

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

PAULO ROBERTO VAGULA

**FRAGILIDADE AMBIENTAL AOS PROCESSOS
EROSIVOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIBEIRÃO DO MANDAGUARI, OESTE DO ESTADO
DE SÃO PAULO, BRASIL**

Presidente Prudente
2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

PAULO ROBERTO VAGULA

**FRAGILIDADE AMBIENTAL AOS PROCESSOS
EROSIVOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIBEIRÃO DO MANDAGUARI, OESTE DO ESTADO
DE SÃO PAULO, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente, para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli

Presidente Prudente
2019

V126f Vagula, Paulo Roberto
Fragilidade ambiental aos processos erosivos na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari, oeste do estado de São Paulo, Brasil / Paulo Roberto Vagula. -- , 2019
120 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara.
Orientador: Jose Tadeu Garcia Tommaselli

1. Fragilidade ambiental. 2. Processos erosivos. 3. Bacia hidrográfica. 4. Geomorfologia. 5. Solos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

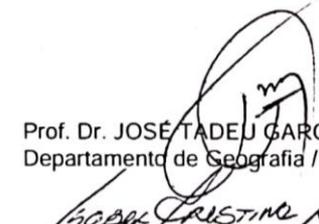
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Fragilidade ambiental e suscetibilidade aos processos erosivos na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari

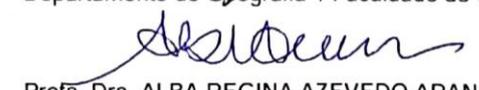
AUTOR: PAULO ROBERTO VAGULA

ORIENTADOR: JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GEOGRAFIA, área: Produção do Espaço Geográfico pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSÉ TADEU GARCIA TOMMASELLI
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente


Profa. Dra. ISABEL CRISTINA MOROZ CACCIA GOUVEIA
Departamento de Geografia / Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente


Profa. Dra. ALBA REGINA AZEVEDO ARANA
Departamento de Geografia e Meio Ambiente / Universidade do Oeste Paulista

Presidente Prudente, 07 de janeiro de 2019

AGRADECIMENTOS

À minha família e aos amigos pelo apoio incondicional;

Aos amigos da pós-graduação, Bruna, Ricardo, Mariana, Marcos, Samanta e tantos outros pelas conversas e pelo apoio;

Ao Ricardo e à Liriane pela conversa e apontamentos feitos no trabalho;

Aos membros da banca de qualificação, professora Isabel e João Osvaldo, em especial à Isabel pelos apontamentos e arguições;

Aos funcionários da Seção de Pós-graduação pela gentileza e paciência de sempre;

Ao meu orientador;

Ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento da pesquisa;

A todos que de maneira direta ou indireta colaboraram para a realização da presente dissertação.

RESUMO

Até o início do século XX grande parte do oeste do estado de São Paulo estava coberta por vegetação nativa. Ainda nas primeiras décadas as florestas foram substituídas por cultivos agrícolas e pastagens. As transformações causadas pelos agentes sociais e econômicos não consideraram as dinâmicas naturais das paisagens, produzindo a quebra do equilíbrio até então existente e provocando impactos como a alteração dos processos morfodinâmicos. Assim, mesmo depois de décadas de uso da terra para a produção agrícola e para a pecuária, os estudos de fragilidade ambiental são de grande relevância, uma vez que permitem apontar as áreas mais propensas a formação de processos erosivos. Esta pesquisa tem como objetivo principal analisar a fragilidade ambiental aos processos erosivos na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari, oeste do estado de São Paulo, Brasil. Para tanto, fundamenta-se na análise fisiográfica e na análise comparativa de três mapas síntese: mapa da fragilidade do relevo, mapa da fragilidade potencial e mapa da fragilidade ambiental emergente. A metodologia adotada para a determinação da fragilidade ambiental baseou-se naquela proposta por Ross (1994) com as devidas adequações para a área de estudo. A aplicação dessa metodologia requereu uma base de dados com variáveis referentes à morfologia do terreno, tipos de solo, além do uso da terra e cobertura vegetal. Para a definição dos níveis de fragilidade da variável “relevo” utilizaram-se as classes de declividades e a curvatura do terreno. Para a definição dos níveis de fragilidade da variável “solos” foram considerados as características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessuras dos horizontes dos diversos tipos de solos. Para a variável “uso e cobertura da terra” considerou-se o grau de proteção que cada tipo de cobertura oferece aos solos face aos processos erosivos induzidos pela ação das águas pluviais. A partir da análise ponderada dessas variáveis foram obtidos três produtos cartográficos. O primeiro deles, o mapa de fragilidade do relevo, obtido a partir da curvatura e da declividade do terreno, apontou a predominância de média fragilidade aos processos erosivos. O mapa de fragilidade potencial, obtido a partir das características do relevo e dos diversos tipos de solos presentes na bacia, apontou a predominância das áreas classificadas como de fragilidade alta. Já o mapa de fragilidade ambiental emergente, obtido a partir do mapa de fragilidade potencial e do uso da terra na bacia, apontou o predomínio de áreas classificadas como de fragilidade muito alta. A pesquisa mostrou que a maior parte da bacia hidrográfica pode ser considerada como altamente frágil ao desenvolvimento de processos erosivos, o que pode causar danos ambientais, assoreamento de cursos d’água e prejuízos econômicos aos proprietários rurais.

Palavras-chave: Geomorfologia; Fragilidade ambiental; Processos erosivos; Bacia hidrográfica; Solos.

ABSTRACT

Until the beginning of the 20th century, much of western São Paulo was covered by native vegetation. Even in the first decades the forests were replaced by agricultural crops and pastures. The transformations caused by the social and economic agents did not consider the natural dynamics of the landscapes, breaking the existing balance and provoking impacts such as the alteration of the morphodynamic processes. Thus, even after decades of land use for agricultural production and livestock, studies of environmental fragility are of great relevance, since they allow us to point out the areas most prone to the formation of erosive processes. This research has the main objective to analyze the environmental fragility to the erosive processes in the watershed of Ribeirão do Mandaguari, west of the state of São Paulo, Brazil. For this, it is based on the physiographic analysis and the comparative analysis of three synthesis maps: map of the fragility of the relief, map of the potential fragility and map of the emerging environmental fragility. The methodology adopted for the determination of the environmental fragility was based on that proposed by Ross (1994) with the appropriate adaptations for the study area. The application of this methodology required a database with variables related to soil morphology, soil types, besides land use and vegetation cover. In order to define the fragility levels of the "relief" variable, the slope classes and the curvature of the terrain were used. In order to define the fragility levels of the soil variable, the characteristics of texture, structure, plasticity, degree of cohesion of the particles and depth / thickness of the horizons of the different types of soils were considered. For the variable "land use and land cover", the degree of protection that each type of cover is offered to the soils in view of the erosive processes induced by the action of rainwater. From the weighted analysis of these variables. Three cartographic products were obtained. The first one, the map of fragility of the relief, obtained from the curvature and slope of the terrain, pointed the predominance of medium fragility to the erosive processes. The map of potential fragility, obtained from the characteristics of the relief and the different types of soils present in the basin, pointed out the predominance of the areas classified as high fragility. The map of emerging environmental fragility, obtained from the map of potential fragility and land use in the basin, pointed out the predominance of areas classified as very fragile. Research has shown that most of the river basin can be considered as highly fragile to the development of erosive processes, which can cause environmental damage, silting up streams and economic losses to rural landowners.

Key words: Geomorphology; Environmental fragility; Erosive processes; Drainage basin; Soils.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari	14
Figura 2: Ascensão e queda de alguns conceitos e campos de estudo em Geomorfologia.....	18
Figura 3: Fluxograma para a produção dos mapas de fragilidade na ferramenta Weighted Overlay.	42
Figura 4: Relações estratigráficas na parte oriental da Bacia Bauru segundo Fernandes (1998)	44
Figura 5: Esboço geológico da bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari	45
Figura 6: Corte de talude mostrando os arenitos da Fm. Presidente Prudente	47
Figura 7: Depósitos aluvionares na planície aluvial do Córrego do Jacaré, afluente do Ribeirão do Mandaguari Fonte: Trabalho de campo (2016)	47
Figura 8: Concentrações de ferricretes entre provável depósito colúvio-eluvial e arenitos da Fm. Vale do Rio do Peixe em avançado estágio de intemperização	50
Figura 9: Linha de pedra (stone line) sobre os arenitos da Fm. Presidente Prudente.....	50
Figura 10: Planície e terraço no vale do Ribeirão do Mandaguari.	52
Figura 11: Principais elementos estruturais da Bacia Sedimentar do Paraná no estado de São Paulo	53
Figura 12: Alinhamento de Nickpoints nos vales dos principais afluentes do rio Paranapanema	55
Figura 13: Esboço dos lineamentos na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari	57
Figura 14: Controle estrutural da drenagem no vale do Córrego do Jacaré e diaclases no arenito	58
Figura 15: Anomalias fluviomorfométricas na bacia do Rio do Peixe. Modificado de Etchebehere (2000).....	61
Figura 16: Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari	64
Figura 17: Mapa Clinográfico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari	65
Figura 18: Amplitude altimétrica da bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari.....	67
Figura 19: Declividade média da bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari.....	68
Figura 20: Planície aluvial e terraço no vale do Córrego do Acampamento	69
Figura 21: Planície e terraço no vale do Córrego da Onça	69
Figura 22: Colinas onde predominam declividades médias em torno dos 0 a 8°	70
Figura 23: Relevo predominante na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari	70

Figura 24: Surgências nas vertentes da sub-bacia do Córrego do Saracura	71
Figura 25: Relevo mais dissecado da bacia	71
Figura 26: Solos da bacia do Ribeirão do Mandaguari	77
Figura 27: Climas do Oeste Paulista com destaque para a área de estudo	78
Figura 28: Mapa do estado de São Paulo no início do século XX	80
Figura 29: Foto aérea de Presidente Prudente tomada no ano de 1939	83
Figura 30: Hotel Colonial de Martinópolis, primeira construção de alvenaria, 1925	84
Figura 31: Cafezais nas proximidades de Presidente Prudente	86
Figura 32: Voçoroca existente na atual rua José Teodoro, na área urbana de Martinópolis, 1940	87
Figura 33: Salto dos Guachos no Rio do Peixe	88
Figura 34: Uso da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari	89
Figura 35: Fragilidade do relevo aos processos erosivos na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari	91
Figura 36: Gráfico de distribuição das classes de fragilidade do relevo aos processos erosivos	92
Figura 37: Compatimentos do relevo com diferentes graus de fragilidade no vale do Córrego Santa Maria	93
Figura 38: Processos erosivos no vale do Córrego Santa Maria	93
Figura 39: Processo de voçorocamento em vertentes côncavas	94
Figura 40: Vertentes de fragilidade muito alta na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari	95
Figura 41: Fragilidade potencial na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari	96
Figura 42: Gráfico de distribuição das classes de fragilidade potencial	98
Figura 43: Topos classificados como de fragilidade média	99
Figura 44: Topos e vertentes de fragilidade média e alta, respectivamente	100
Figura 45: Fragilidade ambiental emergente na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari.	102
Figura 46: Gráfico de distribuição das classes de fragilidade ambiental emergente	103
Figura 47: Processos erosivos em vertente classificada como de fragilidade ambiental emergente alta	104
Figura 48: Fragilidade ambiental emergente baixa (topos) e média (vertentes)	105
Figura 49: Fragilidade ambiental emergente muito alta	106

Figura 50: Adoção de práticas conservacionistas nas áreas agrícolas.....	106
Figura 51: Aluviões depositados na planície do Córrego Santa Maria após um pulso de inundação.....	108
Figura 52: Aluviões depositados na planície do Córrego do Jacaré após cheia.....	108
Figura 53: Sulco erosivo na planície aluvial do Ribeirão do Mandaguari	109

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Níveis de fragilidade segundo as características pluviométricas	31
Quadro 2: Níveis de fragilidade segundo os tipos de solos	32
Quadro 3: Solos do estado de São Paulo de acordo com os níveis de fragilidade	33
Quadro 4: Fragilidade de acordo com a Matriz dos Índices de Dissecação do relevo e com a forma e declividade das vertentes.....	35
Quadro 5: Níveis de proteção dos solos segundo os tipos de cobertura vegetal e os usos da terra.....	35
Quadro 6: Níveis de fragilidade segundo as declividades e as curvaturas do terreno.....	39
Quadro 7: Níveis de fragilidade segundo os tipos de solos presentes na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari	40
Quadro 8: Níveis de proteção dos solos segundo os tipos de cobertura vegetal e os usos da terra.....	41
Quadro 9: Depósitos identificados na bacia, com respectiva litologia e datação.....	51
Quadro 10: Índice de RDEt das principais drenagens da bacia do Ribeirão do Mandaguari...60	
Quadro 11: Unidades de Mapeamento identificadas na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari.....	75
Quadro 12: Fragilidade do relevo aos processos erosivos de acordo com os compartimentos de relevo	90
Quadro 13: Fragilidade potencial na bacia do Ribeirão do Mandaguari.....	97
Quadro 14: Fragilidade Ambiental Emergente na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari.....	101

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Em busca do entendimento sobre a evolução do relevo e esculturação da paisagem	16
2.2 A bacia hidrográfica como um sistema hidrogeomorfológico dinâmico	25
2.3 Fragilidade ambiental a processos erosivos.....	30
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	36
3.1 Delimitação da bacia hidrográfica.....	36
3.2 Análise fisiográfica.....	36
3.3 Levantamento histórico de ocupação e uso atual da terra	38
3.4. Aplicação da análise multicritério para a determinação da fragilidade ambiental	38
4 ANÁLISE FISIAGRÁFICA DA BACIA	43
4.1 Litologia	43
4.1.1 Depósitos Cenozoicos.....	48
4.2 Estruturas	52
4.3 Neotectônica	59
4.4 Relevo.....	62
4.5 Solos	72
4.6 Forças exógenas atuantes na paisagem.....	78
5 HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO E USO ATUAL DA TERRA.....	80
6 SÍNTESE ANALÍTICA DA FRAGILIDADE AMBIENTAL AOS PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO MANDAGUARI.....	90
6.1. Fragilidade do relevo	90
6.2 Fragilidade potencial	95
6.3 Fragilidade ambiental emergente.....	101
6.4 Planícies aluviais (áreas de uso restrito).....	107
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	111

REFERÊNCIAS	113
-------------------	-----

1 INTRODUÇÃO

Até o início do século XX toda a porção do território do estado de São Paulo a sul do rio Tietê e a oeste de Conceição de Monte Alegre¹ estava coberta por vegetação nativa. Essa parcela do território compreende as bacias hidrográficas do Rio do Peixe, rio Aguapeí e rio Santo Anastácio, além das bacias de alguns afluentes da margem esquerda do rio Tietê e da margem direita do rio Paranapanema, área até então habitada por tribos indígenas e algumas famílias que viviam de subsistência, conforme relatado por Sampaio (1890) no relatório da expedição ao vale do rio Paranapanema.

Com o início da exploração do Oeste Paulista as florestas foram paulatinamente sendo substituídas por agriculturas e por pastagens. O processo de ocupação foi impulsionado pela implantação das estradas de ferro como a E. F. Sorocabana, cujos trilhos foram assentados pelos interflúvios entre os rios Paranapanema e do Peixe.

A substituição da vegetação nativa pela agricultura e por pastagens transformou a paisagem e causou impactos como a quebra do equilíbrio até então existente, provocando a alteração do ciclo hidrológico e dos processos morfodinâmicos, conforme apontou Francisco (1989) ao analisar as consequências do desmatamento da vegetação nativa no município de Presidente Prudente (SP).

Ainda segundo o autor, essas terras estiveram sujeitas ao manejo inadequado pelos produtores rurais ao longo daquele século, o que contribuiu para a degradação dos solos por meio da perda de fertilidade e da intensificação dos processos erosivos, sendo um dos principais fatores que levou à substituição gradual da agricultura pelas pastagens.

Diante das transformações causadas pelos agentes sociais e econômicos, que geralmente desconsideram as dinâmicas naturais das paisagens na produção do espaço geográfico, os estudos envolvendo a análise da fragilidade ambiental tem grande importância, uma vez que permitem apontar áreas especialmente frágeis ao desenvolvimento de processos erosivos e que requerem mais atenção no que diz respeito ao uso da terra para práticas agrícolas e para a pecuária.

A análise empírica da fragilidade deve se basear em estudos básicos do relevo, do solo, do uso da terra e do clima (ROSS, 1994). As diversas formas do relevo, resultantes do

¹ Conceição de Monte Alegre, hoje distrito de Paraguaçu Paulista, foi sede do município homônimo até 1933, quando foi extinto. Até a emancipação de Presidente Prudente, em 1921, seu território abrangia toda a parcela do estado compreendida entre os rios Paranapanema, Paraná e Peixe.

antagonismo entre as forças endógenas e exógenas, são importantes condicionadores da dinâmica hidrológica e da formação e perda de solos.

Os estudos dos solos servem para a avaliação da aptidão agrícola e da capacidade do uso, além de subsidiar a análise da fragilidade do ambiente face às ações antrópicas ligadas à agropecuária. Os levantamentos geológicos são básicos para o entendimento da relação relevo/solo/rocha (ROSS, 1994). As informações climáticas, sobretudo as de chuva também se prestam tanto para a análise da potencialidade agrícola como para a avaliação da fragilidade natural dos ambientes,

A rugosidade topográfica do relevo e declividades das vertentes bem como os levantamentos dos tipos de uso da terra, manejo dos solos para agricultura, tratados integradamente, possibilitam chegar a um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais (ROSS, 1994).

Por isso os estudos da fragilidade ambiental se tornam imprescindíveis ao planejamento ambiental pois proporcionam melhor definição das diretrizes e ações a serem implantadas no espaço físico-territorial servindo de base para o zoneamento ambiental e fornecendo subsídios à gestão do território.

Para a realização desse trabalho adotou-se como área de estudo a bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari. O Ribeirão do Mandaguari nasce nas cercanias da área urbana de Regente Feijó e tem entre seus principais afluentes o córrego do Acampamento, o Córrego do Acampamento, o Córrego do Jacaré e o ribeirão Santa Teresa na margem direita, além do Córrego da Onça na margem esquerda. A área da bacia corresponde a aproximadamente 745 km² e drena parte dos municípios de Caiabu, Indiana, Martinópolis, Presidente Prudente e Regente Feijó, conforme se observa na Figura 1.

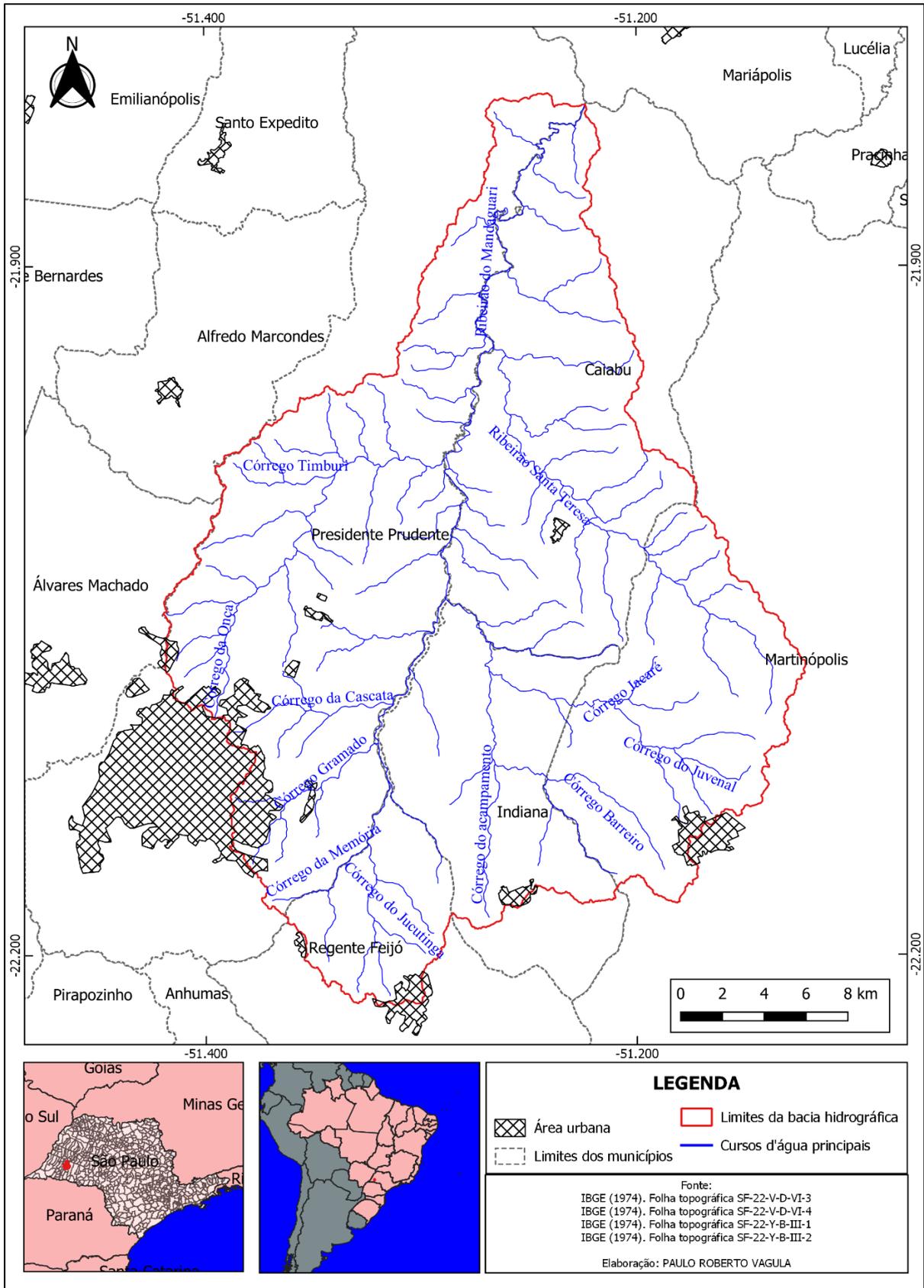


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari
 Elaboração: Paulo Roberto Vagula

Em termos gerais esta pesquisa tem como objetivo analisar a fragilidade ambiental a processos erosivos na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari, oeste do estado de São Paulo. Entre os objetivos específicos citam-se: (1) a elaboração de um referencial teórico com o intuito de apresentar a evolução do relevo e da paisagem sob a perspectiva do pensamento geomorfológico, apresentar a bacia hidrográfica como um sistema hidrogemorfológico dinâmico e discutir fragilidade ambiental aos processos erosivos; (2) elaborar uma análise fisiográfica da bacia; (3) levantar a história de ocupação, discutindo-a sob a perspectiva ambiental; (4) a elaboração e análise comparativa de três mapas síntese: mapa da fragilidade do relevo, mapa da fragilidade potencial e mapa da fragilidade ambiental emergente.

