarênico Hidromórfico e Gleissolo ao longo do canal do Sapo, em setor da baixa sub-bacia, destacada pelo contorno em vermelho.

De modo geral, o MP-05 apresenta os topos e o terço superior de vertentes com declividade média de até 6%, onde ocorrem os Argissolos, com presença de ruptura de relevo na transição para o terço médio, porção em que a declividade média sobe para em torno de 12 à 20%, passando a se constituir de Neossolo Quartzarênico, que ocupa todo esse setor da vertente até o terço inferior e inclusive os fundos de vale. Sendo muito comum nos fundos de vales o Neossolo Quartzarênico Hidromórfico substituindo o Neossolo Quartzarênico.

Esta unidade apresenta-se moderadamente suscetível a erosão laminar nas vertentes ocupadas por Argissolo e, extremamente suscetíveis a este tipo de erosão nos setores ocupados por Neossolos Quartzarênicos. De modo geral, com exceção dos fundos de vales, o compartimento é muito suscetível a ravinas e pouco suscetível a boçorocas.

E especialmente em relação aos fundos de vales, correspondem a locais muito sensíveis do compartimento, considerado extremamente suscetível a ravinas e boçorocas, em que se nota muitas ocorrências erosivas lineares, com evidências de perdas de hidromorfismo causado por assoreamento, e progressivo rebaixamento de NA nesses locais. O que revela se

tratar de terrenos apropriados somente para preservação, devendo ser isolados em regiões com presença de atividade pecuária no entorno, de modo a não permitir o pisoteio de gados, principal causa atual das erosões.

O compartimento MP-06 situa-se no Planalto Dissecado dos Parecis, e ocorre em colinas amplas com vales suaves dominadas por solos de textura arenosa, marcados por presença de Neossolo Quartzarênico e de sistema pedológico formado por Neossolo Quartzarênico e Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, na qual este último ocupa a maioria dos fundos de vales da região. Como substrato geológico, se faz presente rochas do Grupo Parecis, com predominância de rochas areníticas.

Considerando apenas as vertentes deste compartimento e desconsiderando a princípio os fundos de vales, se caracteriza os setores de médias e altas vertentes como muito suscetível à erosão laminar, moderadamente suscetível a ravinas e pouco suscetível a boçorocas. E os setores de baixas vertentes são classificados como muito suscetível à erosão laminar, muito suscetível a ravinas e pouco suscetível a boçorocas.

Especificamente em relação aos fundos de vales presentes no MP-06, se considera essas regiões como extremamente suscetíveis a ravinas e a boçorocas, que a exemplo da mesma forma de relevo no MP-05, merece receber isolamento em caso de uso do solo no entorno por pecuária, cuja atividade observa-se predominar atualmente nesta região, e tem repercutido diretamente na degradação do solo e água do compartimento, onde os caminhamentos de gados induz a boçorocamentos, o que conseqüentemente vem favorecendo o rebaixamento do NA local, além de progressivas perdas de hidromorfismo decorrente de assoreamento.

O compartimento MP-08 abrange área acima da escarpa, em porção de relevo considerado da Chapada dos Parecis, formando uma espécie de “chapadão” arenoso, pois se compõe de Neossolo Quartzarênico em vertentes sob a forma de rampas.

Esta unidade é considerada muito suscetível à erosão laminar, moderadamente suscetível a ravinas e não suscetíveis a boçorocas. Mas apesar do limitado potencial a processos erosivos quando se considera paisagem como um todo, dada a sua alta capacidade de infiltração d'água, se torna importante destacar a fragilidade do seu solo, relacionada a elevada erodibilidade inerente aos Neossolos Quartzarênicos, que se receber manejo inadequado tem grande tendência em desenvolver processos erosivos e, conseqüentemente, também repercutir negativamente nos componentes de solo e água da bacia de estudo.

O compartimento morfopedológico MP-10 se caracteriza como áreas de anfiteatros erosivos de cabeceiras de drenagem, contendo dois sistemas pedológicos, um formado por associação de Latossolo Vermelho e Plintossolo Pétrico, e outro sistema formado por Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico.

As vertentes formadoras dos anfiteatros possuem declividade variável em geral entre 6 a 20%, mas com valores médios mais frequentes entre 12 a 20%. Como substrato geológico do local, estão presentes as Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas na porção mais ao norte do compartimento, e ocorrência de arenitos da Fm. Utariti em porção mais ao sul da unidade.

Os setores de terço superiores são sensivelmente mais inclinados em relação às porções médias e baixas das vertentes, e são ocupados principalmente por Latossolo Vermelho, fazendo transição em geral para Plintossolo Pétrico ou Neossolo Quartzarênico nos setores de terços médios e inferiores.

Nos locais de ocorrência do sistema pedológico formado por Latossolo e Neossolo Quartzarênico, em que predomina este último, se define estes terrenos como de classe extremamente suscetível à erosão laminar. Esses setores de domínio de Neossolo Quartzarênico correspondem a terrenos formados por solo com baixo grau de coesão e que ocupam principalmente os terços médios e inferiores das vertentes dos anfiteatros erosivos,

locais em que o nível d'água se encontra não muito abaixo da superfície, o que propicia baixa capacidade de suporte e os tornam frágeis à ocupação antrópica.

Interpreta-se, portanto essas porções médias e baixas das vertentes com Neossolo Quartzarênico, como altamente sensíveis a processos erosivos lineares, como pode ser visualizada na Figura 7a, compreendida como classe extremamente suscetível tanto a ravinas quanto a boçorocas.