Para que se pudesse atingir os objetivos inicialmente propostos a pesquisa foi dividida em quatro fases, sendo que a primeira consistiu no levantamento da bibliografia que estruturou o referencial teórico e fundamentou a análise dos resultados, além do levantamento de dados e de imagens orbitais disponibilizados pelos órgãos governamentais que pudessem subsidiá-la.

A segunda fase envolveu a análise fisiográfica da área de estudo, bem como a elaboração dos mapas que foram utilizados para embasá-la. A análise fisiográfica congrega informações sobre a litologia, a estrutura, a neotectônica, a geomorfologia, os solos e a pluviosidade da bacia.

A terceira fase envolveu o levantamento da história de ocupação da bacia hidrográfica, ainda que não se tenha conseguido avançar muito por conta de poucas informações, procurou-se analisar a ocupação da área de estudo sob a perspectiva ambiental.

E, por fim, a quarta e última fase, corresponde à análise da fragilidade ambiental com base na metodologia proposta por Ross (1994). Para isso foram elaborados três produtos cartográficos. O primeiro deles, o mapa de fragilidade do relevo elaborado a partir da curvatura e da declividade do terreno. O mapa de fragilidade potencial, obtido a partir das características do relevo e dos diversos tipos de solos presentes na bacia apontou a predominância das áreas de fragilidade alta. Já o mapa de fragilidade ambiental emergente, elaborado a partir do mapa de fragilidade potencial com o uso da terra na bacia apontou o predomínio de áreas altamente frágeis ao desenvolvimento dos processos erosivos.

Para melhor compreensão do leitor, além desta introdução, a pesquisa foi dividida em quatro capítulos: Fundamentação teórica; Análise fisiográfica da bacia; Histórico de ocupação e uso atual da terra; Análise da fragilidade ambiental. Seguem-se as considerações finais e as referências bibliográficas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Em busca do entendimento sobre a evolução do relevo e esculturação da paisagem

Em 1785 James Hutton (1726-1795) apresentou um conceito cíclico de história da Terra enfatizando a natureza lenta e visualmente imperceptível dos processos que a moldaram, e reconhecendo que, enquanto os princípios físicos subjacentes permaneceram uniformes, os processos não. A proposição de Hutton deu origem a um embate entre catastrofistas e uniformitarianistas, que culminaria em uma revolução nas ciências da Terra. Os primeiros invocavam cataclismos recorrentes por tempo breve para explicar a evolução da paisagem e os segundos, seguiram Hutton e reconheciam uma sucessão de ciclos ao longo de tempos prolongados. Coube à John Playfair (1747-1819) e Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829) esclarecer e divulgar as ideias de Hutton (ORME, 2011).

No início do século XIX havia três correntes do pensamento tentando entender a esculturação do relevo terrestre: fluvialistas, estruturalistas e diluvianistas, sendo que as duas últimas se baseavam em princípios catastróficos. Porém, apesar da dificuldade de aceitação inicial da proposta huttoniana por parte da academia, a ideia acabou se apoderando gradualmente até que, por volta da década de 1830, Charles Lyell (1797-1875) em seus *Princípios de Geologia* (1830) apresentou suporte convincente para ciclos de terra recorrentes, popularizou o princípio do atualismo, atacou as correntes catastrofistas e forneceu detalhes dos processos erosivos e denudacionais (CHRISTOFOLETTI, 1980; ORME, 2011).

Os postulados de Hutton e Lyell mudaram o paradigma vigente até então, onde as paisagens eram compreendidas como heranças de catástrofes repentinas, como o dilúvio, dentro de uma escala de tempo bíblico. O trabalho desses autores preparou o terreno para o início da compreensão da evolução da paisagem, e como parte dela, a evolução do relevo de forma lenta e gradual, e conseqüentemente, para a construção do pensamento geomorfológico moderno. Essa mudança de paradigma proporcionou também maior flexibilidade para o biólogo Charles Darwin (1809-1892), que influenciado pelas novas ideias, criaria sua teoria da evolução das espécies.

Outras contribuições importantes na edificação das bases do pensamento geomorfológico provieram de Jean Louis Agassiz (1807-1873), que reconheceu evidências da ação dos glaciares em uma idade glacial na qual, geleiras cobriram boa parte da Europa

Setentrional; Andrew C. Ramsay (1814-1891) e Ferdinand von Richthoffen (1833-1905) e seus estudos sobre abrasão marinha.

A partir da acumulação das informações e conceitos em variados trabalhos surgiram os primeiros trabalhos que tentariam reunir os princípios do desenvolvimento das formas de relevo como *Führer für Forschungsreisende* (1886) de Richthoffen, G. de la Noe e E. de Margerie com *Les formes du terrain* (1888) e *Morphologie der Erdoberfläche* de A. Penck (1894) (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Na busca pela compreensão da evolução da paisagem no que diz respeito à dinâmica do relevo, três trabalhos merecem ser destacados, pois reformulariam o pensamento geomorfológico expondo as principais noções teóricas que permitiu isolar a Geomorfologia do âmbito geológico (CHRISTOFOLETTI, 1980). Esses trabalhos consolidaram os conceitos fundamentais da Geomorfologia moderna e influenciaram diretamente o pensamento davisiano.

Dutton (1882 apud ORME, 2011) reconheceu que erosão e sedimentação são duas fases de um ciclo de causalidade. Powell (1875 apud ORME, 2011) entendeu que os processos de denudação do relevo eram controlados a partir de um nível de base, que representaria um ponto onde a dinâmica erosiva perderia sua eficiência. Definiu os oceanos como o nível de base geral, sendo este o máximo de potencial erosivo das vertentes e considerou a existência de níveis de base locais onde a energia seria interrompida restringindo a evolução das encostas apenas até aquele nível. Para Gilbert (1877 apud ORME, 2011) a concepção de elementos interdependentes constituía um sistema geomorfológico dinâmico, no qual, da mesma maneira que os rios e seus níveis de base estão associados aos processos que se desenvolvem nas vertentes, estes estão associados à dinâmica fluvial.

Influenciado pelas ideias de ciclicidade de Hutton e Lyell e pelas proposições de Dutton, Powell e Gilbert, o geógrafo William Morris Davis (1850-1934) formulou um ciclo de erosão para explicar o desenvolvimento das formas de relevo ao longo do tempo, que ofereceu, naquele momento, uma explicação aparentemente lógica das formas terrestres da Terra em termos de sua aparente juventude ou maturidade ou velhice, e sua culminação evolutiva até um peneplano (ORME, 2011). O modelo davisiano, caracterizou-se pela evolução policíclica e pela tectônica descontínua, e foi fundamentado nos conceitos de estrutura, processo e tempo. Klein (2012) atribui a ele o mérito de introduzir o fator tempo na análise geomorfológica.

A Figura 2 traz uma esquematização dos conceitos que foram surgindo e declinando ao longo da evolução do pensamento geomorfológico nos últimos séculos e os nomes que mais contribuíram nesse período.

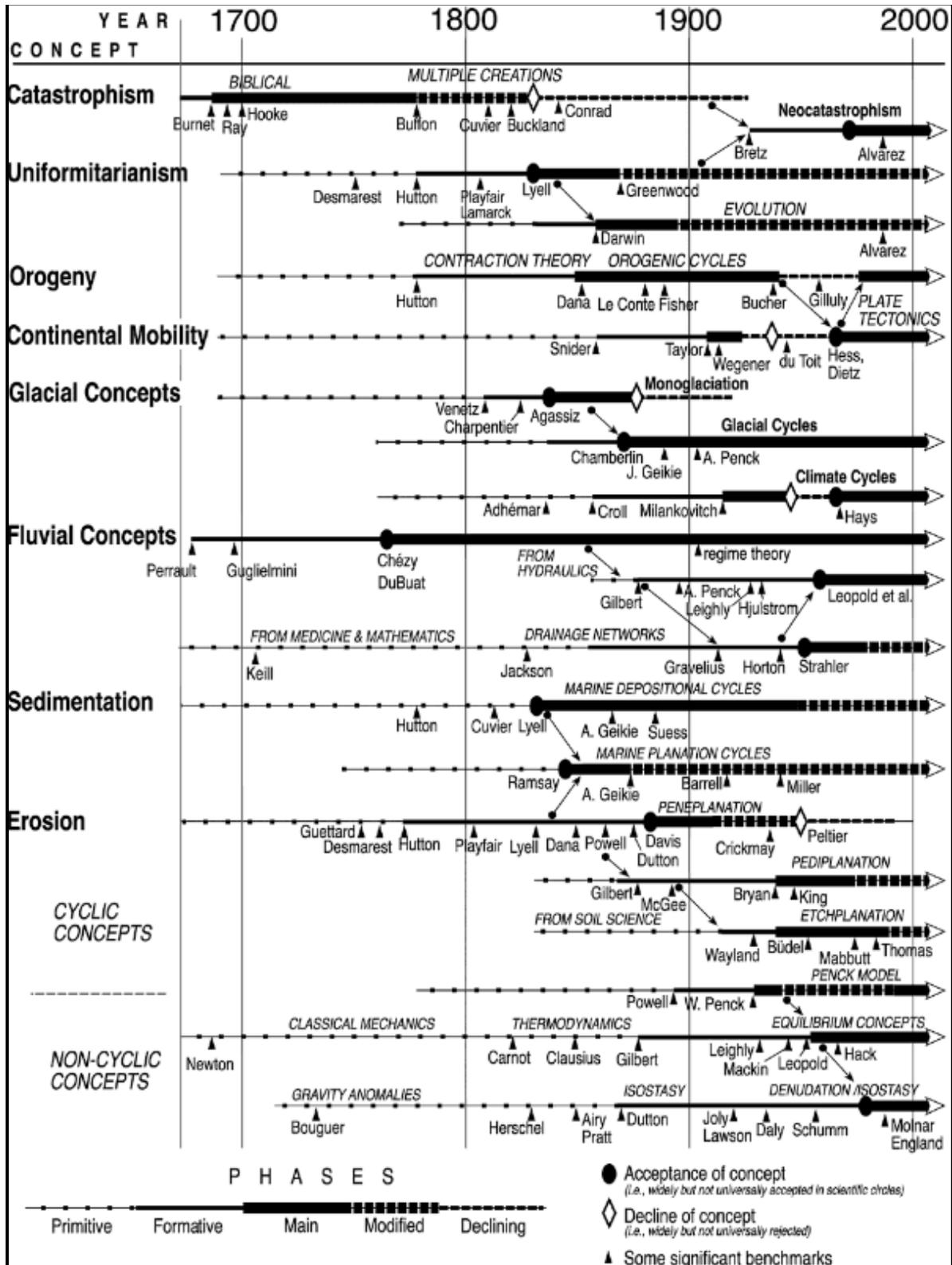


Figura 2: Ascensão e queda de alguns conceitos e campos de estudo em Geomorfologia
Fonte: Orme (2011)

Davis (1899) partiu do pressuposto de que a estrutura e a altitude de uma região são determinadas inicialmente por forças de deformação e soerguimento. Nenhuma rocha seria imutável, sofrendo processo de degradação ou intemperismo, sendo seus resíduos transportados para as partes mais baixas, o que o levou a concluir que todas as formas, mesmo sendo altas e resistentes, deveriam se rebaixar, e assim o processo destrutivo (processos físicos e químicos responsáveis pelo intemperismo) passaria a ter importância igual àquele da estrutura na determinação de uma grande área do terreno. A quantidade de alteração causada pelos processos destrutivos aumentaria com a passagem do tempo, mas nem quantidade, nem a intensidade da alteração seriam simples função do tempo. A quantidade de alteração seria limitada, em primeiro lugar, pela altitude de uma região em relação ao nível do mar, e em segundo lugar, pela resistência de uma massa terrestre.

Davis (1899) propôs um Ciclo Geográfico hipotético que considerou ideal, aquele em que uma região de qualquer estrutura e forma seria soerguida, suas rochas, intemperizadas, teriam seus resíduos transportados das vertentes para as linhas de calha onde os cursos d'água seriam formados, fluindo em direções conseqüentes na descida das linhas de calha. O mecanismo dos processos destrutivos seria então colocado em movimento e o desenvolvimento destrutivo da região iniciado. Os rios maiores, cujos canais inicialmente teriam uma altitude proeminente, rapidamente aprofundariam seus vales e conseqüentemente rebaixariam seus canais para uma altitude moderada. As partes mais altas dos interflúvios, afetadas somente pelo intemperismo e sem a concentração da água em cursos definham mais lentamente. Os principais rios, então, aprofundariam seus canais muito lentamente, e o desgaste das terras altas, muito dissecadas pelas ramificações fluviais, viria a ser mais rápido que o aprofundamento dos principais vales. Este período é o tempo do consumo mais rápido das superfícies altas e, portanto, se põe em forte contraste com o período anterior, onde havia o aprofundamento mais rápido dos vales principais. A partir daí o relevo é gradualmente reduzido para medidas cada vez menores e as vertentes se tornam cada vez mais brandas, de forma que, algum tempo depois do último estágio, a região é somente um terreno baixo ondulado. Em seu trabalho Davis prevê saídas acidentais do ciclo ideal que seriam causadas pelas alterações climáticas e pelas erupções vulcânicas. Além disso, o autor considera aquelas que vai denominar de interrupções do ciclo ideal, pois para ele a Terra teria o hábito de levantar e afundar frequentemente durante a passagem do tempo geológico.

Em suma, no pensamento davisiano

[...] o desequilíbrio morfogenético é desencadeado por um rebaixamento do nível de base, representado pelo ponto de junção entre os rios e o mar. A partir deste momento, a vaga erosiva “remonta” ao longo dos cursos fluviais (marcha regressiva), até que uma nova situação de equilíbrio seja atingida [...]. Considerando que a regularização das vertentes é regida pelos mesmos princípios aplicados à evolução dos leitos fluviais, explica-se a extensão gradual, no entanto de forma irreversível, do estado de equilíbrio a toda área continental. Caso ocorra um novo impulso desestabilizador, o ciclo em andamento é interrompido, sendo iniciado um segundo, em estreita relação com a nova posição do nível de base. O resultado morfológico da sucessão de vários ciclos é representado por igual número de planaltos escalonados: os relevos policíclicos considerados como marcos temporais para o estabelecimento de uma cronologia da denudação (SAADI, 1998, p.56).

A teoria proposta por Davis foi amplamente criticada, principalmente por aqueles que seguiam os postulados da escola alemã cujos principais representantes foram Albrecht e Walter Penck. A exagerada consideração dos processos endógenos, provavelmente por conta da época em que foi proposta – havia naquele período resquícios das ideias catastrofistas e um total desconhecimento do comportamento das forças tectônicas – foram os responsáveis pela obsolescência do ciclo proposto por Davis.

Na escola germânica, Penck (1924) propôs um modelo para explicar a evolução do relevo baseado na evolução acíclica e na tectônica contínua. Segundo Caseti (2001), Penck procurou demonstrar a relação entre entalhamento do talvegue e efeitos denudacionais em função do comportamento crustal, que poderia se manifestar de forma intermitente e com intensidade variável, portanto, para ele, o valor da incisão estava na dependência do grau de soerguimento crustal, o que proporcionaria evidências morfológicas ou grupos de declividades vinculados à intensidade da erosão dos rios, submetido aos efeitos tectodinâmicos.

Saadi (1998, p. 57) assim descreve o modelo penckiano:

[...] o ponto de partida é caracterizado por uma “peneplanície primária” (*Primärrumpf*), resultando de uma igualdade entre intensidades do soerguimento e da denudação, no começo do processo de soerguimento. Este é, em seguida, progressivamente acelerado, sendo acompanhado por uma erosão também progressivamente intensificada. É a “evolução geomorfológica ascendente” (*aufsteigende Entwicklung*), durante a qual as formas passam de côncavas para convexas, ou seja, de “maduras” a “jovens”. Uma vez iniciada a desaceleração do soerguimento, passa-se à “evolução geomorfológica descendente” (*absteigende Entwicklung*), onde a erosão é gradualmente desintensificada e as formas readquirem paulatinamente o perfil côncavo. O aplainamento assim realizado, ou “peneplanície final” (*Endrumpf*) é denominada “superfície de piemonte” (*piedmontfläche*), pois se forma ao redor e abaixo da parte apical mais intensamente levantada. Com uma nova aceleração do soerguimento, o processo completo de formação de uma nova superfície é reiniciado a partir da periferia do domo em expansão, enquanto que as partes centrais das superfícies precedentes acompanham o alçamento mais rápido do ápice, sendo subtraídas aos efeitos da erosão.

Durante a Segunda Guerra Mundial, a influência do pensamento científico germânico se ampliou nos EUA influenciando o trabalho de King (1953) que formulou um modelo de evolução de relevo baseado em ciclos de pedimentação, no qual congregava a concepção cíclica e estabilista de soerguimento crustal de Davis e a ideia de recuo paralelo das vertentes, proposta por Penck. O autor considerava que o processo de erosão/denudação das vertentes deixaria detritos (pedimentos) que testemunhariam o que seria o aplainamento da superfície deixada pelo recuo das encostas, formando por fim superfícies de erosão conhecidas como pediplanos. Para tal concebeu um modelo ideal de encosta que apresentaria em seu aspecto completo um perfil convexo no topo, seguido de uma face livre escarpada (erosiva), uma encosta de detritos com declividade mais suave na base até o pedimento plano (AB'SABER, 1969). O recuo acontece a partir de determinado nível de base, iniciado pelo geral cujo material resultante responde pelo entalhamento das áreas depressionárias, originando os denominados pedimentos. A evolução do recuo por um período de relativa estabilidade tectônica permitiria o desenvolvimento de extensos pediplanos. As formas residuais seriam chamadas de inselbergs.

No entanto a proposta de King não considerou as variações climáticas e o controle dos processos erosivos e/ou deposicionais por soleiras ou níveis de base locais. Ainda assim, os trabalhos de King foram importantes para a compreensão da evolução do relevo em boa parte do território brasileiro.

Na segunda metade do século XX, a Geomorfologia Americana foi marcada pela revolução quantitativa. A partir de 1945, com o avanço da geomorfologia fluvial, as bases para a compreensão de como se dá a evolução do relevo avançou em duas frentes, segundo Orme (2011). Em primeiro lugar, com base em conceitos promovidos por Robert Horton (1875-1945) e Arthur Strahler (1918-2002), foram feitas tentativas para quantificar formas de declive e redes de drenagem e derivar "leis" físicas de suas relações estatísticas. Em segundo lugar, os geomorfólogos procuravam definir de forma mais completa a magnitude e a frequência dos processos geomórficos e as relações quantitativas entre a forma e o processo. Destaca-se aqui a publicação em 1964 de Processos Fluviais em Geomorfologia por Luna Leopold (1915-2006), Gordon Wolman (1924-2010) e John Miller (1923-1961). Este livro concentrou-se na compreensão de processos atuais e nas respostas do relevo independentemente do estágio.

É atribuído a Strahler (1950, 1980) e a Chorley (1962) a reformulação da geomorfologia dentro do molde da teoria dos sistemas, um conceito supostamente unificador

baseado em noções derivadas da termodinâmica clássica. Na realidade, no entanto, essa abordagem era um meio funcional de organizar e analisar dados em vez de um novo paradigma. Os estudiosos imbuídos de uma abordagem de sistemas terrestres podem falar com confiança de sistemas abertos e fechados, *feedbacks* positivos e negativos e sistemas fluviais em vez de rios, mas alterações de nome não necessariamente aumentam a explicação de substância. Por mais útil que a abordagem sistêmica fosse na estruturação do pensamento, ela não forneceu um novo modelo genético para o desenvolvimento da estrutura terrestre (ORME, 2011).

Através do resgate dos conceitos propostos por Gilbert (1877), Hack (1960) elaborou uma teoria acíclica do relevo baseada na noção de “equilíbrio dinâmico” entre materiais e processos, onde a análise da forma seria o resultado dos processos. Para que haja este equilíbrio na paisagem, é necessário que haja uma estabilidade entre os processos endógenos e exógenos, bem como, no *input* de energia do sistema. Hack rompe com as propostas apresentadas pelos autores anteriores pela crença na uniformidade do processo de denudação, por incisão de vales e destruição de divisores em direção a um peneplano, ou por recuo paralelo das vertentes em direção a um pediplano. Para este autor, a denudação preserva as formas existentes. O princípio básico da teoria é o de que o relevo é um sistema aberto, mantendo constante troca de energia e matéria com os demais sistemas terrestres e está vinculado à resistência litológica. Enquanto Penck considerou o modelado como o resultado da competição entre o levantamento e a erosão, Hack considera-o como o produto de uma competição entre a resistência dos materiais crustais e o potencial das forças de denudação (CASSETI, 2001).

Schumm (1970) definiu o papel dos limiares nos sistemas geomórficos, mostrando que mudanças abruptas podem ocorrer durante a evolução da paisagem, uma vez que os valores limites do estresse foram excedidos. Além dos limiares extrínsecos colocados por mudanças na tectônica, isostasia, clima e uso do solo, mostrou que mudanças bruscas também podem ocorrer quando os limites intrínsecos são cruzados, pois quando o estímulo acumulado provoca falha repentina na inclinação ou quando o aumento da sinuosidade do fluxo conduz à avulsão do canal. Tais eventos reabriram o debate sobre mudanças súbitas no desenvolvimento de formas de relevo e deram origem a uma corrente neocatastrofista (ORME, 2011).

Na busca pela compreensão da evolução da paisagem no que diz respeito ao relevo, deve-se destacar ainda, a Teoria da Ecthplanação, sistematizada pelos trabalhos do alemão

Julius Büdel (1903-1983). Baseado no conceito de *etch*, desenvolvido por Willis (1936, apud Adams, 1975, apud Vitte, 2001) como o resultado da interação entre corrosão fluvial e a decomposição da rocha na produção do relevo - o autor considerava o intemperismo da rocha um agente de planação, independentemente da altitude - e no conceito de *etchplain* de Wayland (1933, apud Vitte, 2001), que defendia que o processo de *etchplain* seria marcado por uma paisagem profundamente alterada, que posteriormente sofreria a ação de um ciclo erosivo com o saprolito sendo exposto, formando uma planície rochosa. O saprolito apresentaria topografia irregular, estando sujeito a novo ciclo de alteração e erosão, de maneira que suas irregularidades seriam paulatinamente expostas à superfície criando *inselbergs* na paisagem (Ollier, 1975, apud Vitte, 2001).