Inclusive é nestas áreas de anfiteatros erosivos de cabeceira de drenagem que se observa as ocorrências erosivas mais intensas, com presença da boçoroca do “Sapo”, a maior feição erosiva dentro da área de estudo (Figura 7b).



Figura 7. (a) Feição erosiva presente no MP-10, com sistema pedológico de Latossolo e Neossolo Quartzarênico, em que predomina esse último; (b) Detalhe de área com boçoroca (ao fundo da imagem) em anfiteatro erosivo, com solo do tipo Neossolo Quartzarênico.

4. CONCLUSÃO

O estudo morfopedológico resultou na identificação de compartimentos diversificados, evidenciando predomínio de terrenos relativamente suaves e formados por solos essencialmente arenosos, que perfazem cerca de 76,4% da área total da sub-bacia do Sapo, representados pelos compartimentos morfopedológicos MP-06 e MP-08.

Dentre os compartimentos morfopedológicos mais vulneráveis aos processos erosivos, sobressaem as seguintes unidades: o MP-06, marcada por Neossolo Quartzarênico em colinas amplas; as médias e baixas vertentes dos anfiteatros de cabeceira de drenagem do MP-10, contendo Neossolo Quartzarênico; os setores das médias e baixas vertentes das colinas médias do MP-05, ocupada por Neossolo Quartzarênico; e as rampas coluvionadas e depósitos de tálus do MP-07, com cobertura de solo de textura predominantemente arenosa.

Os fundos de vales tidos como fluviais ou ocupados por solos hidromórficos, nos domínios do MP-05 e MP-06, também representam setores bastante frágeis na sub-bacia, onde se observou diversos locais do seu terreno sofrendo processo de degradação do solo.

Os principais impactos negativos constatados nos recursos hídricos dizem respeito, sobretudo aos processos de assoreamento verificado em porções de cursos d'água pequenos, nos compartimentos MP-05 e MP-06, e em trechos do leito do rio do Sapo, no domínio do MP-01. Além de se notar também, nos casos de boçorocamentos, tendência a rebaixamento do NA e perdas de hidromorfismo quando instalados em domínios de solos hidromórficos.

5. REFERÊNCIAS

- BARROS, A. M.; SILVA, R. H. da; CARDOSO, O. R. F. A.; FREIRE, F. A.; SOUZA JÚNIOR, J. J. de; RIVETTI, M.; LUZ, D. S. da; PALMEIRA, R. C. de B.; TASSINARI, C. C. G. Geologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL** Folha SD. 21 – Cuiabá. Rio de Janeiro: MME, 1982. p. 25-192.
- BARROS, M. A. de S.; MIZUSAKI, A. M. P.; WESKA, R. K.; BORBA, A. W. de; CHEMALE JR, F.; COSTA, E. C. da. Petrografia, geoquímica, análises isotópicas (Sr, Nd) e geocronologia Ar-Ar dos Basaltos de Tapirapuã (Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil). *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 33, n. 2, p. 71-77, 2006.
- CASTRO, S. S. de; SALOMÃO, F. X. de T. Compartimentação morfopedológica e sua aplicação: considerações metodológicas. *Revista GEOUSP*, São Paulo, n. 7, p 27-37, 2000.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2009. 412 p.
- LACERDA FILHO, J. V. de; ABREU FILHO, W.; VALENTE, C. R.; OLIVEIRA, C. C. de; ALBUQUERQUE, M. C. **Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso**. Goiânia: CPRM, 2004. 200 p.
- LOPES, E. de C.; SALOMÃO, F. X. de T.; OLIVEIRA, M. A. P. de; ALBUÊS, Z. da S. Morfopedologia aplicada ao diagnóstico e controle da erosão como subsídio ao planejamento ambiental de municípios da Amazônia Legal. Estudo de caso em Juruena – Mato Grosso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** João Pessoa: UFPA, 2001. Disponível em: <www.bvsde.paho.org/bvsaidis/saneab/brasil/ix-012.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2012.
- MOREIRA, C. V. R.; PIRES NETO, A. G. Clima e relevo. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A de. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. p. 68-86.
- RIBEIRO, J. C.; SALOMÃO, F. X. de T. Abordagem morfopedológica aplicada ao diagnóstico e prevenção de processos erosivos na bacia hidrográfica do alto rio da casca, MT. *Revista Geociências*, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 83-95, 2003.
- ROSS, J. L. S.; SANTOS, L. M. dos. Geomorfologia. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto RADAMBRASIL** Folha SD. 21 – Cuiabá. Rio de Janeiro: MME, 1982. p. 193-256.
- SALOMÃO, F. X. de T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. **erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 229-268.
- SALOMÃO, F. X. de T.; NAKASU, L.; PONÇANO, W. L. O estudo do meio físico como subsídio para a identificação de áreas potencialmente irrigáveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3., 1981. Itapema. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1981. p. 285-300.

FARIA, T. O.; VECCHIATO, A. B.; SALOMÃO, F. X. T.; SANTOS Jr, W. A. Abordagem morfo-pedológica para diagnóstico e controle de processos erosivos. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 215-232, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1007>)

SALOMÃO, F. X. de T. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP):** regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural. 1994. 200f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SALOMÃO, F. X. de T.; MADRUGA, E. de L.; MIGLIORINI, R. B. Carta geotécnica do perímetro urbano da Chapada dos Guimarães: subsídios ao plano diretor. **Revista do Instituto de Geociências - USP**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 5-15, 2012.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977, 91 p.

TRICART, J.; KILIAN, J. **L'éco-Geografie et l'aménagement du Milieu Naturel**. Paris: Maspero, 1979. 325 p.

WESKA, R. K. Uma síntese do Cretáceo Superior mato-grossense. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 71-81, 2006.