Assim Vitte (2001, p. 14) descreve esquematicamente o modelo

[...] a formação do relevo inicia-se com o abaixamento gradual da superfície, determinado pela velocidade de aprofundamento da alteração e pelas características topográficas do *front* de alteração. Essas características são provocadas pela existência de falhas, de fraturas e de seu arranjo, sendo que o *front* de alteração pode apresentar corcovas. Quando ocorre a predominância de juntas, as corcovas são desprendidas e formam blocos rochosos que se distribuem sobre o *front* de alteração. Os horizontes superficiais, por sua vez, ficam predispostos à erosão mecânica, em função das influências sazonais da atmosfera, da ação biológica, da fauna endopedônica e dos ácidos orgânicos que promovem a aluição do fundo matricial, por meio da quebra nas ligações ferro-argila, promovendo gradativamente a liberação dos finos e solutos. Concomitantemente, o lençol freático é enriquecido com cátions e íons, que passam a circular no topo do *front* de aceleração, viabilizando a destruição da rocha.

Büdel (1973) foi um dos primeiros pesquisadores a dar enfoque ao fator climático em suas abordagens na tentativa de explicar a gênese das superfícies de erosão, deixando de considerar apenas as variáveis tectônicas.

No Brasil, a consolidação da escola climática na geomorfologia se deu por forte influência do geógrafo francês Jean Tricart (1920-2003), cujo pensamento influenciou nos estudos de diversos pesquisadores, com destaque para os trabalhos de Aziz Ab'Saber (1924-2012) e João José Bigarella (1923-2016). Segundo esta escola, o tipo de clima é quem determina os tipos de erosão e conseqüentemente as diferentes superfícies e formas do relevo.

Baseados na alternância climática ao longo do tempo, autores como Bigarella (1964), desenvolveram um modelo de evolução do relevo que promoveriam a ocorrência de pulsos erosivos e superfícies de erosão. As maiores transformações no modelado da paisagem ocorreriam no clima úmido, onde prevaleceria a incisão fluvial e o rebaixamento do nível de base. Após uma mudança para o clima semiárido o trabalho de incisão diminuiria pela própria redução da vazão fluvial e prevaleceria o alargamento dos vales sob o recuo (paralelo) das

encostas, gerando pedimentação. Neste sentido, a evolução das encostas se daria por períodos alternados entre incisão e entalhamento da rede drenagem, durante climas úmidos, e alargamento dos vales associado ao clima seco.

Além da influência que Jean Tricart exerceu sobre a Geomorfologia Climática brasileira, é atribuído a ele o mérito de introduzir o Homem na análise geomorfológica. A partir dos pressupostos teóricos da Teoria Geral dos Sistemas (BERTALANFFY, 1973), elaborou o conceito de Ecodinâmica (TRICART, 1977), segundo o qual o principal responsável pela formação dos meios morfodinâmicos está no balanço energético entre a atuação dos processos pedogenéticos e morfogenéticos. Dependendo dos agentes naturais e antrópicos atuantes, haverá três meios: os estáveis, os intergrades e os instáveis.

Com a compreensão da tectônica global, um outro conceito ganhou importância, embora tenha aparecido em vários trabalhos ao longo do tempo: a isostasia, que reapareceu como um conceito fundamental para a compreensão das formas de superfície da Terra, conforme Molnar e England (1990, apud ORME, 2011).

Saadi (1998) aponta os caminhos para uma análise geomorfológica regional baseada nos três ritmos complementares da morfogênese (Klein, 1960) seguintes: os ritmos tectônicos, os ritmos eustáticos e os ritmos bioclimáticos, sendo que os dois primeiros são responsáveis pela construção da massa continental, onde os processos de erosão atuam, enquanto que o terceiro representa as condições de exercício da morfogênese, cujo objetivo é a destruição das massas continentais.

Entende-se, portanto, que a esculturação da paisagem é resultado da interação dinâmica entre os processos endógenos e exógenos, que ao longo do tempo acaba deixando marcas no relevo, e que o Homem tem papel fundamental na alteração dessa dinâmica.

Saadi (1998) defende que todo trabalho geomorfológico deve se estabelecer em três abordagens fundamentais aos estudos geomorfológicos que se complementam: abordagem morfoestrutural, abordagem morfoclimática e abordagem morfotectônica.

Segundo o autor, a abordagem morfoestrutural focaliza o controle exercido sobre a morfologia pelo arcabouço litoestrutural, tais como natureza litológica (rochas sedimentares, ígneas, metamórficas), arranjo de camadas (dobradas, monoclinais, horizontais) e rupturas crustais (falhas, zonas de cisalhamento). Em raros casos adentra-se ainda no detalhe das diferenças na composição mineralógica das rochas, da existência de uma ou mais direções de foliação, da tipologia das rupturas crustais, entre outros; a abordagem morfoclimática, que tinha por função demonstrar como os agentes bioclimáticos agiam na tentativa de destruir a

porção saliente de um arcabouço lito-estrutural cuja origem não dependia em nada dos mesmos. O papel geomorfológico da sucessão de paleoclimas diferenciados em várias regiões do planeta, credencia esta abordagem enquanto enfoque obrigatório na análise da esculturação da paisagem; e a abordagem morfotectônica propõe-se completar os estudos geomorfológicos, através da investigação do papel das movimentações da crosta na configuração dos compartimentos morfoestruturais (provavelmente todos de caráter morfotectônico) e no direcionamento da morfogênese.

2.2 A bacia hidrográfica como um sistema hidrogeomorfológico dinâmico

Na Geografia, trabalhos que consideram a bacia hidrográfica como área de estudo têm ganhado a cada dia que passa mais notoriedade, principalmente aqueles aplicados ao planejamento ambiental, cujo objetivo é estabelecer diretrizes para a ocupação e o uso do solo de forma mais sustentável.

Uma bacia hidrográfica ou bacia de drenagem é um sistema hidrogeomorfológico dinâmico composto por diversos componentes abióticos, bióticos e antrópicos que interagem entre si (relevo, rede hidrográfica, litologia, solos, vegetação, clima, uso do solo, entre outros), onde cada qual possui uma função dentro do arranjo dinâmico do sistema.

Em uma bacia hidrográfica as vertentes correspondem a maior parte da área drenada. Estendem-se do interflúvio até o canal fluvial e apresentam a superfície topográfica como limite superior e a superfície rochosa inalterada como limite inferior (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Ao considerarmos uma vertente um sistema aberto e dinâmico, podemos concluir que os processos que nelas ocorrem resultam do recebimento e da perda tanto de matéria como de energia. As fontes primárias de matéria são, segundo Christofolletti (1980), a precipitação, a rocha subjacente, o solo, e a vegetação, enquanto as fontes originais de energia são constituídas pela gravidade e radiação solar.

Os vários processos que se verificam na vertente (escoamento, intemperismo, movimentos de massa, infiltração, etc.) são responsáveis pelo fluxo de matéria e energia através desse sistema que acaba sendo transferido para o sistema fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1980), ou seja, as vertentes são sistemas abertos e dinâmicos, parte de um sistema aberto e dinâmico mais abrangente: a bacia hidrográfica, da qual também fazem parte os sistemas fluviais. Sendo assim, pode-se considerar que todos os processos ocorrentes

nas vertentes condizionarão processos dinâmicos ocorrentes nos fundos de vale e nas planícies aluviais da bacia hidrográfica.

Nesse sentido, além de suas características morfológicas, os diversos tipos de uso da terra nas vertentes também adquirem caráter de grande relevância, tendo em vista que a alteração da cobertura vegetal natural pela ação humana altera os processos ali ocorrentes, alterando de forma significativa os fluxos de matéria e energia na bacia.

Ressalta-se que nas colinas do Oeste Paulista as vertentes côncavas geralmente correspondem às áreas onde se encontram as cabeceiras de drenagem. Cabeceiras de drenagem “são bacias ou vales não canalizados, possuindo conformação topográfica côncava em planta, correspondendo aos primeiros formadores da rede de drenagem, podendo constituir o prolongamento direto da nascente dos canais fluviais de 1ª ordem” (GUERRA, 2001, p. 97).

As vertentes constituem partes integrantes das bacias hidrográficas e não podem ser descritas de modo integral sem que se considere as relações delas com a rede hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1980). O autor chama atenção para a estreita relação que há entre as vertentes e os cursos de água da bacia. Nas palavras do mesmo,

[...]a forma e o ângulo das vertentes deverão estar ajustadas para fornecer a quantidade de detritos que o curso de água pode transportar. Inversamente, os parâmetros hidráulicos dos cursos de água deverão estar ajustados para transportar a quantidade de material fornecida pelas vertentes (CHRISTOFOLETTI, 1980, p.60).

Ainda seguindo o raciocínio do autor, quando há um equilíbrio na relação Vertente-Rio toda a bacia hidrográfica pode ser considerada como em estado de ajustamento, ou seja, qualquer modificação nas vertentes da bacia poderá implicar no ajuste dos cursos de água da rede drenagem.

Rocha (2015) analisou a conectividade estrutural e funcional hidro-sedimentológica na bacia do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista, e concluiu que a produção de água e sedimentos estão estruturalmente conectadas e associadas às áreas de maior declividade na bacia. Os locais onde ocorreram altos valores de escoamento superficial estão diretamente associados às áreas com altas declividades, assim como os valores obtidos na concentração de sedimentos em suspensão obtidos foram maiores no alto curso do rio, onde a bacia é mais declivosa, indicando também maior produção de sedimentos a montante, o que sugere uma possível perda maior de solo nas vertentes desse setor da bacia, evidenciando a importância de se considerar a declividade para o planejamento do uso do solo numa bacia hidrográfica.

Enquanto que nas vertentes as águas pluviais desempenham o papel principal na esculturação do relevo, nos fundos de vale esse papel é desempenhado pelos rios. Os fundos de vale podem ter forma de V, vales encaixados, ou de berço, onde se encontram os terraços e as planícies aluviais.

Os rios representam o principal meio de transporte de produtos elaborados pela intemperização das rochas nas vertentes. Seu trabalho consiste em erodir, transportar e depositar sedimentos. O escoamento fluvial é parte integrante do ciclo hidrológico e a sua alimentação se processa pelas águas superficiais precipitadas e subterrâneas (CHRISTOFOLETTI, 1981). Os principais fatores que condicionam os processos de transporte, erosão e sedimentação nos rios, são: a velocidade da corrente, a declividade do leito, as características físicas dos sedimentos (tamanho, densidade e forma), a existência de pontos fixos no leito e as variações da vazão do rio, estas diretamente relacionadas com as variações climáticas e com o uso do solo da bacia, principalmente quando se trabalha com bacias de rios de ordem inferior, cuja área drenada não ultrapassa 1000 km².

A morfologia do canal e das planícies de inundação resultam do movimento, da retirada e da deposição dos sedimentos transportados pelos rios, e qualquer alteração desse movimento resultam em mudanças na morfologia do canal e da planície aluvial.

Atualmente novos paradigmas provenientes de outras áreas do conhecimento têm direcionado a interpretação e os estudos dos ambientes fluviais incorporando conceitos como o de contínuo fluvial (VANNOTE, MINSHALL, CUMMINS, SEDELL, CUSHING, 1980) e de pulso de inundação (JUNK, BAYLEY, SPARKS, 1989), que são extremamente importantes para a compreensão da dinâmica dos processos em uma bacia hidrográfica. O primeiro considera que o sistema fluvial apresenta um gradiente contínuo, não somente de condições físicas, como também de adaptações bióticas com padrões longitudinais de carregamento, transporte, utilização e armazenamento de matéria orgânica e isso implica no fato de que, todos os processos dinâmicos ocorrentes nas vertentes de toda a bacia hidrográfica, principalmente as vertentes de primeira ordem, poderão influenciar na dinâmica do corpo hídrico, não apenas na vazão e na carga sólida transportada pelo corpo hídrico, como também nas diferentes relações ecológicas que se estabelecem ao longo do mesmo. Já o conceito de pulso de inundação (JUNK, BAYLEY, SPARKS, 1989) é gerado pelas características geomorfológicas e hidrológicas da bacia e é responsável pelas trocas laterais entre o canal do rio e sua planície. As características da morfologia dos rios e riachos de uma

bacia hidrográfica guardam relação estrita com as relações ecológicas que se estabelecem neles.

Segundo Ward (1989) os sistemas fluviais estão submetidos a quatro dimensões: a longitudinal, a lateral, a vertical e a temporal. A primeira se refere à interação entre a cabeceira do rio e seus afluentes com o rio principal, a segunda à interação do canal do rio com sua planície aluvial, a terceira à interação entre o rio e o corpo freático e a quarta dimensão que provém da escala temporal, e a compreensão dessa dinâmica é de extrema importância para se compreender o porquê dos processos que ocorrem ao longo do percurso de um rio.

A vazão é importante para manter o contato entre rios e suas planícies. A alternância entre os períodos de inundação e de recessão das águas promovem grandes transformações nos habitats das planícies de inundação, o que faz desse sistema algo muito complexo, seja ao se considerar a hidrodinâmica, a conectividade e os processos geocológicos (ROCHA, 2010).

Os sistema rios-planície de bacias hidrográficas menores (aqui consideramos bacias de no máximo 1000 km²) possuem relações talvez menos complexas que os grandes sistemas, porém, nas bacias menores os impactos causados pela ação do homem, provavelmente são mais acentuados e mais evidentes, dadas as características hidrológicas de pequenas bacias hidrográficas. Tomando como exemplo o conceito de pulso de inundação, enquanto nos grandes rios, os pulsos duram da ordem de dias ou até meses e ocorrem em períodos recorrentes nas cheias, nas bacias menores, as cheias duram poucas horas, e ocorrem em períodos esporádicos, normalmente ligados a eventos com grande volume de precipitação, que muitas vezes não chegam a alcançar toda a bacia, como uma chuva de verão, por exemplo. As relações que se desenvolvem nessas planícies, devem ser, portanto menos complexas que aquelas que envolvem grandes sistemas, porém, não menos importantes. Ao contrário, quando pensamos nos impactos decorrentes da ação humana nesses sistemas, podemos considerar que nos sistemas menores eles são mais acentuados do que nos sistemas maiores.

A importância do estudo do relevo de uma bacia hidrográfica não está apenas em compreender a relação destas com os processos físicos naturais ali ocorrentes, como o condicionamento hidrológico e a produção de sedimentos, mas também para o planejamento do uso e ocupação do solo, em áreas urbanas ou rurais, visando evidentemente, o ajuste das atividades à eventuais limitações físicas por conta das formas do relevo a fim de evitar danos materiais e econômicos.

Com relação ao uso e à ocupação do solo, quando falamos em ocupação do relevo para fins residenciais e expansão de áreas urbanas, os topos das colinas, configuram áreas favoráveis, pois a declividade pouco acentuada não exige obras complexas de engenharia barateando os custos de implantação dos loteamentos e da construção de residências. Ao contrário, as vertentes, conforme o grau de declividade, possuem restrições quanto ao uso do solo.

Pedro (2008) chama atenção para o fato de que nas áreas urbanas, conforme o grau de declividade, as vertentes do tipo côncavas e convexas necessitam de obras de engenharia específicas quando forem realizadas intervenções para a expansão urbana. Isso decorre principalmente pelo fato de exigir obras de cortes de relevo e terraplanagem, o que exige uma atenção especial pela necessidade da construção de muro de arrimo de concreto como forma de trazer segurança aos moradores.

Vagula (2011) estudou os impactos ambientais decorrentes da expansão territorial urbana sobre as cabeceiras de drenagem do Córrego da Onça na zona norte de Presidente Prudente (SP) e concluiu que a morfologia das cabeceiras de drenagem associada à alta densidade de ocupação e impermeabilização do solo e à inexistência de rede de drenagem de águas pluviais, pode favorecer processos de alagamentos nos pontos mais baixos dos loteamentos, podendo acarretar danos materiais aos moradores, e processos de ravinamento e voçorocamento nas imediações dos loteamentos.

Assim como nas áreas urbanas, no meio rural, os topos e as vertentes das colinas com baixa declividade são mais adequados para as atividades agrícolas, pois as declividades pouco acentuadas diminuem a possibilidade de erosão do solo e conseqüentemente uma possível perda das camadas mais férteis do solo, além de não exigirem muitos gastos com a construção de terraceamentos.

Especificamente as vertentes côncavas, por formarem um embaciamento ao longo de seu comprimento de rampa, concentram o escoamento superficial, o que pode favorecer a formação de processos de ravinamento e voçorocamento.

Os fundos de vale e as planícies aluviais configuram, portanto, áreas impróprias para atividades humanas, pois correspondem às áreas úmidas, onde predominam a existência de solos hidromórficos, além de configurarem áreas sujeitas à inundação. Além disso, configuram áreas protegidas pelo Código Florestal.

2.3 Fragilidade ambiental a processos erosivos

Os estudos da fragilidade ambiental são imprescindíveis ao planejamento ambiental de uma bacia hidrográfica uma vez que proporcionam melhor definição das diretrizes e ações a serem implantadas no espaço físico-territorial servindo de base para o zoneamento ambiental e fornecendo subsídios à gestão do território.

Segundo Ross (2009) quando se pretende considerar a fragilidade dos ambientes naturais ou antropizados para o planejamento territorial ambiental, os estudos devem se basear no conceito de Unidades Ecodinâmicas (TRICART, 1977).

Conforme já citado, ao elaborar o conceito de Unidades Ecodinâmicas, Tricart (1977), sob a perspectiva sistêmica, parte do pressuposto de que na natureza as trocas de energia e matéria se processam por relações de equilíbrio dinâmico. Esse equilíbrio, entretanto, é frequentemente alterado pelas intervenções antrópicas, gerando um estado de desequilíbrio temporário. Os ambientes em estado de equilíbrio dinâmico foram considerados por ele como estáveis, enquanto que os ambientes em desequilíbrio foram considerados instáveis.

Ross (1994) adaptou a proposta de Tricart (1977) para que pudesse ser utilizada como subsídio ao planejamento ambiental escalonando as unidades ecodinâmicas instáveis, ou de instabilidade emergente em cinco graus que variam desde instabilidade muito fraca até muito forte.

A análise empírica da fragilidade, segundo a proposição de Ross (1994) exige estudos básicos do relevo, do solo, do uso da terra e do clima que tratados de forma integrada, possibilitam chegar a um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais.

As informações climáticas se prestam tanto para a análise da potencialidade agrícola como para a avaliação da fragilidade dos ambientes (ROSS, 1994). No Brasil, onde predominam climas quentes e úmidos, a erosão hídrica corresponde a mais importante forma de erosão. Tal tipo de erosão é causada pela chuva e pelo escoamento superficial, e variam em função do grande número de fatores (distribuição, intensidade, volume e duração das chuvas, etc.).

O Quadro 1 apresenta os níveis de fragilidade segundo as características pluviométricas propostos por ROSS (inédito) *apud* SPÖRL (2001).

Quadro 1: Níveis de fragilidade segundo as características pluviométricas

Nível de fragilidade	Características pluviométricas
Muito baixo	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 1000 mm/ano
Baixo	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2000 mm/ano
Médio	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno, e no verão com maiores intensidades de dezembro a março.
Alto	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, períodos secos entre 3 e 6 meses no inverno, alta concentração de chuvas no verão entre novembro e abril, quando ocorrem de 70 a 80% do total de chuvas.
Muito alto	Situação pluviométrica com distribuição regular ou não ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2500 mm/ano; ou ainda, comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900 mm/ano (semiárido)

Fonte: ROSS (inédito) *apud* SPÖRL (2001)

Elaboração: Paulo Roberto Vagula

Os estudos dos solos servem para a avaliação da aptidão agrícola e da capacidade do uso, além de subsidiar a análise da fragilidade do ambiente face às ações antrópicas ligadas à agropecuária (ROSS, 1994).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999) as propriedades físicas, principalmente estrutura, textura, permeabilidade e densidade, assim como as características químicas e biológicas influenciam diretamente na erodibilidade dos solos.

A estrutura “refere-se ao padrão de arranjo das partículas de areia, silte, argila e de matéria orgânica nos solos” (BRADY e WEIL, 2013, p. 114) e está relacionada com o nível de estabilidade dos agregados do solo. A classificação pode variar de “fraca”, passando por “moderada” até “forte”, à medida que aumenta a força de união entre os agregados. A resistência à erosão é proporcional ao grau de desenvolvimento, ou seja, solos com grau de desenvolvimento forte são mais resistentes à erosão causada tanto pelo impacto das gotas da chuva, quanto pelo arraste causado pela enxurrada. Além disso, solos com boa estruturação, além de resistir melhor ao impacto da chuva, favorecem a infiltração da água reduzindo a erosão por escorrimento (EMBRAPA, 2008).

Bertoni e Lombardi Neto (1999) destacam dois aspectos da estrutura do solo que devem ser considerados nos estudos da erosão. O primeiro refere-se a propriedade físico-química da argila que influenciam na estabilidade em presença da água. Enquanto os agregados dos solos com argila montmorilonítica são pouco estáveis em água, aqueles com argila caulínica são mais estáveis, a maior estabilidade dos agregados condiciona menos enxurrada e menos erosão. O segundo refere-se a propriedade biológica causada pela abundância de matéria orgânica em estado de antiga decomposição. A diminuição da erosão

pela estabilidade dos agregados deve-se ao efeito de coesão das partículas proporcionado pelos produtos em decomposição.

A textura, ou seja, o tamanho das partículas, é, ainda segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), um dos fatores que influem na maior ou menor quantidade de solo arrastado pela erosão. Assim, por exemplo, o solo arenoso, com espaços porosos grandes, durante uma chuva de pouca intensidade, pode absorver toda a água não havendo, portanto, nenhum dano; entretanto, como possui baixa proporção de partículas argilosas que atuam como uma ligação entre as partículas grandes, pequena quantidade de enxurrada que escorre na superfície pode arrastar grande quantidade de solo. Já no solo argiloso, com espaços porosos bem menores, a penetração da água é reduzida, escorrendo mais na superfície, entretanto a força de coesão das partículas é maior, o que faz aumentar a resistência à erosão.

Ainda segundo Bertoni e Lombardi Neto (1999), a quantidade de matéria orgânica no solo é de grande importância no controle da erosão. Nos solos argilosos modifica-lhes a estrutura melhorando as condições de arejamento e de retenção de água, nos solos arenosos a aglutinação das partículas firmando a estrutura e diminuindo o tamanho dos poros aumenta a capacidade de retenção de água. A profundidade do solo e as características do subsolo contribuem para a capacidade de armazenamento da água.

Para a definição dos níveis de fragilidade da variável Solos, Ross (1994) considerou as características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessuras dos horizontes dos diversos tipos de solos, dividindo-os de acordo com os diferentes graus de fragilidade, conforme Quadro 2.

Quadro 2: Níveis de fragilidade segundo os tipos de solos

Nível de fragilidade	Tipos de solos (De acordo com o texto original do autor)
Muito baixa	Latossolo roxo Latossolo vermelho-escuro Latossolo vermelho-amarelo textura argilosa
Baixa	Latossolo Amarelo textura média argilosa Latossolo vermelho-amarelo textura média argilosa
Média	Latossolo vermelho-amarelo Terra Roxa Terra Bruna Podzólico vermelho-amarelo textura média argilosa
Forte	Podzólico Vermelho-amarelo textura média arenosa Cambissolos
Muito forte	Podzolizados com cascalho Litólicos Areias Quartzozas

Fonte: Ross (1994)

Elaboração: Paulo Roberto Vagula

A partir do que foi proposto por Ross (1994) e com base em IAC (2016) foi feita uma atualização do quadro, dividindo os solos nas diferentes classes de fragilidade de acordo com a nomenclatura atual, conforme Quadro 3.

Quadro 3: Solos do estado de São Paulo de acordo com os níveis de fragilidade

Nível de fragilidade	Solos
Muito baixa	Latossolo Vermelho distroférico ou acriférico textura argilosa ou muito argilosa
	Latossolo Vermelho distrófico A moderado textura argilosa ou muito argilosa
	Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico A moderado ou A proeminente textura argilosa ou muito argilosa
	Latossolo Vermelho-Amarelo câmbico ou Latossolico distrófico A moderado ou A proeminente textura argilosa
	Latossolo Vermelho-Amarelo A moderado textura argilosa
	Latossolo Vermelho eutroférico ou distroférico ou acriférico A moderado ou A chernozêmico textura argilosa ou muito argilosa
Baixa	Latossolo Amarelo textura média argilosa
	Latossolo vermelho-amarelo textura média argilosa
Média	Latossolo Vermelho-Amarelo ou Latossolo Amarelo distrófico A moderado textura média
	Latossolo Vermelho distrófico A moderado textura média ou Latossolo Vermelho eutrófico ou distrófico A moderado textura média
	Nitossolo Vermelho eutroférico ou distroférico A moderado textura argilosa ou muito argilosa
	Argissolo Vermelho-Amarelo ou Argissolo Vermelho distrófico A moderado textura argilosa
Forte	Argissolo Vermelho-Amarelo ou Argissolo Amarelo ou Argissolo Vermelho eutrófico ou distrófico, ambos A moderado textura arenosa/média
	Argissolo Vermelho-Amarelo Argissolo Vermelho eutrófico ou distrófico A moderado textura arenosa/média
	Argissolo Vermelho-Amarelo ou Argissolo Amarelo distrófico A moderado textura arenosa/média
	Argissolo Vermelho-Amarelo ou Argissolo Amarelo distrófico, ambos A moderado textura arenosa/média
	Argissolo Vermelho-Amarelo ou Argissolo Amarelo distrófico ou alissolo, A moderado ou A proeminente textura arenosa/média
	Cambissolos
Muito forte	Argissolo Vermelho ou Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico ou distrófico A moderado textura média/argilosa ou argilosa/argilosa com cascalho ou cascalhenta
	Neossolo Litólico ou Cambissolo de diversos substratos, texturas e graus de saturação por bases
	Neossolo Quartzarênico distrófico a moderado
	Gleissolo Melânico ou Gleissolo Háptico ou Organossolo com graus de saturação por bases, respectivamente.

Baseado em Ross (1994) e IAC (2006)

Elaboração: Paulo Roberto Vagula

A importância de se considerar o relevo para a análise da fragilidade reside no fato de que este condiciona os processos de escoamento e infiltração da água, e consequentemente na gênese e dinâmica dos processos erosivos.

A inclinação das vertentes é um atributo bastante importante a considerar nos estudos ambientais de bacias hidrográficas. Aliada a outras variáveis, como cobertura vegetal e rugosidade do terreno, a inclinação das vertentes é responsável pela maior ou menor velocidade dos fluxos de água que, por sua vez, podem conduzir à atuação dos processos erosivos (BOTELHO, 2015). Nos compartimentos de relevo onde a declividade é menos acentuada como nos topos, terraços e planícies, predomina a infiltração e consequentemente a pedogênese, já naqueles onde as declividades são mais acentuadas, como nas vertentes, prevalece o escoamento superficial e subsuperficial e consequentemente predomina a morfogênese.

A forma das vertentes é responsável pela definição dos tipos de escoamento. A curvatura vertical está relacionada aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo, através da superfície, causados pela gravidade. Já a curvatura horizontal, está relacionada à intensidade dos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície. Assim como a curvatura vertical, desempenha papel importante sobre o balanço hídrico e o equilíbrio entre os processos de pedogênese e morfogênese (FLORENZANO, 2008).

De forma geral, pode-se considerar que as vertentes convexas geralmente são distribuidoras de fluxos enquanto que as vertentes de curvatura côncava são coletoras. As vertentes côncavas concentram o escoamento superficial, pois formam embaciamentos ao longo de seus comprimentos de rampa, fator que pode influenciar na formação de processos de erosão linear.

Sendo assim, Ross (1994) definiu para escalas médias e pequenas (entre 1:50.000 e 1:250.000) que correspondem ao 3º táxon e ao 4º táxon da proposta de classificação do relevo elaborada por Ross (1992) a utilização da Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo como variável referente à morfologia do terreno, enquanto que para escalas maiores que 1:50.000 deve-se utilizar as Formas de vertentes (correspondentes ao 5º táxon) e as classes de declividades, conforme esquematizado no Quadro 4.

Quadro 4: Fragilidade de acordo com a Matriz dos Índices de Dissecação do relevo e com a forma e declividade das vertentes

MATRIZ DOS ÍNDICES DE DISSECAÇÃO (ROSS, 1992)					
Grau de entalhamento dos vales (classes)	Dimensão interfluvial média (classes)				
	Muito grande (1) >3.750	Grande (2) 1750 a 3750	Média (3) 750 a 1750	Pequena (4) 250 a 750	Muito pequena (5) <250
Muito fraco (1) <20m	11	12	13	14	15
Fraco (2) 20 a 40m	21	22	23	24	25
Médio (3) 40 a 80m	31	32	33	34	35
Forte (4) 80 a 160m	41	42	43	44	45
Muito forte (5) >160m	51	52	53	54	55

NÍVEIS DE FRAGILIDADE SEGUNDO OS ÍNDICES DE DISSECAÇÃO, DECLIVIDADE E CURVATURA			
Nível de fragilidade	De acordo com a Matriz dos Índices de dissecação	De acordo com a declividade (%)	De acordo com a curvatura do terreno
Muito baixa (1)	11	0 - 6	-
Baixa (2)	12;21;22	6 - 12	-
Média (3)	13;23;31;32;33	12 - 20	Retilínea
Alta (4)	14;24;34;41;42;43;44	20 - 30	Convexa
Muito alta (5)	15;25;35;45;51;52;53;54;55	>30	Côncava

Fonte: Adaptado de Ross (1992) e Ross (1994)
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

Para a variável uso e cobertura da terra, considera-se o grau de proteção que cada tipo de cobertura oferece aos solos face aos processos erosivos induzidos pela ação das águas pluviais. O Quadro 5 apresenta os níveis de proteção dos solos segundo os tipos de cobertura vegetal e o uso da terra.

Quadro 5: Níveis de proteção dos solos segundo os tipos de cobertura vegetal e os usos da terra

Nível de Proteção	Tipos de cobertura vegetal e usos da terra
Muito alto	Florestas/Matas naturais; Florestas cultivadas com biodiversidade
Alto	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso; formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa) Mata homogênea de pinus densa, pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivos de ciclo longo como cacau.
Médio	Cultivos de ciclo longo com curvas de nível/terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas
Baixo	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja com solo exposto entre ruas); culturas de ciclo curto com curvas de nível/terraceamento (arroz, trigo, soja, feijão, milho, etc.)
Muito baixo	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado ou gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclos curtos sem práticas conservacionistas.

Fonte: Ross (1994)
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A partir da proposição inicial dos objetivos e do levantamento da bibliografia que fundamentou o referencial teórico, deu-se prosseguimento à pesquisa com o levantamento de dados e de imagens orbitais disponibilizados pelos órgãos governamentais que pudessem subsidiá-la. Após essa etapa iniciaram-se os procedimentos metodológicos que estão descritos na sequência.

3.1 Delimitação da bacia hidrográfica

Nesta etapa foram utilizadas as imagens FBS do sensor PALSAR do satélite japonês ALOS (Advanced Land Observing System). O PALSAR é um radar imageador de abertura sintética que opera na banda L, o que minimiza bastante os problemas com interferência atmosférica.

Foram utilizadas para nessa pesquisa as imagens ALPSRP266506740 e ALPSRP266506730, com data de aquisição de 25 de janeiro de 2011. As imagens estão disponíveis em <https://vertex.daac.asf.alaska.edu>.

No *software* QGis realizou-se a mosaicagem com as duas cenas de modo a cobrir toda a área de estudo. Em seguida importou-se esse mosaico para o sistema TerraHidro, no qual foram realizados os procedimentos de extração de fluxo e delimitação automática da bacia hidrográfica.

Os resultados foram vetorizados, exportados no formato *shapefile* e importados novamente no banco de dados criado no QGis onde foram suavizadas as linhas.

3.2 Análise fisiográfica

A análise fisiográfica foi baseada em informações sobre a litologia, a estrutura, a neotectônica, a geomorfologia, os solos e a pluviosidade da bacia.

Para a caracterização geológica da área de estudo foram utilizados os trabalhos de Milani (2007); IPT (1981); CPRM (2005); Etchebehere (2000); Fernandes (1998); Fernandes e Coimbra (2000); Sallun (2003); Godoy, Zanardo, Martin-Cocher, Perusi, e Tsuchyia, (2006); Suarez (1973); Suarez (1976); Suarez (1991); Godoy (1989); dentre outros.

O esboço geológico da bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari foi elaborado com base no Mapa Geológico do Estado de São Paulo (CPRM, 2005), escala 1:750.000, posteriormente aprimorado por São Paulo (2014), que redefiniu os limites das formações e cartografou os depósitos quaternários nas planícies aluviais. O arquivo *shapefile* está disponível no site da Secretaria Estadual de Meio Ambiente. Para o recorte, reprojeção do *shapefile* e edição do mapa foi utilizado o software QGIS.

A análise estrutural foi realizada com base nos trabalhos de IPT (1989) e de Etchebehere (2000), no mapa de lineamentos estruturais, em imagens de satélite e no trabalho de campo.

O esboço de lineamentos estruturais das drenagens e do relevo foi realizado a partir da interpretação das imagens Alos PALSAR pelo software QGIS. A imagem interpretada foi gerada a partir de um sombreamento em escala de cor de cinza. A direção da luz sobre a imagem é de inclinação 45 e azimute 45°. A imagem foi analisada na escala 1:100.000.

As informações sobre neotectônica foram compiladas dos trabalhos de Etchebehere (2000) e Guedes (2014). Ambos se basearam no estudo dos perfis longitudinais das drenagens. O método por eles utilizado baseia-se na compreensão de que os cursos d'água estão em busca de um ponto de equilíbrio e que a alteração no seu nível de base levará a drenagem a procurar um novo ajuste, buscando um novo ponto de equilíbrio, seja erodindo o seu próprio leito, seja por agradação. Para determinar os pontos de trechos anômalos (em desequilíbrio) nos perfis longitudinais de cursos d'água, plotam-se a curva de melhor ajuste no conjunto de pares ordenados "altitude x distância da cabeceira". Quanto maior o afastamento da drenagem em relação à curva, maior seu nível de desajuste que pode se mostrar acima da linha (o que indica área de soerguimento) ou abaixo (que se mostram em subsidência).

A caracterização geomorfológica foi realizada com base em quatro produtos cartográficos: mapa hipsométrico, mapa clinográfico, mapa de amplitude altimétrica e mapa de declividade média. Foram utilizadas ainda fotos tiradas durante saídas a campo e imagens do Google Earth®.

O mapa hipsométrico e o mapa clinográfico foram elaborados a partir do MDE Alos PALSAR no *software* QGIS. Para a elaboração do mapa clinográfico foram consideradas as classes de declividade propostas por Ross (1994), que correlacionam as declividades do terreno com diferentes graus de fragilidade, conforme estabelecido pelo autor. O mapa de amplitude altimétrica e o mapa de declividade média foram retirados de São Paulo (2014).

Por fim, a caracterização pedológica da área de estudo foi feita com base no Mapa de Solos do Estado de São Paulo, elaborado por Rossi (2017) e em EMBRAPA (2013). O arquivo *shapefile* do mapa é disponibilizado gratuitamente no site do Instituto Florestal do Estado de São Paulo, de onde foi baixado e adaptado no QGIS.

Foram utilizadas ainda a rede de drenagem do IBGE na escala 1:50.000, folhas SF-22-V-D-VI-3 (Alfredo Marcondes), SF-22-V-D-VI-4 (Mariápolis), SF-22-Y-B-III-1 (Presidente Prudente) e SF-22-Y-B-III-2 (Martinópolis), disponibilizadas gratuitamente no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os arquivos foram obtidos no formato “DGN”, convertidos no AutoCAD para “DWG”, e posteriormente georreferenciados no QGIS.

3.3 Levantamento histórico de ocupação e uso atual da terra

O levantamento histórico de ocupação da área de estudo foi feito com base em informações coletadas em Sampaio (1890), Abreu (1965), Daltozo (1999) e Daltozo (2007), além de imagens disponibilizadas no site do Instituto Geográfico e Cartográfico do estado de São Paulo (IGC) e no Museu Virtual de Martinópolis, página do Facebook. Às informações históricas foram adicionadas informações ambientais compiladas de Francisco (1989) e Trivellato (2013) sobre os impactos decorrentes da ocupação do Oeste Paulista.

O mapa de uso da terra foi elaborado a partir de uma cena do satélite Landsat 8 de órbita/ponto 222/075, tomada no dia 12 de setembro de 2016. A imagem está disponível para download no *site* do Serviço Geológico Americano (www.earthexplorer.usgs.gov). As classes e suas respectivas cores foram definidas com base no Manual Técnico de Uso da Terra disponibilizado pelo IBGE (2013).

3.4. Aplicação da análise multicritério para a determinação da fragilidade ambiental

Para a determinação da fragilidade ambiental foi realizada uma análise multicritério em ambiente SIG com base na metodologia proposta por Ross (1994) com as devidas adequações para a área de estudo, embasadas em Moroz-Caccia Gouveia (2015).

Para a definição dos níveis de fragilidade da variável “**Relevo**”, foram utilizadas as formas de vertentes e as classes de declividades. Para se estabelecer os intervalos das classes de declividade foram utilizados os intervalos já consagrados nos estudos de Capacidade de

Uso/ Aptidão Agrícola associados aos valores já conhecidos de limites críticos de geotecnia, conforme estabelecido por Ross (1994). O Quadro 6 apresenta as classes e as categorizações que foram utilizadas para a realização desse trabalho bem como o peso estabelecido para cada uma das classes.

Quadro 6: Níveis de fragilidade segundo as declividades e as curvaturas do terreno

Fragilidade (Peso)	Declividade (%)	Curvatura
Muito fraca (1)	0 – 6	-
Fraca (2)	6 – 12	-
Média (3)	12 – 20	Retilínea
Alta (4)	20 – 30	Convexa
Muito alta (5)	>30	Côncava

Elaboração: Paulo Roberto Vagula

Para a definição dos níveis de fragilidade da variável “Solos” e também dos pesos considerados para a análise multicritério, foram consideradas as características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade/espessuras dos horizontes dos diversos tipos de solos, conforme preconizado por Ross (1994). Com base na metodologia por ele proposta, a partir do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (ROSSI, 2017), as unidades de mapeamento foram agrupadas em três classes de fragilidade distintas, conforme Quadro 7.

Quadro 7: Níveis de fragilidade segundo os tipos de solos presentes na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari

Fragilidade (Peso)	Solos	Unidade de mapeamento	Descrição da unidade de mapeamento
Média (3)	Latossolos	LV21	LATOSSOLO VERMELHO ou VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado ou fraco textura média álico ou não álico
	Argissolos	PVA31	Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO e VERMELHO latossólico ou típico, álico ou não álico, A moderado ou fraco textura argilosa ou média/argilosa + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO/AMARELO típico A moderado, textura argilosa, ambos Distróficos
Alta (4)	Argissolos	PVA1	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO ou VERMELHO Eutrófico arênico ou abruptico A moderado ou fraco textura arenosa/média
		PVA6	Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico + ARGISSOLO VERMELHO Distrófico e Eutrófico ambos textura arenosa/média e média
		PVA10	Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico ou Distrófico espessoarênico ou abruptico, textura média/argilosa, arenosa/argilosa ou arenosa/média + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura média, álico, ambos A moderado
		PVA44	Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO abruptico ou não abruptico, arênicos ou espessoarênicos, A moderado ou proeminente, textura arenosa/média + NEOSSOLO LITÓLICO textura média, fase sedimentos Grupo Bauru, ambos Eutróficos/Distróficos, A moderado ou proeminente
Muito alta (5)	Gleissolos	GX2	Complexo Indiscriminado de GLEISSOLO HÁPLICO ou MELÂNICO com ou sem ocorrência de ORGANOSSOLO
		GX5	Complexo de GLEISSOLO HÁPLICO e NEOSSOLO FLÚVICO, ambos Distróficos típico A moderado ou proeminente textura indiscriminada

Elaboração: Paulo Roberto Vagula

É importante que se faça uma ressalva com relação ao produto cartográfico por nós utilizado já que nele há a adoção de unidades combinadas de mapeamento. Segundo o IBGE (2015, p. 323) uma **Unidade combinada** corresponde a um “tipo de unidade de mapeamento constituído por mais de uma unidade taxonômica, ocorrendo em determinada situação ambiental ou ambiente, junto ou não a tipos de terreno”. As unidades combinadas podem ser de três tipos: as **associações**, os **complexos** e os **grupos indiferenciados** de solos. No recorte adotado nesse trabalho aparecem apenas os dois primeiros tipos.

Associações de solos - são grupamentos de unidades taxonômicas, associadas geográfica e regularmente num padrão de arranjo definido. São constituídas por classes de solos distintos, com limites nítidos ou pouco nítidos entre si, que normalmente podem ser separados em levantamentos de solos mais pormenorizados. As associações são estabelecidas, principalmente, pela necessidade de generalizações cartográficas, em função da escala e do padrão de ocorrência dos solos de uma área. [...]As associações de solos mais comuns congregam de duas a cinco classes de solos, na condição de componentes e podem apresentar mais de uma inclusão. Via de regra, o primeiro componente relacionado (componente **dominante**) e o mais expressivo geograficamente dentro da unidade, ou, mais raramente, e o considerado de melhor aptidão agrícola quando há equivalência em termos de expressão geográfica. Os demais componentes, denominados **subdominantes** ocupam sucessivamente as menores áreas (IBGE, 2015, p.324).

Já os **complexos** correspondem a associações de solos, cujos componentes taxonômicos não podem ser individualmente separados nem mesmo em escalas grandes. As unidades taxonômicas que compõem um complexo devem ser necessariamente, identificadas, descritas, coletadas e caracterizadas analiticamente. São, por definição, constituídos por solos distintos, com limites pouco nítidos entre si, de difícil individualização para fins cartográficos (IBGE, 2015).

É importante ressaltar que, no caso das unidades de mapeamentos que correspondem a associação de solos, em especial aquelas que congregam solos diferentes, como é o caso da PVA10, PVA31 e PVA44, definiu-se como critério para a escolha dos níveis de fragilidade a classe de solo dominante.

Para a variável “**Uso e cobertura da terra**”, considerou-se o grau de proteção que cada tipo de cobertura oferece aos solos face aos processos erosivos induzidos pela ação das águas pluviais. O Quadro 8 apresenta os níveis de proteção dos solos segundo os tipos de cobertura vegetal e o uso da terra.

Quadro 8: Níveis de proteção dos solos segundo os tipos de cobertura vegetal e os usos da terra

Nível de Proteção (Peso)	Tipos de cobertura vegetal e usos da terra
Muito alto (1)	Cobertura arbórea
Alto (2)	Área construída
Médio (3)	Cobertura herbácea-arbustiva
Muito baixo (4)	Solo exposto

Elaboração: Paulo Roberto Vagula

A variável correspondente à Pluviosidade (distribuição, intensidade, volume e duração das chuvas) não foi considerada, uma vez que toda a bacia, de acordo com os dados climatológicos existentes, compreende o mesmo nível de fragilidade na escala proposta por Ross (1994).

A aplicação da análise multicritério foi realizada através da ferramenta *Weighted Overlay* (*Spatial Analyst tools*) do ArcGIS® versão 10.3, conforme fluxograma apresentado na Figura 3.

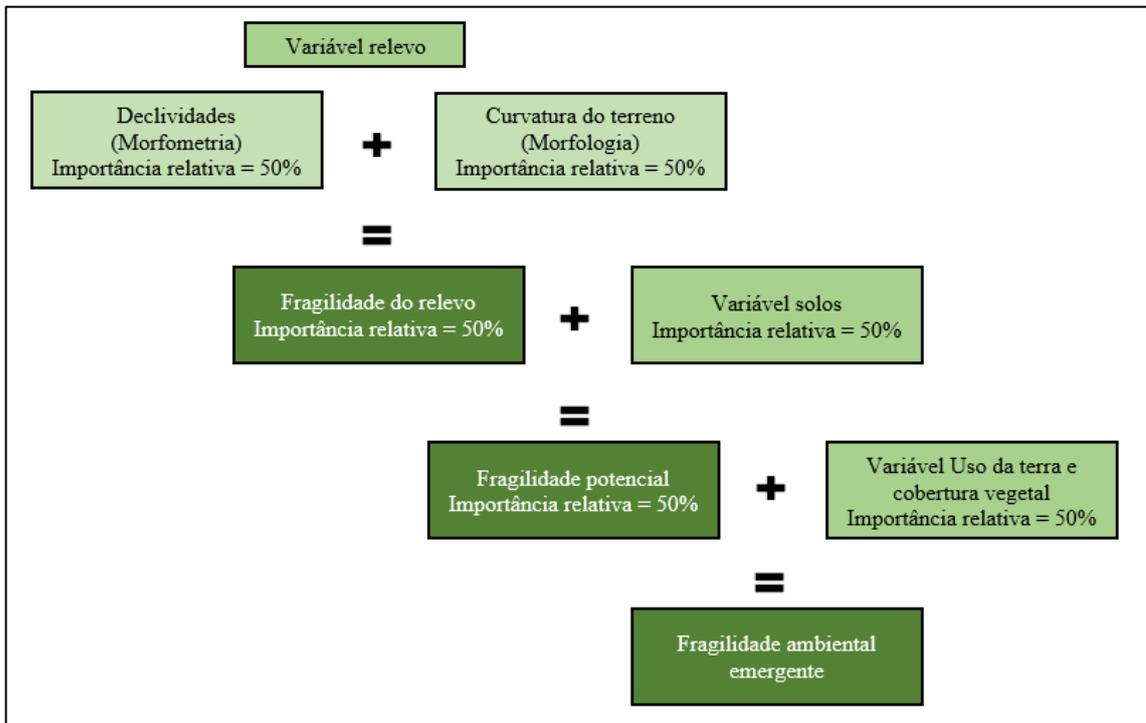


Figura 3: Fluxograma para a produção dos mapas de fragilidade na ferramenta Weighted Overlay.
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

4 ANÁLISE FISIAGRÁFICA DA BACIA

4.1 Litologia

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari encontra-se localizada na bacia sedimentar do Paraná, unidade geotectônica formada a partir do Ordoviciano que, segundo Milani (2007), é composta por seis unidades de ampla escala ou Superseqüências (pacotes rochosos que materializam intervalos temporais com algumas dezenas de milhões de anos de duração e envelopados por superfícies de discordância de caráter inter-regional): Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo).

As três primeiras superseqüências são representadas por sucessões sedimentares que definem ciclos transgressivo-regressivos ligados a oscilações do nível relativo do mar no Paleozóico, ao passo que as demais correspondem a pacotes de sedimentitos continentais com rochas ígneas associadas. As unidades formais da litoestratigrafia, quais sejam os grupos, formações e membros comumente utilizados na descrição do arranjo espacial dos estratos da bacia, inserem-se como elementos particularizados neste arcabouço aloestratigráfico de escala regional (MILANI, 2007, p. 266).

A Superseqüência Bauru que possui espessura máxima preservada de aproximadamente 300 m e área de ocorrência aproximada de 370.000 km² constitui unidade siliciclástica psamítica que se acumulou em condições semiáridas a desérticas sobre os basaltos da Formação Serra Geral, com a qual possui contato basal discordante (não-conformidade). Em sua base geralmente ocorre delgado estrato de aspecto brechóide com clastos angulosos de basalto, matriz arenosa imatura. Em termos litoestratigráficos, a Superseqüência Bauru é formada pelos grupos cronocorrelatos Caiuá e Bauru (passagem lateral gradual e interdigitada). (FERNANDES, 1998; FERNANDES e COIMBRA, 2000; MILANI, 2007).

Segundo Fernandes (1998, p.3),

a Bacia Bauru constituiu depressão desenvolvida por subsidência termo-mecânica, na parte centro-sul da Plataforma Sul-Americana, no Cretáceo Superior, após a ruptura do continente gondwânico e abertura do Oceano Atlântico. Esta bacia, do tipo continental interior, acumulou uma seqüência sedimentar essencialmente arenosa, da qual atualmente encontra-se espessura máxima preservada de quase de 300 metros. Tal seqüência, hoje aflorante em área de 370.000 km², tem por substrato principal rochas vulcânicas da Fm. Serra Geral (K1), sobretudo basaltos, da qual é separada por superfície erosiva regional.

Ainda segundo o autor, o preenchimento da Bacia Bauru teria ocorrido entre o Coniaciano e o Maastrichtiano (Cretáceo Superior), ou seja, entre 89,8 e 66 milhões de anos, aproximadamente, segundo a Tabela Cronoestratigráfica Internacional (COHEN, FINNEY, GIBBARD e FAN, 2013).

Não há consenso entre os geólogos sobre a ordenação estratigráfica da Bacia Bauru. São vários os trabalhos que tratam do assunto, que ao que tudo indica, parece estar longe de uma conclusão. Para este trabalho, optou-se por utilizar a proposta estratigráfica de Fernandes e Coimbra (1994) e Fernandes (1998) em detrimento das demais.

Na perspectiva adotada, a Supersequência Bauru é formada por dois grupos cronocorrelatos: o Grupo Caiuá e o Grupo Bauru. O Grupo Caiuá, segundo Fernandes (1998), assenta-se discordantemente sobre unidades do Grupo São Bento e apresenta passagem transicional e interdigitada para o Grupo Bauru. Segundo Fernandes e Coimbra (1994) o Grupo Caiuá é composto pelas formações Rio Paraná, Goio Erê e Santo Anastácio. Já o Grupo Bauru reúne as formações Vale do Rio do Peixe, Presidente Prudente, São José do Rio Preto, Araçatuba, Marília e Uberaba. Abriga ainda os Analcimitos Taiúva, rochas vulcânicas localmente intercaladas na sequência (FERNANDES, 1998).

As relações estratigráficas da Bacia Bauru estão esquematizadas na Figura 4.

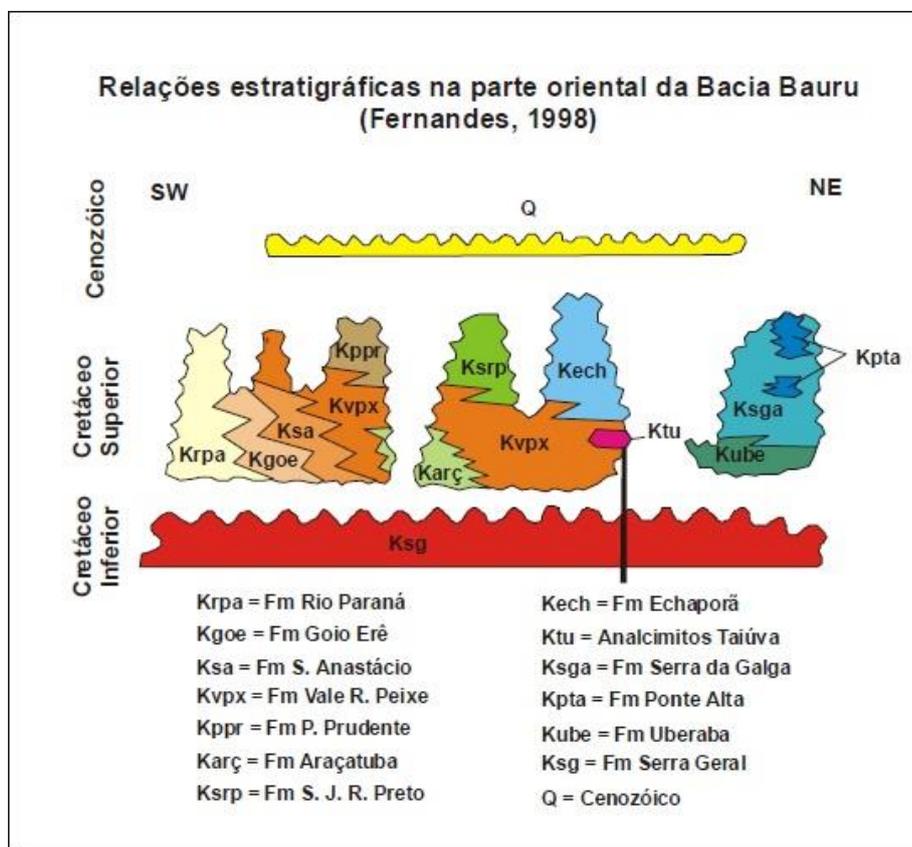


Figura 4: Relações estratigráficas na parte oriental da Bacia Bauru segundo Fernandes (1998)
Fonte: Paula e Silva (2003)

Na bacia do Ribeirão do Mandaguari afloram as formações Vale do Rio do Peixe e Presidente Prudente. Nas planícies aluviais e nos terraços encontram-se depositados materiais aluviais quaternários, conforme se observa na Figura 5.

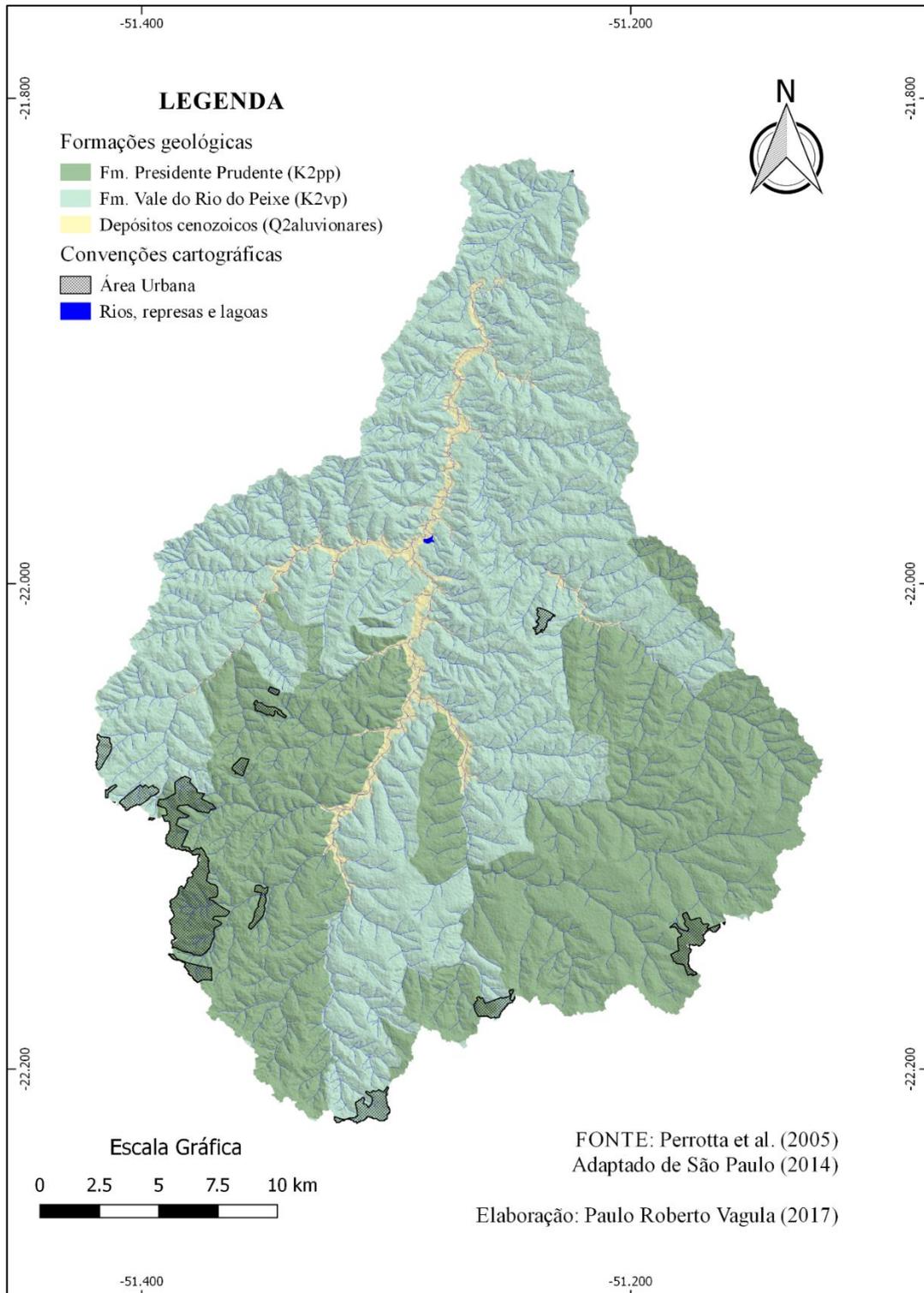


Figura 5: Esboço geológico da bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

A Fm. Vale do Rio do Peixe é constituída por arenitos finos a muito finos e siltitos intercalados, de cores rósea a castanho. Dispõe-se normalmente em estratos tabulares e lenticulares, maciços ou de acamamento plano-paralelo grosseiro, alternados com unidades com estratificação cruzada de médio a pequeno porte, de origem eólica (FERNANDES, 1998).

E a Fm. Presidente Prudente compreende depósitos de arenitos muito finos e lamitos siltosos intercalados, de cor marrom, em estratos tabulares a lenticulares, com estruturas de fluxos aquosos (*climbing ripples* e feições de corte-e-preenchimento), gradação normal para o topo, e brechas intraformacionais (FERNANDES, 1998).

Godoy, Zanardo, Martin-Cocher, Perusi, e Tsuchyia, (2006) delimitaram área onde a cimentação carbonática das rochas areníticas é mais abundante. A sua configuração é quase inteiramente concordante com a área correspondente à subunidade KaV da Formação Adamantina delimitada por Almeida et al. (1981 apud GODOY, ZANARDO, MARTIN-COCHER, PERUSI, e TSUCHYIA, 2006) e abrange praticamente toda a área drenada pelo Ribeirão do Mandaguari e seus afluentes.

Com o apoio de determinações laboratoriais referentes à distribuição granulométrica, petrografia e mineralogia, os autores identificaram maior concentração de cimento carbonático em siltitos e lamitos do que em arenitos, sendo particularmente abundante nos siltitos. Essas litofácies com cimentação diagenética diferencial são encontradas na imediações do espigão divisor de águas entre as bacias do Rio do Peixe, a norte e nordeste, do Rio Santo Anastácio, a noroeste e oeste, e do Rio Paranapanema, a sul e sudeste.

Ainda segundo os autores, nos arenitos a maior porcentagem de cimentação é verificada naqueles onde a quantidade de matriz é relativamente maior. Arenitos subarcoseanos apresentam os valores mais baixos dentre as litofácies pesquisadas. Na comparação entre as rochas amostradas em afloramentos e aquelas coletadas de poços tubulares constatou-se nitidamente a maior presença, tanto pela frequência como pela porcentagem de cimento, nestas últimas, indicando perda de cimentação à medida que os depósitos são expostos às intempéries. Nas áreas onde a cimentação é proporcionalmente menos abundante, são distinguidos como típicos da Formação Vale do Rio do Peixe, os bancos de arenito maciço, identificados com a deposição em lençóis de areia.

A Figura 6 mostra um corte de talude às margens da SP-425, nas proximidades do espigão divisor de águas entre as bacias do Ribeirão do Mandaguari, rio Santo Anastácio, área onde ocorreu cimentação diagenética diferencial.



Figura 6: Corte de talude mostrando os arenitos da Fm. Presidente Prudente
Fonte: Trabalho de campo, 2017

Os depósitos aluvionares correspondem, segundo CPRM (2005), a sedimentos inconsolidados do tipo barras arenosas ou dunas subaquosas, sistema de sedimentação fluvial anastamosado, podendo ser de dois litotipos: depósito de areia ou cascalho, ou depósitos de silte ou argila. A Figura 7 mostra um talude onde se observa a deposição de materiais inconsolidados em uma das planícies aluviais da bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari.



Figura 7: Depósitos aluvionares na planície aluvial do Córrego do Jacaré, afluente do Ribeirão do Mandaguari
Fonte: Trabalho de campo (2016)

4.1.1 Depósitos Cenozoicos

Suarez (1973;1976;1991) reconheceu no Oeste Paulista extensos depósitos constituídos de material vermelho areno-argiloso com frequentes linhas de pedras (*stone line*), geralmente seixos de origem fluvial, sobrepostos em discordância erosiva aos arenitos do Grupo Caiuá e do Grupo Bauru. Tais depósitos foram por ele denominados de Formação Piquerobi.

A Formação Piquerobi possuiria espessura média de 8 m e extensão em torno de 4.000 km², incluindo a área drenada pelo Ribeirão do Mandaguari e seus afluentes, ocorrendo sobre os topos entre as cotas de 410 a 500 m e foi associada a restos da superfície neogênica definida por Ab'Sáber (1969).

Suarez (1991) faz referência, ainda, a depósitos de caráter coluvial, de cor avermelhada, arenosos e areno-argilosos e relativamente friáveis que recobririam as encostas desta mesma parcela do território paulista. Tais depósitos apresentariam frequentemente na sua parte superior estruturas de dissipação e seriam correlacionáveis a superfície Ds de Lepsch (1977). Tais depósitos estariam separados dos arenitos dos grupos Caiuá e Bauru por estratos de espessura e tamanho variáveis, de seixos, constatando-se, algumas vezes, a presença de leitos de areia intercalados entre os estratos de seixos, de vários centímetros de espessura.

Godoy (1989) descreveu depósitos coluviais caracterizados pela falta de estrutura típica, com tendência arenosa, refletindo a predominância das rochas areníticas e contendo fragmentos carbonizados de restos vegetais, com espessura de até 8 m e 30 m sobre rochas do Grupo Bauru no entorno de Presidente Prudente. A espessura foi caracterizada como irregular condicionada às variações topográficas com valores mais comuns entre 2 e 4 m, ultrapassando 7 m nos topos aplainados dos interflúvios mais extensos.

O autor registrou nesses colúvios leitos de nódulos ferríferos com espessura de 0,20 a 0,40 m, que acompanham o contato com estratos rochosos e indicou a dificuldade em discernir sobre colúvios e elúvios que ocorrem sobre as rochas do Grupo Bauru, bem como da dificuldade de distingui-los do solo residual.

Ainda segundo o autor, esses colúvios apresentam uniformidade granulométrica, constituição areno-argilosa, com predominância de areia fina e menor uniformidade granulométrica que o solo residual. As áreas de ocorrências de tais depósitos correspondem aos setores de ocorrência de Latossolos e Argissolos.

Etchebehere (2000) identificou a presença quase onipresente desses depósitos em quase todas as vertentes do vale do Rio do Peixe e até mesmo superpondo-se aos aluviões recentes nas margens das atuais várzeas. São colúvios que em geral, apresentam aspecto maciço, com seixos e fragmentos carbonizados esparsos, cores amarronzadas devido à laterização e podem ser facilmente confundidos com solos residuais do substrato Bauru quando muito alterados.

Etchebehere (2000) também estudou e cartografou os depósitos encontrados nos terraços de acumulação e planícies do vale do Rio do Peixe e de alguns de seus afluentes. Segundo o autor, nesse vale destacam-se duas áreas de ocorrência mais importante de aluviões atuais: o baixo curso, onde se localiza uma das maiores várzeas dos afluentes do rio Paraná na margem esquerda, e com menor relevância, o conjunto de aluviões que ocorre no alto vale, aparentemente formados devido à presença de uma soleira tectônica na altura do meridiano 50°15'W.

Sallun (2003) estudou os depósitos cenozoicos em parte considerável do Oeste Paulista, onde ocorrem extensivamente e irregularmente, sobrepostos em discordância (com concentrações basais de ferricretes e / ou linhas de pedra) ou transicionalmente às rochas cretácicas do Grupo Bauru. Eles foram agrupados em depósitos colúvio-eluviais e aluviais, segundo critérios sedimentológicos, genéticos e morfológicos.

Os depósitos colúvio-eluviais são caracterizados pela predominância de areia e areia argilosa com alta maturidade mineralógica. Os depósitos mais espessos são caracterizados pela predominância de areia fina. Os sedimentos adquiriram coloração avermelhada em função de óxidos e hidróxidos de ferro presentes. O contato entre esses depósitos arenosos e as rochas é discordante e transicional. Onde ocorre contato discordante os depósitos têm origem coluvial e são marcados por uma concentração de ferricretes ou linhas de pedra. No geral, são depósitos que apresentam estrutura maciça e espessura de 1 a 9 metros (SALLUN, 2003).

No campo identificou-se um ponto da bacia onde há muita concentração de ferricretes, em uma das vertentes da margem direita do Córrego do Jacaré (Figura 8), contudo não foi possível fazer a identificação do material depositado acima devido ao intenso processo de degradação no local, não sendo possível, portanto, afirmar se tratar de um depósito cenozoico ou solo. Identificou-se também um ponto onde há concentração de linha de pedras (stone line) separando os arenitos da Fm. Presidente Prudente e possíveis depósitos cenozoicos (Figura 9).

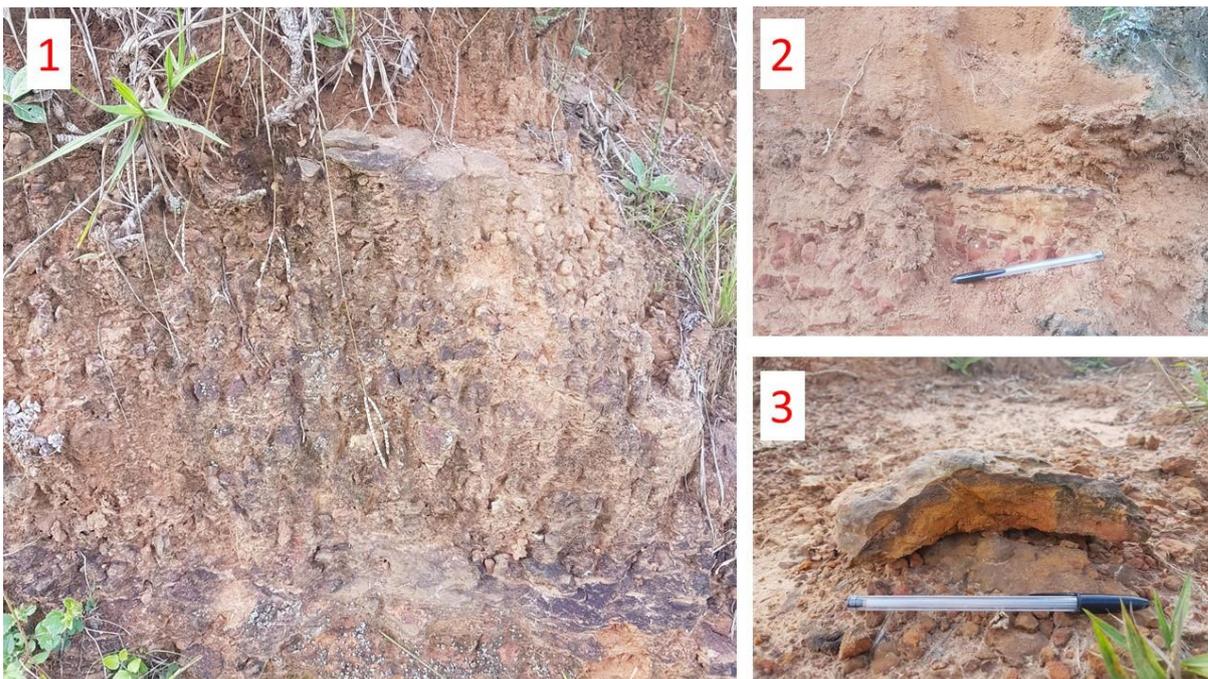


Figura 8: Concentrações de ferricretes entre provável depósito colúvio-eluvial e arenitos da Fm. Vale do Rio do Peixe em avançado estágio de intemperização
 Fonte: Trabalho de campo (2017)



Figura 9: Linha de pedra (*stone line*) sobre os arenitos da Fm. Presidente Prudente
 Fonte: Trabalho de campo (2017)

Dentre as dezenas de pontos estudados por Sallun (2003), três encontram-se localizados dentro da bacia em estudo. Os pontos encontram-se detalhados no Quadro 9. A datação por termoluminescência (TL) indicou que esses depósitos se formaram no Pleistoceno Médio e no Pleistoceno Superior.

Quadro 9: Depósitos identificados na bacia, com respectiva litologia e datação

Ponto	Coordenadas (UTM)	Datação (TL)	Litologia
9	482969/7552423	289.500±36.500	Colúvio-eluvial
151	475649/7551300	184.500±14.800	Eluvial
157	476927/7568788	31.000±2500	Coluvial

Fonte: Sallun (2003)

Elaboração: Paulo Roberto Vagula

A autora concluiu, através das diferentes idades dos depósitos, que ocorreram vários ciclos de deposição dos sedimentos durante a formação de superfícies de aplainamentos ao longo do Quaternário e que essas superfícies continuaram a ser moldadas ao longo do tempo.

Segundo ela, entre 1.200.000 anos e 400.000 anos poderia ter ocorrido a instalação dos principais afluentes do rio Paraná (Paranapanema, Peixe e Aguapeí). Durante esse tempo a Superfície I teria sido intensamente dissecada e aperfeiçoada, estando ainda hoje representada pelo planalto de Marília.

O início de formação da Superfície II teria sido ocasionado pelas várias oscilações paleoclimáticas acompanhadas de remodelamento do relevo com alargamento dos vales. Entre 400.000 e 120.000 anos o Planalto de Marília havia provavelmente adquirido a configuração atual, tendo iniciado a formação da Superfície III. Entre 120.000 e 10.000 anos ocorreu a implantação definitiva da Superfície 3. No fim do Pleistoceno iniciou-se a instalação da Superfície IV associada aos terraços do rio Aguapeí e do Rio do Peixe, bem como de seus afluentes e que continua até hoje.

A Figura 10 mostra terraços e a planície no vale do Ribeirão do Mandaguari, que correspondem a superfície de aplainamento IV definida pela autora, enquanto que as colinas, correspondem a superfície III. A superfície II corresponde às quotas acima de 460m e, no âmbito da bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari corresponde ao topos e altas vertentes das colinas localizadas no entorno de Martinópolis e Indiana, principalmente.



Figura 10: Planície e terraço no vale do Ribeirão do Mandaguari.
Fonte: Trabalho de campo (2016)

Os estudos de Sallun (2003) corroboram com o que defende Bartorelli (2004), segundo a qual a geomorfologia da bacia sedimentar do Paraná é consequência de sua compartimentação e limites estruturais cujos reflexos na organização da drenagem foram delineados essencialmente durante o Quaternário (Pleistoceno e Holoceno).

4.2 Estruturas

O território paulista acha-se compartimentado por dois tipos de discontinuidades crustais: suturas e lineamentos. Ambos são demarcados por feições geofísicas e por traços em imagens de sensores remotos, e, em âmbito bacinal, por disposição de isópacas e mapas de contornos estruturais. Ambas as discontinuidades crustais configurariam feições herdadas do embasamento cristalino, que se sujeitaram a movimentações tectônicas ao longo do Fanerozoico, com reflexos no empilhamento sedimentar da Bacia do Paraná (IPT, 1989 apud ETCHEBEHERE, 2000).

As suturas corresponderiam a zonas de articulação de blocos crustais, justapostos no Pré-Cambriano, tendo recebido o status de feições de primeira ordem. No caso Planalto Ocidental Paulista, destacam-se as suturas Três Lagoas, Presidente Prudente e Ribeirão Preto,

todas com direção nordeste, e no caso da sutura Presidente Prudente há uma clara associação com eventos sísmicos (ETCHEBEHERE, 2000).

Os lineamentos, considerados anomalias de segunda ordem, equivalem a feições rúpteis que seccionam as suturas, deslocando-as direccionalmente. Os limites destas estruturas não são ainda perfeitamente definidos, provavelmente devido ao caráter regional dos estudos (ETCHEBEHERE, 2000). Esses lineamentos aos quais se refere Etchebehere (2000), correspondem aos grandes alinhamentos estruturais como o Alinhamento Guapiara, Alinhamento Estrutural do Tietê, Alinhamento Paranapanema e Alinhamento Três Lagoas, grandes traços estruturais que têm sido movimentados em todo o Fanerozoico, e foram responsáveis por controlar a sedimentação e/ou preservação das sequencias geológicas litoestratigráficas na Bacia Sedimentar do Paraná (ETCHEBEHERE, 2000).

Segundo Bartorelli (2004) a compartimentação morfológica da bacia sedimentar do Paraná resultou da atividade neotectônica que provocou a reativação dessas discontinuidades e falhas pré-existentes. A Geomorfologia da bacia do Paraná é consequência de suas compartimentação e limites estruturais, cujos reflexos na organização da drenagem foram delineados durante o Quaternário. Há, segundo a autora, uma relação direta entre as principais feições estruturais e as cachoeiras existentes na bacia.

A Figura 11 mostra os principais elementos estruturais da bacia sedimentar do Paraná no estado de São Paulo.

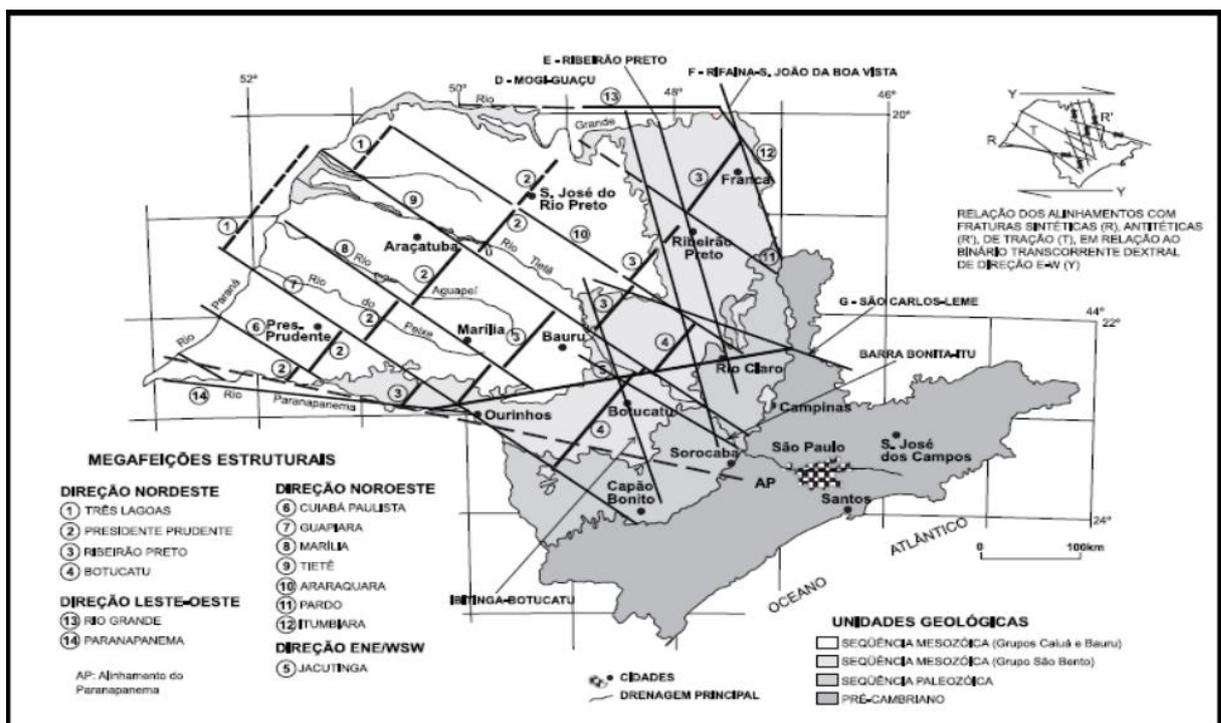


Figura 11: Principais elementos estruturais da Bacia Sedimentar do Paraná no estado de São Paulo
Fonte: Etchebehere (2007)

Destaca-se o alinhamento estrutural de Guapiara que constitui, segundo Ferreira, Moraes, Ferrari e Vianna (1981), grande feição linear de direção NW-NE, com pelo menos 600 km de comprimento e larguras variando entre 20 a 100 km. Atravessa o estado desde o litoral até a confluência do rio Verde com o rio Paraná. Os autores verificaram que há duas tendências básicas de comportamento magnético cujas características seriam possuírem assinaturas com polaridades diferentes e orientações distintas. As assinaturas do primeiro grupo se desenvolvem entre Itapeva, Ourinhos e Pauliceia, enquanto que as assinaturas com polaridade invertida têm expressões mais importantes de Assis, passando por Regente Feijó e continuando pelo vale do rio Santo Anastácio, sendo o comportamento magnético deste grupo diferente ao sul e ao norte desta expressão. Ao Norte dessa última há duas ramificações.

No caso do Oeste Paulista a relação entre estrutura e drenagem pode ser observada, entre muitos exemplos, no vale do Rio do Peixe, onde o Salto Quatiara corresponderia, segundo Etchebehere (2000) ao ponto onde o rio intercepta o Alinhamento Guapiara. Ainda segundo o autor, as diferenças na morfologia do canal ao longo do mesmo rio, assim como os diferentes níveis de terraços estariam ligados diretamente à estrutura e a movimentações neotectônicas.

Joinhas (2002) identificou nas proximidades de Presidente Prudente (próximo à nascente do Rio Santo Anastácio) a predominância de lineamentos de direção NNW-SSE, possivelmente influenciados pelo Alinhamento Guapiara. Ainda segundo a autora, entre os municípios de Mirante do Paranapanema e Pirapozinho, haveria um “desnível topográfico”, o qual atribuiu ao controle de lineamentos de direção NW-SE, que se situariam no limite da Sutura Presidente Prudente. Esses lineamentos, ainda segundo a autora, podem estar influenciando a evolução do relevo, que provavelmente está sendo falhado e movimentado sob a influência dessa estrutura. Assim a autora conclui que, no Oeste Paulista a fisiografia do relevo correlaciona-se com a existência dessas estruturas, e que os limites das unidades geomorfológicas estão balisados por falhas.

Nos afluentes do rio Paranapanema, um alinhamento de nickpoints citado por Guedes (2014) funcionam como nível de base local e tem condicionado a formação de extensas planícies aluviais, nas bacias do Ribeirão das Anhumas, Ribeirão Laranja Doce e Ribeirão Capivari, conforme se observa na Figura 12.

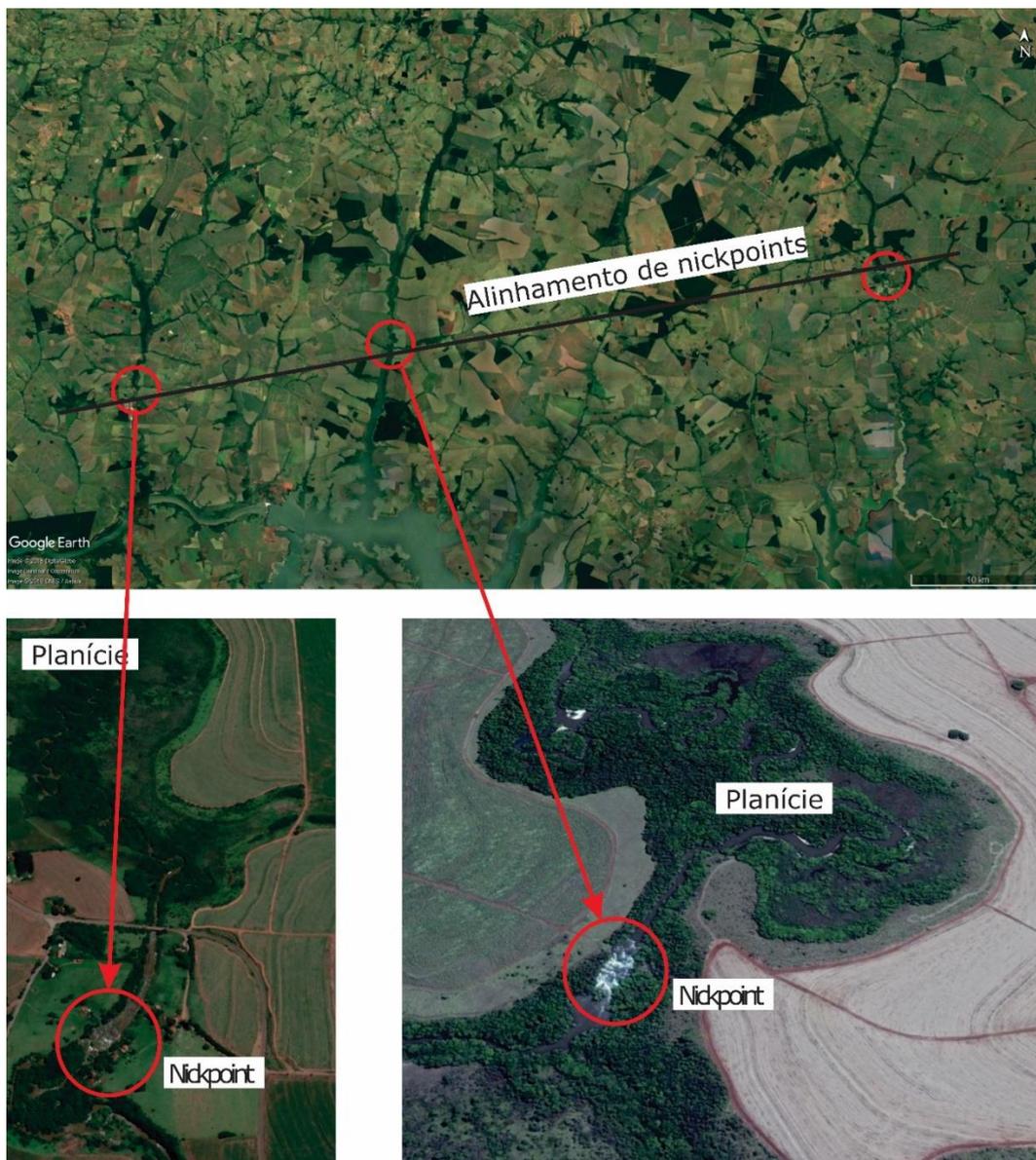


Figura 12: Alinhamento de Nickpoints nos vales dos principais afluentes do rio Paranapanema
 Fonte: Imagens do Google Earth®

O’Leary, Friedman e Pohn (1987) entendem lineamentos como uma característica linear de uma superfície, mapeável, simples ou composta, cujas partes são alinhadas em uma relação retilínea ou levemente curvilínea e que difere distintamente dos padrões de características adjacentes e presumivelmente reflete um fenômeno de subsuperfície.

Segundo Goiás (2006), os critérios usualmente utilizados para a determinação dos lineamentos são representados pelos seguintes parâmetros: alinhamento de cursos de drenagens retilíneas, quebras negativas ou positivas de relevo, forma alongada e alinhamento de dolinas, contraste tonal nas imagens, mudanças bruscas na densidade da vegetação e alinhamento de exposições rochosas. De acordo com o autor, a relação entre o tamanho dos lineamentos e as fraturas da rocha é apresentada por onde lineamentos pequenos representam

planos de fraturas diminutas, foliações e estratificações de alto ângulo; grandes fraturas são reveladas por lineamentos médios e as zonas de cisalhamento são evidenciadas por grandes lineamentos.

Segundo Guedes (2014) entende-se por lineamento os traços como feições lineares topográficas ou tonais no terreno ou em imagens e mapas, que podem representar zonas de fraqueza estrutural. Os lineamentos extraídos constituem segmentos retilíneos hectométricos a quilométricos que devem refletir descontinuidades de alto ângulo de mergulho. Tais feições são caracterizadas como fraturas do maciço rochoso e são observadas em imagens de satélite ou por mapas planialtimétricos, mostrando segmentos retilíneos de drenagens ou do relevo. Ainda segundo o autor, trechos retilíneos de drenagem, que podem refletir o encaixe dos cursos d'água em descontinuidades estruturais como feixes de fraturas, contatos, falhas, entre outros.

Os lineamentos extraídos da imagem SRTM permitem afirmar, segundo o autor, que as direções ESE-WNW são predominantes no contexto do Pontal do Paranapanema. Esta direção também se repete no extremo norte do Planalto e nas bacias do Rio do Peixe, Aguapeí e Santo Anastácio (GUEDES, 2014).

Outra direção de grande expressão, ainda segundo o autor, encontra-se a E-W distribuídas por todo o Planalto Ocidental. Entre as duas áreas em soerguimento, observa-se uma área em subsidência que se alinha com o Planalto das Lagoas, na bacia do rio Santo Anastácio. Esta área possui as drenagens intensamente assoreadas e espesso manto de regolitos assentados em relevo de baixa amplitude e vales fluviais alargados. Esta configuração se alonga em direção ao médio vale do Paranapanema, onde os alinhamentos de nickpoint de direção ENE-WNW estão paralelos aos lineamentos.

Na bacia do Ribeirão do Mandaguari, o controle estrutural também é evidente, conforme se observa na Figura 13 que traz a relação entre os lineamentos na bacia do Ribeirão do Mandaguari e a rede hidrográfica.

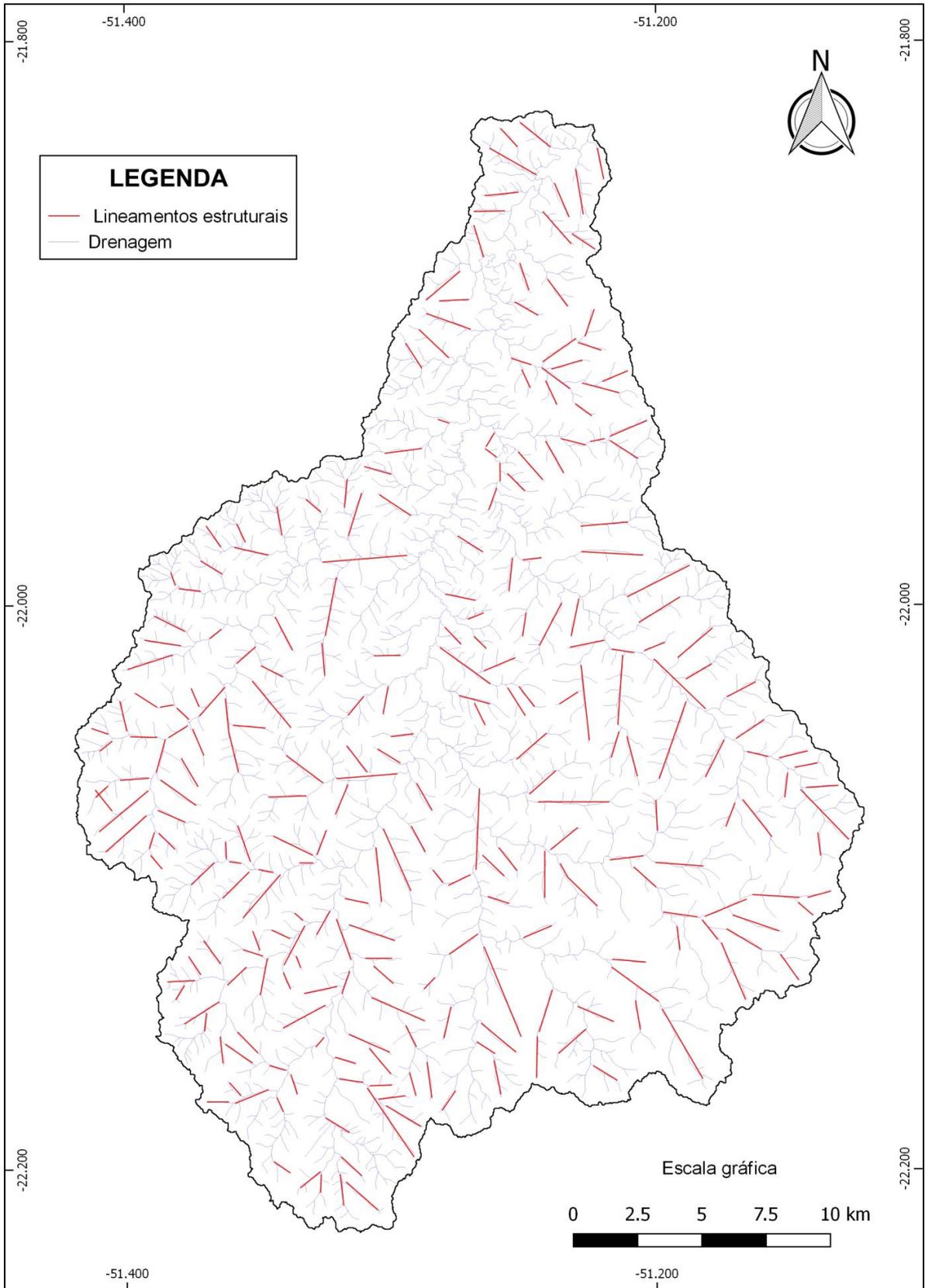


Figura 13: Esboço dos lineamentos na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

Durante os trabalhos de campo, na verdade foram observados vários pontos onde a direção predominante das diaclases coincide com a direção do vale e com feições lineares observadas por imagens de satélite, o que permite inferir uma correlação entre as fraturas nas formações areníticas e a evolução da drenagem na bacia. A Figura 14, tomada em um afluente da margem direita do Córrego do Jacaré, cujo vale encaixado configura um lineamento de drenagem é um dos exemplos



Figura 14: Controle estrutural da drenagem no vale do Córrego do Jacaré e diaclases no arenito
Fonte: Trabalho de campo (2017)

Para Bigarella (2007) a velocidade e profundidade do intemperismo é diretamente proporcional à concentração e frequência de diaclases existentes nas rochas. Considera-se, portanto que, além das propriedades mineralógicas das rochas, as linhas de fraqueza influenciam na velocidade do intemperismo, pois favorecem a infiltração e circulação da água. Quanto maior a quantidade de água infiltrada, saturando a rocha, maior a diminuição da

resistência ao cisalhamento e o favorecendo o deslocamento de blocos devido ao alívio da tensão. Logo, é possível inferir que a rede de drenagem na bacia tenha se estabelecido preferencialmente nessas áreas, o que explica a correlação das diaclases com os lineamentos de drenagem.

4.3 Neotectônica

Segundo Etchebehere (2000) as atividades neotectônicas no contexto do Planalto Ocidental Paulista podem ser certificadas pelos seguintes argumentos geológicos: sismicidade constatada em diversos pontos, com destaque para a concentração de sismos no âmbito da Sutura Presidente Prudente, cujas movimentações poderiam ter caráter natural ou induzido, e estão associadas ao atual regime de tensões; existência de uma ampla bacia de acumulação de sedimentos rudáceos, com 60 m de espessura, de provável idade terciária, associada à megafeição estrutural Três Lagoas; presença de falhas de diversos portes e orientações (incluindo alguns rejeitos métricos) em sedimentos pleistocênicos, além de fraturas em coberturas coluviais e deformações de linhas de seixo; estruturas de liquefação encontradas nos sedimentos de terraço do vale do Rio do Peixe, incluindo vulcões de areia e injeções intraestratais de areia na forma de diques e sills, estruturas que somente poderiam ser geradas em sedimentos arenosos inconsolidados, saturados em água, capeados por leito ou camada mais competente (argilas, turfas, etc.) e sob tremores de magnitude superior a 5,5 graus; deformações tectônicas detectadas e delineadas em estudos morfométricos da rede de drenagem, resultado em mudanças bruscas de níveis de base, com geração de terraços, desmantelamento de depósitos (geração de elúvios), capturas de drenagem; entre outros.

Joinhas (2002) identificou perfis de solos que apresentam características de material retrabalhado, trazido de outras áreas, encontrados em posições diferenciadas no relevo, mostrando fortes indícios da reativação neotectônica na região.

Guedes (2014) empregou a técnica de análise dos perfis longitudinais das drenagens no Pontal do Paranapanema e concluiu que grande parte desta região é acometida de processos em estado de soerguimento. Duas regiões em soerguimento nesta área se destacam: a primeira no extremo oeste do pontal que denotam expressivos índices de RDEt (Relação Declividade – Extensão total), onde os feixes de lineamentos postam-se entre ENE-WSW e ESSE-WNW, juntamente com os alinhamentos de nickpoint que acompanham essa direção.

A bacia do Rio do Peixe, da qual a bacia do Ribeirão Mandaguari faz parte, apresentou seu quadro com elevado nível de anomalias neotectônicas. Nesta bacia estão descritos vinte pontos com identificação de estruturas de liquefação entre diques, sill e vulcões de areia em depósitos modernos (ETCHEBEHERE, 2000; GUEDES, 2014).

Etchebehere (2000) empregou índices RDE como forma de identificar atuação neotectônica na bacia do Rio do Peixe, do qual o Ribeirão do Mandaguari é afluente. O autor constatou que os valores de RDE tendem a diminuir ao longo da bacia do Rio do Peixe, com os maiores valores se concentrando no alto vale.

Na bacia do Ribeirão do Mandaguari cinco cursos d'água tiveram seus índices medidos, conforme o Quadro 10:

Quadro 10: Índice de RDEt das principais drenagens da bacia do Ribeirão do Mandaguari

Drenagem	Extensão (Km)	Cota na cabeceira (m)	Cota na foz (m)	Amplitude (m)	RDEt
Rib. Mandaguari	66,5	475	299	176	42
Rib. Santa Teresa	27,8	535	385	150	45
Córrego da Onça	21	440	387	53	17
Córrego Acampamento	18,15	520	390	130	45
Córrego do Jacaré	17	545	435	110	39

Fonte: Guedes (2014)

Elaboração: Paulo Roberto Vagula

Etchebehere (2000) observou três áreas anômalas na bacia do Rio do Peixe: a primeira ao sul da cidade de Marília, abrange cerca de 20 km de vale do rio e o ápice de valores mais elevados se localiza a aproximadamente 40 km de distância da cabeceira (no âmbito da sutura Ribeirão Preto); a segunda anomalia não está claramente delimitada, mas pode ser representada por um patamar de índices RDE ao redor do valor 60, que se destaca na tendência geral de incrementos de índices para montante, dessa forma, este patamar se estende, grosseiramente, entre 110 e 160 km de leito de drenagem, contados a partir da nascente. Dados de campo obtidos no mapeamento geológico dos depósitos cenozoicos ao longo do rio do Peixe indicam que nesta área os depósitos de terraço escasseiam, os cursos d'água apresentam entalhes mais pronunciados e são comuns cascalheiras, possivelmente eluvionares, em topos de morrotes. Esta anomalia coincide, em grande parte, com a faixa onde o Rio do Peixe intercepta o lineamento Guapiara; e a última anomalia é a de maior realce, pois, embora seus valores não sejam os mais elevados (o ápice da anomalia tem valor de RDE ao redor de 75), ela está situada na porção mais a jusante do que as demais anomalias

(região de predomínio de menores índices de RDE), mostrando um nítido contraste com as circunvizinhanças. O trecho do Rio do Peixe envolvido situa-se, grosso modo, entre os quilômetros 200 e 230 de extensão do curso d'água, contados a partir da nascente. Nesta área os depósitos de terraço são mais comuns do que na segunda anomalia, mas são frequentes as cascalheiras em topos de elevações. Os terraços, inclusive, chegam a se apresentar em diversos níveis topográficos (situações localizadas), o que, como já foi referido, poderia caracterizar um comportamento tectônico local diferenciado, configurando episódios de soerguimento. Tal anomalia demarca, com precisão, a área de abrangência da chamada sutura Presidente Prudente e poderia, inclusive, servir como um delineador, em planta, da referida feição tectônica, área drenada pela bacia do Ribeirão do Mandaguari.

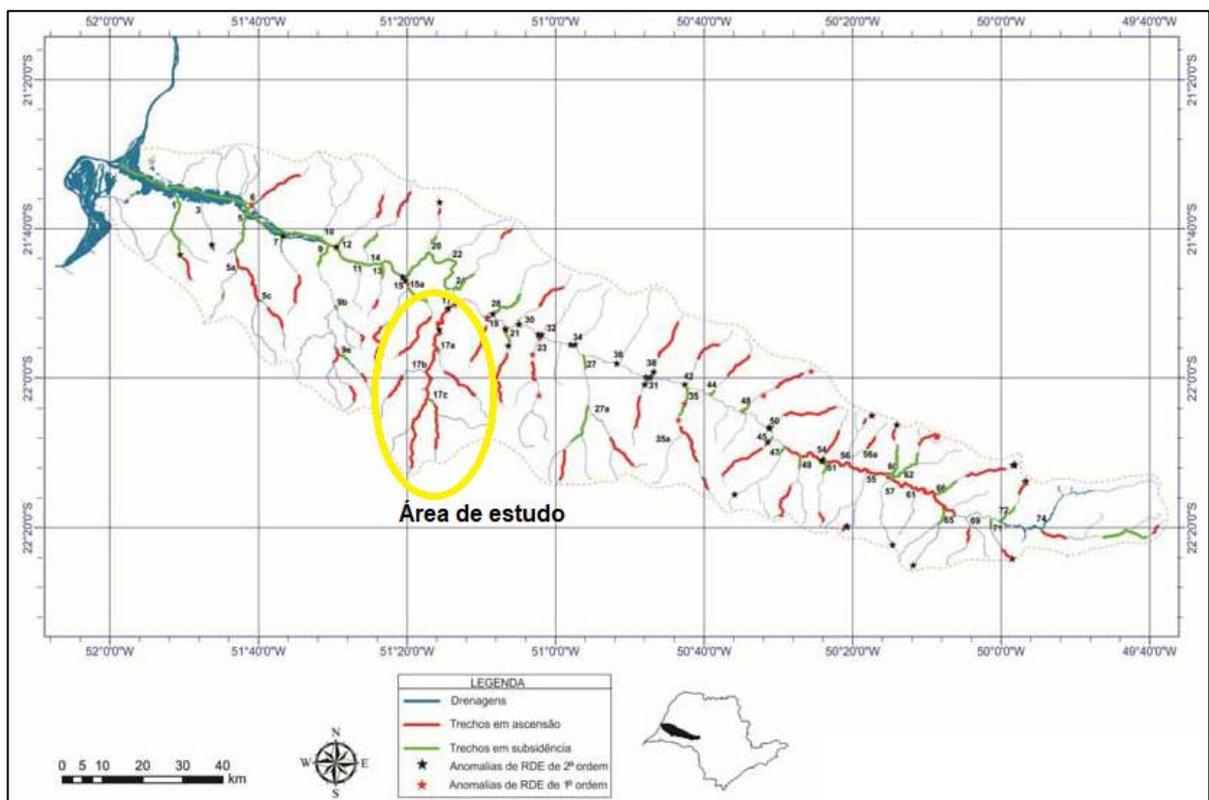


Figura 15: Anomalias fluviomorfométricas na bacia do Rio do Peixe. Modificado de Etchebehere (2000)
Fonte: Guedes (2014)

Pode-se interpretar que as anomalias RDE devem refletir áreas de soerguimento mais acentuado. Nesta circunstância, os rios aceleram o processo de entalhe, com aprofundamento do talvegue, gerando, em um primeiro momento, depósitos de terraço, os quais, a continuar o processo de soerguimento também serão erodidos na sequência.

No caso específico da bacia do Rio do Peixe, Etchebehere (2000) observou a correlação entre estas anomalias e as áreas de degradação de terraços, bem como a associação

com cascalheiras em topos de morro, que foram por ele interpretadas como de natureza eluvionar, com as suturas Ribeirão Preto e Presidente Prudente, e com o lineamento Guapiara. Ainda segundo o autor, a prevalecer a tese subjacente à metodologia dos índices RDE, estas feições regionais estariam sendo submetidas a movimentações recentes, configurando, ao lado da sismicidade, evidências de atuação de processos neotectônicos.

No entanto ainda não é possível precisar a velocidade com que essa área estaria sendo soerguida, nem mesmo o quanto as mudanças climáticas às quais a bacia foi submetida ao longo dos últimos milhares de anos contribuiu para a existência desses terraços.

4.4 Relevô

A bacia do Ribeirão do Mandaguari integra o Planalto Ocidental, morfoescultura que, segundo Etchebehere (2000, p.58) “se caracteriza por relevo colinoso, com morrotes, espigões e escarpas de ocorrência restrita, desenvolvidos essencialmente sobre rochas sedimentares do substrato cretácico”.

Acredita-se que o desenvolvimento do Planalto Ocidental Paulista se deu a partir de uma primitiva superfície erosiva ampla com caimento suave para oeste, sobre a qual foi estabelecida uma drenagem inicial constituída por rios subparalelos, de caráter consequente (ALMEIDA, 1964).

Sallun (2003) estudou parte do Planalto Ocidental Paulista, no qual está localizada a bacia em estudo e concluiu que as feições geomorfológicas estão relacionadas ao comportamento de escoamento superficial por diferentes litologias e de direções preferenciais de lineamentos. Segundo a autora em escala regional a compartimentação do relevo varia em função de diferentes unidades do Grupo Bauru, da Formação Serra Geral, espessas coberturas colúvio-eluviais e estruturas tectônicas.

Ainda segundo a autora,

Toda a área é coberta por uma rede de drenagem organizada, em geral dendrítica, notando-se um controle estrutural ligado a juntas tectônicas e a corpos litológicos mais resistentes ao intemperismo e erosão, sendo que alguns canais principais estão estabelecidos em lineamentos estruturais, pelo padrão de vales retilíneos. Os rios do Peixe e Aguapeí adotam padrão meandrante em vale encaixado, e juntamente com seus afluentes, esses rios assumem padrão subdendritico. Onde a cobertura cenozoica é mais espessa, porosa e permeável, a densidade de drenagem é mais baixa, porque deve predominar o processo de infiltração das águas pluviais (SALLUN, 2003, p. 141).

Na bacia do Ribeirão do Mandaguari predomina um relevo colinoso, suavemente ondulado, com topos convexizados e vertentes côncavas, retilíneas e convexas, estas últimas predominantes. Predominam os vales fechados ou em V, demonstrando o processo de entalhamento pelo qual a bacia vem passando. Nas áreas mais baixas da bacia encontra-se um sistema de planícies que se estende pelo canal principal e por alguns de seus afluentes, ocupando área considerável da mesma.

O Mapa Hipsométrico da Bacia do Ribeirão do Mandaguari (Figura 16) mostra que, de forma geral, as áreas mais altas da bacia estão associadas aos topos onde se encontram os divisores de água desta com as bacias vizinhas, as bacias do Ribeirão dos Guachos e Ribeirão Laranja Doce.

Já as cotas mais baixas concentram-se nos fundos de vale dos principais canais da bacia e estão geralmente associadas às planícies aluviais, que se estendem pelo canal do próprio Ribeirão Mandaguari e pelo baixo curso do Córrego da Onça na margem esquerda, e Ribeirão Santa Teresa e córregos Acampamento, Santa Maria e Jacaré na margem direita.

A maioria da bacia, segundo o Mapa Clinográfico (Figura 17) apresenta declividades variando de 0 a 12%, o que permite considerar seu relevo como suave ondulado e com grau de fragilidade variando entre muito fraca e fraca. Com exceção das planícies, as áreas com declividade variando entre 0 a 6% estão associadas aos topos, onde se encontram os divisores de água e a algumas vertentes, que se concentram principalmente no setor sudeste da bacia.

As classes de declividades mais altas podem ser encontradas, principalmente ao longo dos canais principais de drenagem e correspondem aos setores mais baixos das vertentes, em especial as vertentes do próprio Ribeirão do Mandaguari, nas duas margens e também nas vertentes de seus principais afluentes.

As planícies aluviais que se estendem pelo canal do Ribeirão do Mandaguari e do Córrego da Onça são facilmente distinguíveis no mapa clinográfico. As planícies que se estendem pelo vale do Ribeirão Santa Teresa e pelo córrego do Acampamento também podem ser perceptíveis, já as planícies do vale do Córrego do Jacaré e do Córrego Santa Maria não podem ser visualizadas no mapa devido à escala do mesmo.

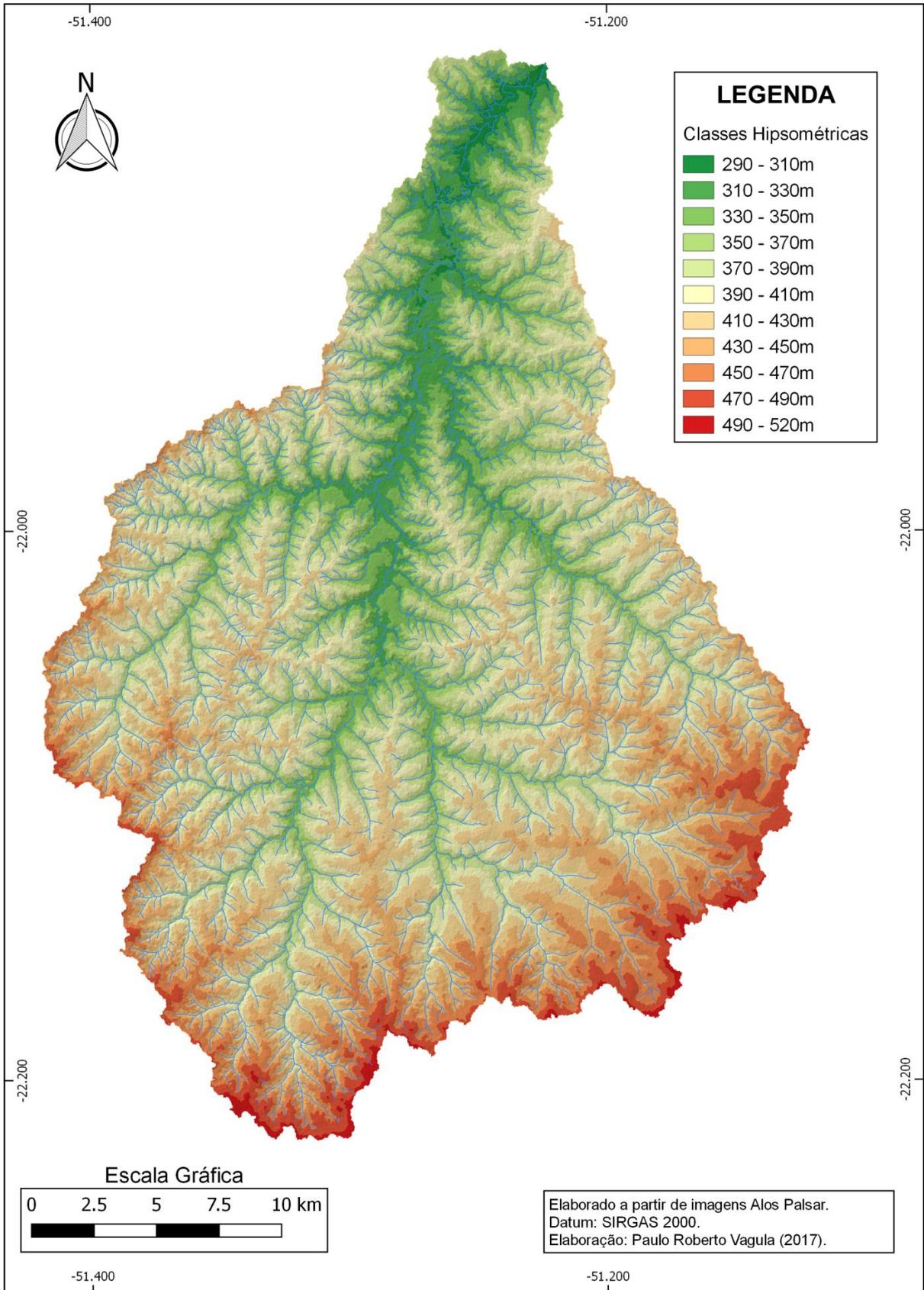


Figura 16: Mapa Hipsométrico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

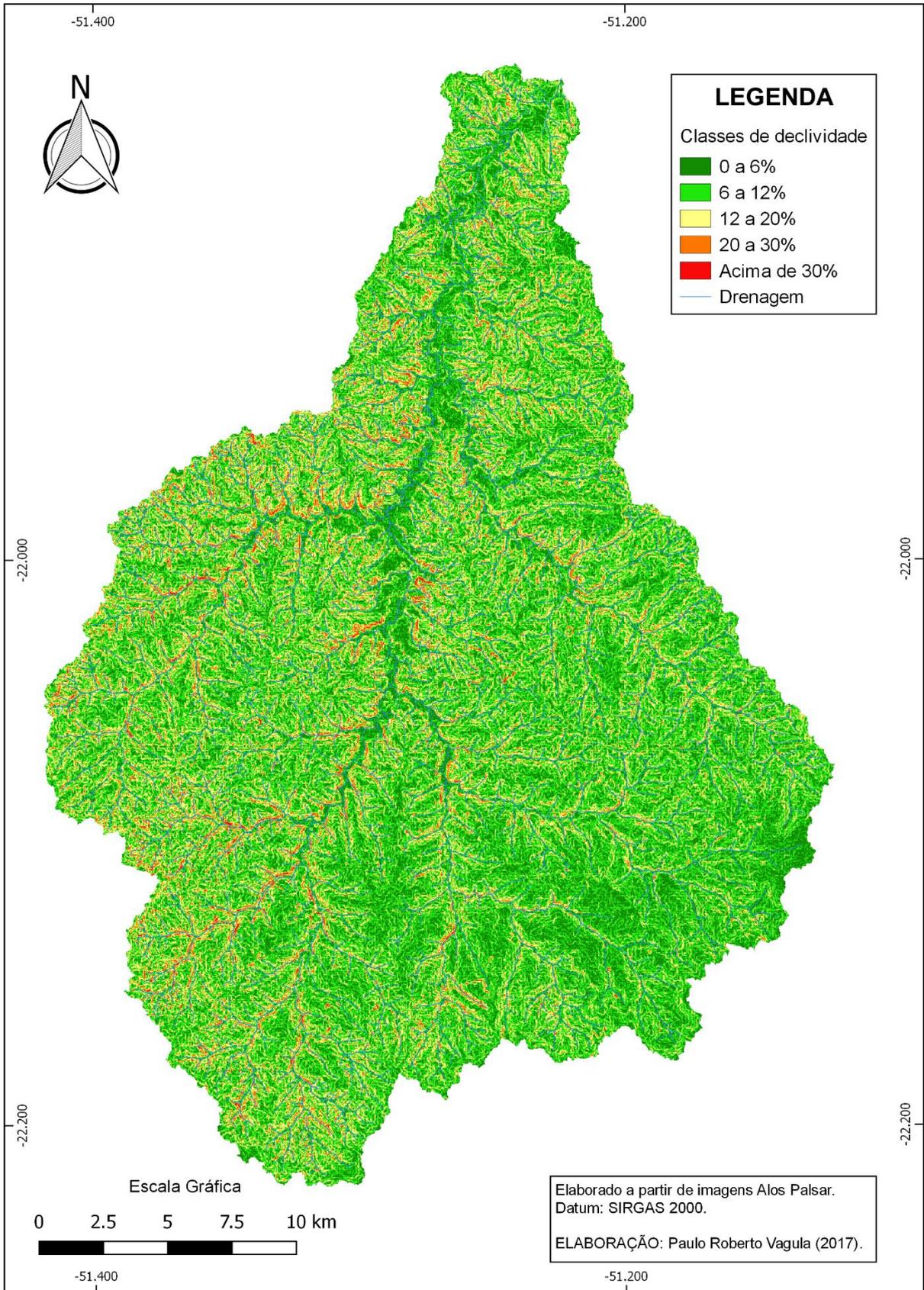


Figura 17: Mapa Clinográfico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

A Figura 18 mostra a variabilidade da amplitude altimétrica (em metros) e a Figura 19 a declividade média (em graus), que juntas podem condicionar maior ou menor susceptibilidade aos processos erosivos. A amplitude altimétrica representa o desnível entre o topo e a base da vertente e está relacionada a quantidade de solo na encosta, bem como o caminho que a água percorre até o fundo de vale.

Esses dois produtos cartográficos não foram utilizados na definição das áreas de fragilidade na bacia, no entanto, eles são importantes para a caracterização da área, uma vez que demonstram claramente mudanças no perfil do relevo nos dois lados da bacia. Enquanto no setor leste há a predominância de amplitudes altimétricas maiores que 100 m, no setor Oeste na bacia, predominam amplitudes entre 50 a 100 m.

Com relação à declividade média das vertentes, observa-se um setor a sudeste da bacia onde essas são menos declivosas. Essas áreas estão associadas às manchas de Latossolos mais expressivas, conforme se observará no mapa de solos mais adiante e a espessas coberturas colúvio-eluviais, conforme constatado por Sallun (2003).

Esse setor corresponde ao **Setor 3**² delimitado por Etchebehere (2000) e a **Superfície de Aplainamento II** de Sallun (2003). Esse setor da bacia estaria relacionado ainda ao Alto Estrutural de Paraguaçu Paulista delimitado Paula e Silva (2003)³.

² Etchebehere (2000) dividiu o relevo da bacia com base em índices de dissecação em cinco áreas, as quais foram denominadas por ele de setores. O **Setor 3** é caracterizado por forma menos dissecadas de topos suavemente ondulados a planos onde os solos são espessos e de natureza latossolica. Parte desse setor é drenado pelos afluentes do Ribeirão do Mandaguari, como o Córrego do Jacaré, o Córrego Santa Maria e o Ribeirão Santa Teresa, e é ali também que encontram suas nascentes. A maior parte da bacia do Mandaguari, no entanto, encontra-se localizada no **Setor 4**, que corresponde a uma área com maior densidade de drenagem e uma porção mais dissecada da paisagem.

³ Segundo Paula e Silva (2003) o Alto de Paraguaçu Paulista é uma feição estrutural proeminente do substrato basáltico, a única em território paulista com orientação NW-SE, cujo vínculo genético está claramente ligado a Zona de Falha de Guapiara. Desponta nos limites com o rio Paranapanema e mergulha para NW na direção do rio Paraná. Seu prolongamento noroeste deve ter sido responsável pela individualização das depressões de Presidente Bernardes a sul e Dracena, a norte, antes de provavelmente sofrer desgaste pela erosão que se deu antes da instalação da Bacia Bauru. Não há como fazer uma associação direta entre essa feição estrutural e a configuração da drenagem atual no Oeste Paulista, no entanto, é sabido que esses altos estruturais funcionam como áreas dispersoras de água no subsolo e é fato também que as cotas altimétricas mais elevadas no Oeste Paulista correspondem a área onde se encontra esse alto estrutural, bem como as nascentes dos principais tributários dos rios Paranapanema e Peixe na região, como o próprio Ribeirão do Mandaguari e seus principais afluentes de margem direita, o Ribeirão dos Guachos, o Ribeirão Laranja Doce, Ribeirão da Confusão, Ribeirão Capivari, o rio Santo Anastácio, entre outros.

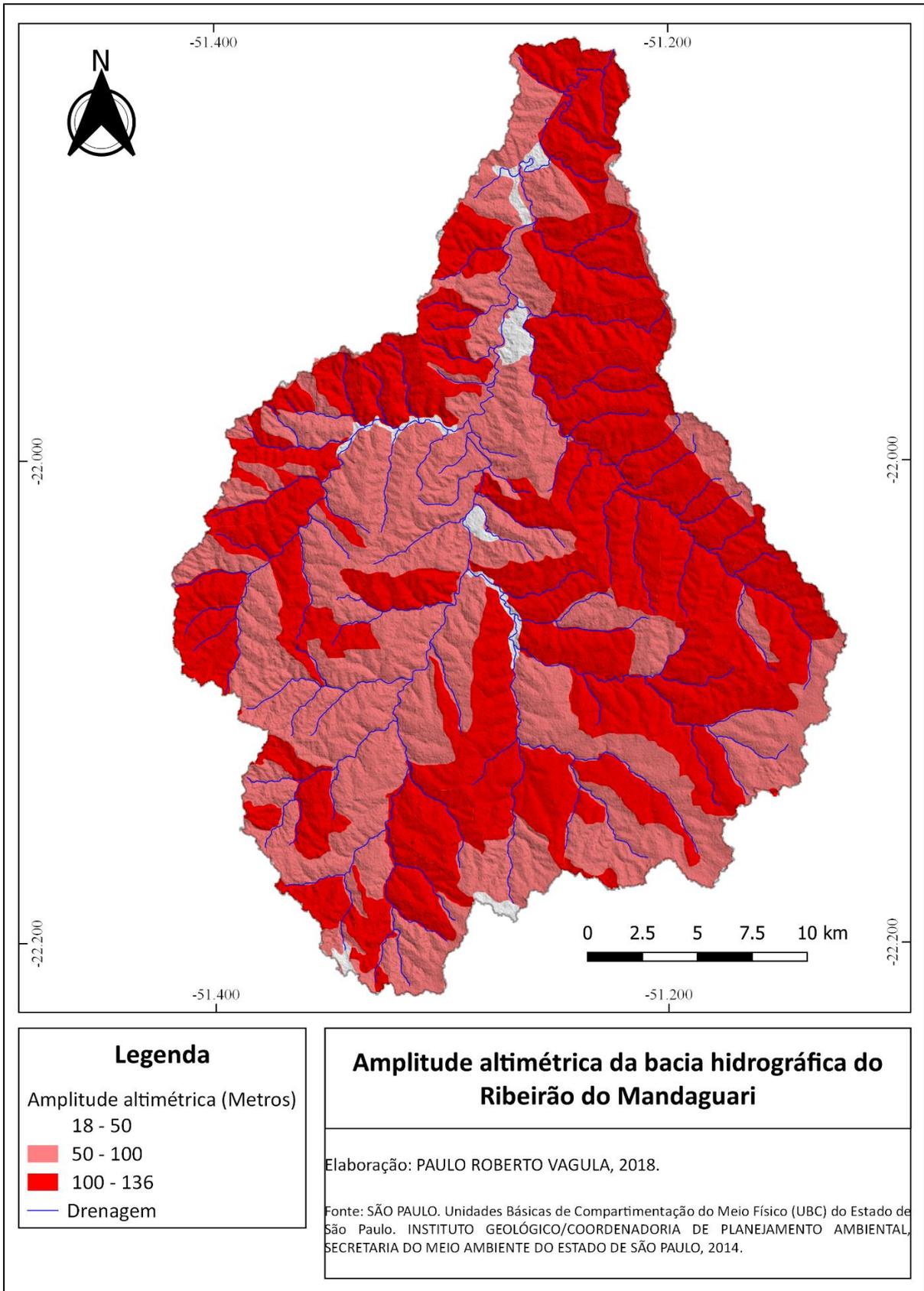


Figura 18: Amplitude altimétrica da bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

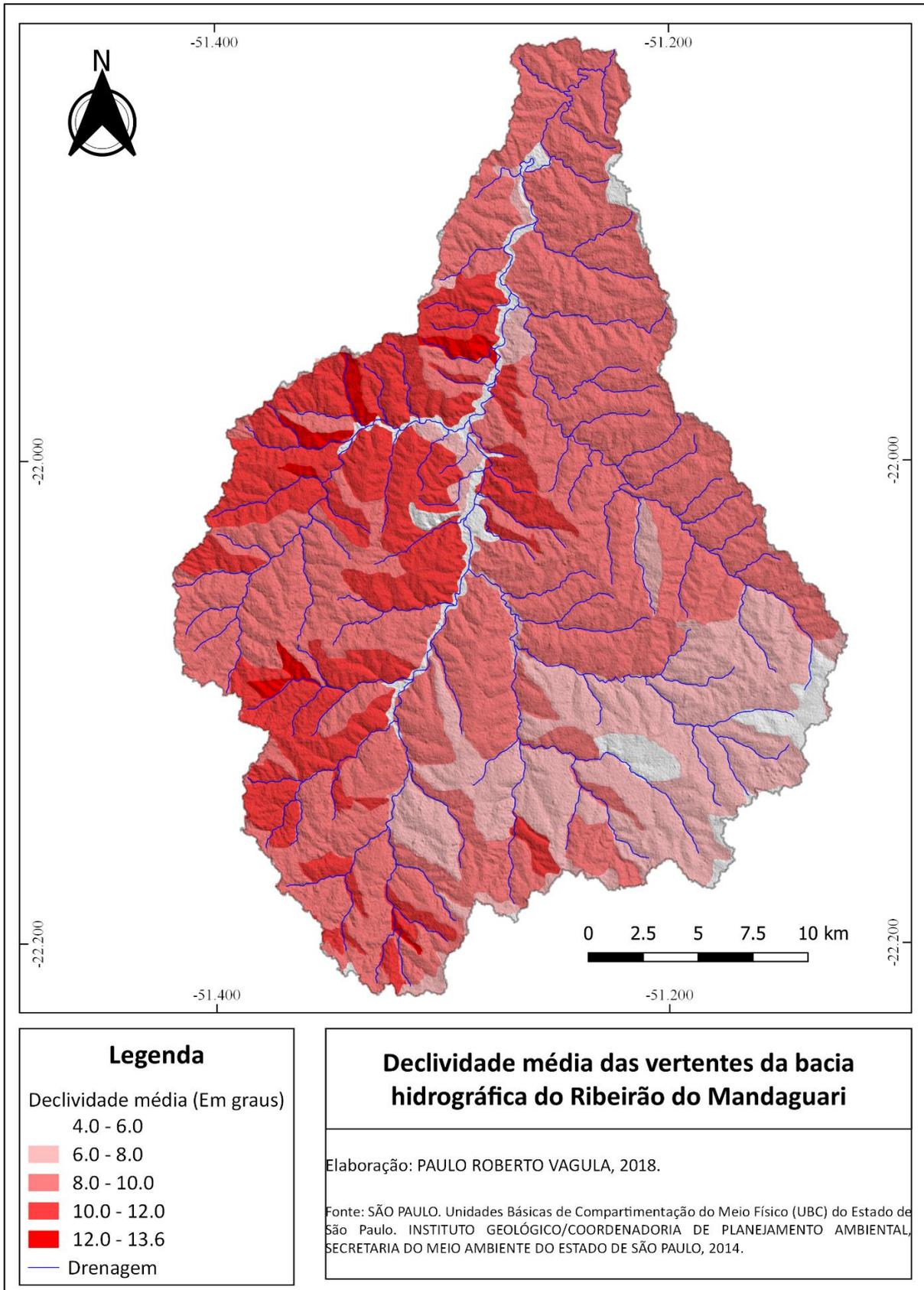


Figura 19: Declividade média da bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

Assim, é possível estabelecer, a partir da interpretação morfométrica da bacia, 4 padrões de relevo distintos a saber:

- Planícies aluviais e terraços, onde predominam os processos agradacionais face aos processos degradacionais. Esses compartimentos estão associados a curvatura plana do relevo e declividades abaixo dos 6%. Esses compartimentos associam-se à acumulação de depósitos de idade quaternária e a predominância de solos poucos desenvolvidos e solos hidromórficos, conforme se observa na Figura 20 e na Figura 21:



Figura 20: Planície aluvial e terraço no vale do Córrego do Acampamento
Fonte: Trabalho de campo (2016)



Figura 21: Planície e terraço no vale do Córrego da Onça
Fonte: Trabalho de campo (2016)

- Colinas suavemente onduladas com topos amplos convexizados a planos, onde predominam os processos degradacionais. Essas colinas se desenvolveram sobre os arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe, do Grupo Bauru, e estão associadas a espessos pacotes de

deposição Cenozoica (Sallun, 2003), não cartografáveis, e a grandes manchas de Latossolos mapeáveis na escala 1:250.000 ou maiores. Nessas colinas predominam a declividade média de até 8 graus, conforme Figura 22.



Figura 22: Colinas onde predominam declividades médias em torno dos 0 a 8°
Fonte: Trabalho de campo (2018)

- Colinas de topos suavemente convexizados com as declividades médias variando de 8 a 10° (Figura 23). Correspondem a maior parte do relevo da bacia. Essas colinas se desenvolveram sobre os arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe e da Formação Presidente Prudente, do Grupo Bauru, estão associadas à predominância dos Argissolos. Nos topos podem ser encontradas manchas de Latossolos, contudo, não mapeáveis na escala 1:250.000. Nessas áreas da bacia são comuns as surgências do freático nas médias e altas vertentes (Figura 24), causadas por conta das diferentes permeabilidades das camadas dos arenitos.



Figura 23: Relevo predominante na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari
Fonte: Trabalho de campo (2016)



Figura 24: Surgências nas vertentes da sub-bacia do Córrego do Saracura
Fonte: Google Earth®

- Colinas de topos convexizados com as declividades médias variando de 10° a $13,6^{\circ}$. Localizam-se em sua maioria no setor oeste da bacia e estão associadas aos arenitos da Formação Vale do Rio do Peixe e da Formação Presidente Prudente, do Grupo Bauru, mais cimentados por carbonato de cálcio, conforme Figura 25. Nessas colinas predominam os Argissolos associados ao Neossolos naquelas vertentes mais declivosas.

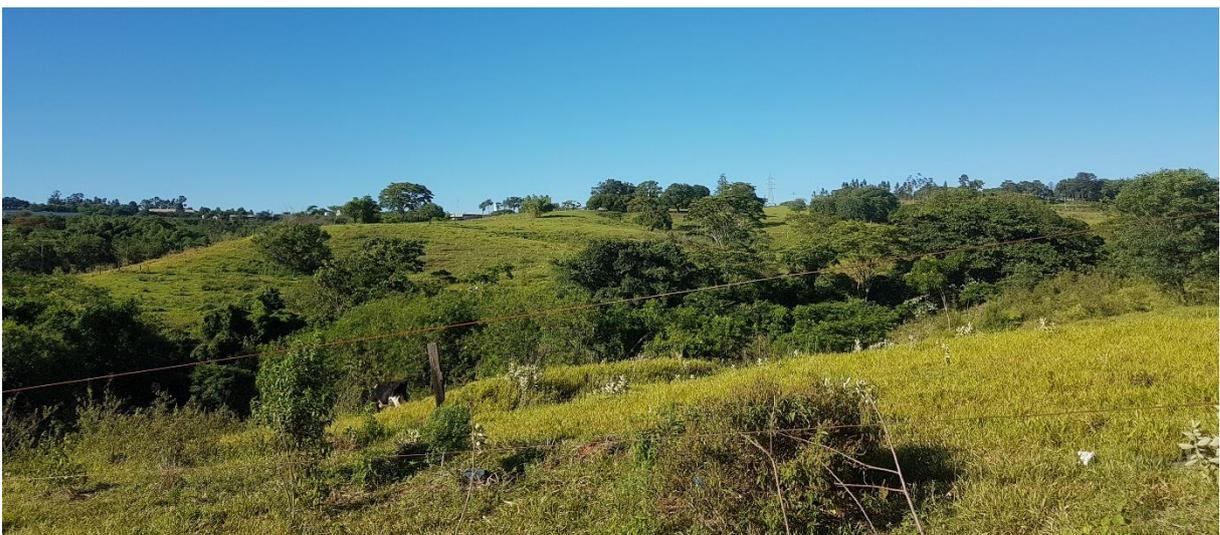


Figura 25: Relevo mais dissecado da bacia
Fonte: Trabalho de campo (2018)

4.5 Solos

Os solos encontrados na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari podem ser agrupados em 3 grupos principais, conforme o Mapa de Solos do Estado de São Paulo (ROSSI, 2017): Argissolos, Latossolos e Gleissolos.

Os Argissolos, segundo EMBRAPA (2013, p.85-86)

[...]compreendem solos constituídos por material mineral, que tem como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa ou alta conjugada com saturação por bases baixas ou caráter alítico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para ser enquadrado nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos.

São solos de profundidade variável, desde forte a imperfeitamente drenados, de cores avermelhadas ou amareladas e mais raramente brunadas ou acinzentadas. A textura varia de arenosa a argilosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte Bt, sempre havendo aumento de argila daquele para este. Geralmente apresentam um evidente incremento no teor de argila do horizonte superficial para o horizonte B, com ou sem decréscimo nos horizontes subjacentes. A transição entre os horizontes A e Bt é usualmente clara, abrupta ou gradual (EMBRAPA, 2013). São de forte a moderadamente ácidos, com saturação por bases alta ou baixa, predominantemente cauliníticos e com relação molecular K_i , em geral, variando de 1,0 a 3,3 (EMBRAPA, 2013).

Os Latossolos “compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizonte diagnóstico superficial, exceto hístico” (EMBRAPA, 2013, p.93).

Constituem solos normalmente muito profundos, muito evoluídos e em avançado estágio de intemperização, variando de fortemente a bem drenados, embora haja solos de cores pálidas, de drenagem moderada ou até mesmo imperfeitamente drenada, o que é indicativo de formação em condições atuais ou pretéritas com um certo grau de gleização (EMBRAPA, 2013).

Os Latossolos têm sequência de horizontes A, B, C com pouca diferenciação de sub-horizontes e transições usualmente difusas ou graduais. O incremento de argila do horizonte A para o B é pouco expressivo ou inexistente, e a relação textural B/A não satisfaz aos requisitos para B textural. De um modo geral, os teores da fração argila no solum aumentam

gradativamente com a profundidade ou permanecem constantes ao longo do perfil. A cerosidade, se presente, é pouca e fraca. E geralmente, são solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos ou alumínicos (EMBRAPA, 2013)

Os Gleissolos compreendem

[...] solos minerais, hidromórficos, que apresentam horizonte glei dentro de 50 cm a partir da superfície ou a profundidades entre 50 cm e 150 cm desde que imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização) ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos. Não apresentam textura exclusivamente arenosa em todos os horizontes dentro dos primeiros 150 cm da superfície do solo ou até um contato lítico, tampouco horizonte vértico ou horizonte B plânico acima ou coincidente com horizonte glei ou qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei. Horizonte plântico, se presente, deve estar à profundidade superior a 200 cm da superfície do solo (EMBRAPA, 2013, p. 91).

Os solos desta classe são formados principalmente a partir de sedimentos, estratificados ou não, e sujeitos a constante ou periódica saturação por água, exceto aqueles artificialmente drenados. Desenvolvem-se em sedimentos recentes nas proximidades dos cursos d'água e em materiais colúvio-aluviais sujeitos a condições de hidromorfia, podendo formar-se também em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, como também em materiais residuais em áreas abaciadas e depressões. São eventualmente formados em áreas inclinadas sob influência do afloramento de água subterrânea (surgentes) (EMBRAPA, 2013).

Na bacia do Ribeirão do Mandaguari os Gleissolos encontrados são os Melânicos e Háplicos, ainda segundo o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (ROSSI, 2017). Os Gleissolos Melânicos correspondem àqueles “solos com horizonte H hístico com menos de 40 cm de espessura ou horizonte A húmico, proeminente ou chernozêmico” (EMBRAPA, 2013, p. 177) e os Háplicos são aqueles que não podem ser enquadrados na classe dos Melânicos, Tiomórficos ou Sállicos.

Em associação a essas três principais classes ainda estão os Organossolos e os Neossolos Flúvicos e Litólicos.

Os Organossolos são

[...] solos pouco evoluídos, com preponderância de características devidas ao material orgânico, de coloração preta, cinzenta muito escura ou brunada, resultantes de acumulação de resíduos vegetais, em graus variáveis de decomposição, em condições de drenagem restrita (ambientes de mal a muito mal drenados) ou em ambientes úmidos e frios de altitudes elevadas, saturados com água por apenas poucos dias durante o período chuvoso (EMBRAPA, 2013, p.99)

Esta classe engloba solos com horizontes de constituição orgânica (H, quando formado em condições que favorecem a anaerobiose ou O, quando submetido a drenagem livre), com grande proporção de resíduos vegetais em grau variado de decomposição, que podem se sobrepor ou estar entremeados por horizontes ou camadas minerais de espessuras variáveis. O material de origem desses solos é composto por resíduos vegetais em vários estágios de decomposição, geralmente em mistura com materiais minerais de granulometria variável. Em ambientes sujeitos a forte hidromorfismo, pelo fato de o lençol freático permanecer elevado durante grande parte do ano, as condições anaeróbicas restringem os processos de mineralização da matéria orgânica e limitam o desenvolvimento pedogenético, conduzindo à acumulação expressiva de restos vegetais (EMBRAPA, 2013)

A mineralização da matéria orgânica e a transformação dos resíduos vegetais são lentas em condições naturais. No entanto, a drenagem desses solos para fins agrícolas ou outros conduz ao processo de subsidência e acelera a decomposição da matéria orgânica, promovendo a sua degradação. A composição do material vegetal, a espessura dos materiais orgânicos depositados, as condições de clima e hidromorfismo e a intensidade de manejo – drenagem, calagem e adubação – determinam a intensidade de degradação dos Organossolos (EMBRAPA, 2013, p.100)

Já os Neossolos são conceituados por EMBRAPA (2013) como

[...]solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem (como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica), seja em razão da influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos (EMBRAPA, 2013, p.96)

Na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari podem ser encontrados Neossolos Flúvicos e Neossolos Litólicos, sendo os primeiros encontrados nas planícies aluviais e os segundos associados aos Argissolos. Os Neossolos Flúvicos são “solos derivados de sedimentos aluviais com horizonte A assente sobre camada ou horizonte C e que apresentam caráter flúvico dentro de 150 cm de profundidade a partir da superfície do solo. Admitem um horizonte Bi com menos de 10 cm de espessura. Ausência de gleização expressiva dentro de 50 cm da superfície do solo” (EMBRAPA, 2013, p221). Já os Neossolos Litólicos são

Solos com horizonte A ou hístico assente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matacões), que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50 cm da superfície do solo. Admitem um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2013, p. 221).

De acordo com o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (ROSSI, 2017) na bacia do Ribeirão do Mandaguari são encontradas 8 Unidades de Mapeamento, as quais estão sintetizadas no Quadro 11.

Quadro 11: Unidades de Mapeamento identificadas na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari

GLEISSOLOS HÁPLICOS	
GX2	Complexo Indiscriminado de GLEISSOLO HÁPLICO ou MELÂNICO com ou sem ocorrência de ORGANOSSOLO
GX5	Complexo de GLEISSOLO HÁPLICO e NEOSSOLO FLÚVICO, ambos Distróficos típico A moderado ou proeminente textura indiscriminada
LATOSSOLO VERMELHO	
LV21	LATOSSOLO VERMELHO ou VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado ou fraco textura média álico ou não álico
ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELO	
PVA1	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO ou VERMELHO Eutrófico arênico ou abruptico A moderado ou fraco textura arenosa/média
PVA6	Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico + ARGISSOLO VERMELHO Distrófico e Eutrófico ambos textura arenosa/média e média
PVA10	Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico ou Distrófico espessoarênico ou abruptico, textura média/argilosa, arenosa/argilosa ou arenosa/média + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura média, álico, ambos A moderado
PVA31	Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO e VERMELHO latossólico ou típico, álico ou não álico, A moderado ou fraco textura argilosa ou média/argilosa + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO/AMARELO típico A moderado, textura argilosa, ambos Distróficos
PVA44	Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO abruptico ou não abruptico, arênicos ou espessoarênicos, A moderado ou proeminente, textura arenosa/média + NEOSSOLO LITÓLICO textura média, fase sedimentos Grupo Bauru, ambos Eutróficos/Distróficos, A moderado ou proeminente

Fonte: Rossi (2017)
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

A primeira Unidade de Mapeamento denominada GX2 compreende um complexo indiscriminado de solos do tipo Gleissolo Háplico ou Melânico, com ou sem ocorrência de Organossolos, e está associada às planícies aluviais que se estendem pelos vales dos principais corpos d'água da bacia, segundo o Mapa Pedológico da Bacia do Ribeirão do Mandaguari (Figura 26), adaptado do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (ROSSI, 2017), escala 1:250.000.

A unidade de mapeamento GX5 compreende Gleissolos Háplicos e Neossolos Flúvicos e estão localizados nas planícies aluviais do Ribeirão Santa Teresa e do Córrego da Onça, ainda segundo o Mapa Pedológico da Bacia do Ribeirão do Mandaguari. Na bacia do Ribeirão do Mandaguari foram cartografados, segundo o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (ROSSI, 2017) Gleissolos Melânicos e Gleissolos Háplicos, ambos nas planícies aluviais dos principais cursos d'água. No entanto, também podem ser encontrados nos alvéolos e nas vertentes, onde há surgência do freático. Essas áreas, no entanto, não foram cartografadas, devido a escala do trabalho.

A Unidade LV21, composta por Latossolo Vermelho ou Vermelho-Amarelo, se estende, pelos topos e vertentes do setor sudeste da bacia, associada, principalmente a vertentes com menores valores de declividade e uma densidade hidrográfica também menor. Solos distróficos correspondem à solos com baixa fertilidade, o que do ponto do manejo deve se tomar cuidado.

A maior parte da bacia, no entanto, é composta pelo grupo dos Argissolos, que compreendem as seguintes unidades de mapeamento: PVA1, PVA6, PVA10, PVA31 e PVA44. Na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari são encontrados Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos, Eutróficos ou Distróficos, abrupticos e não abrupticos, arênicos ou espessoarênicos.

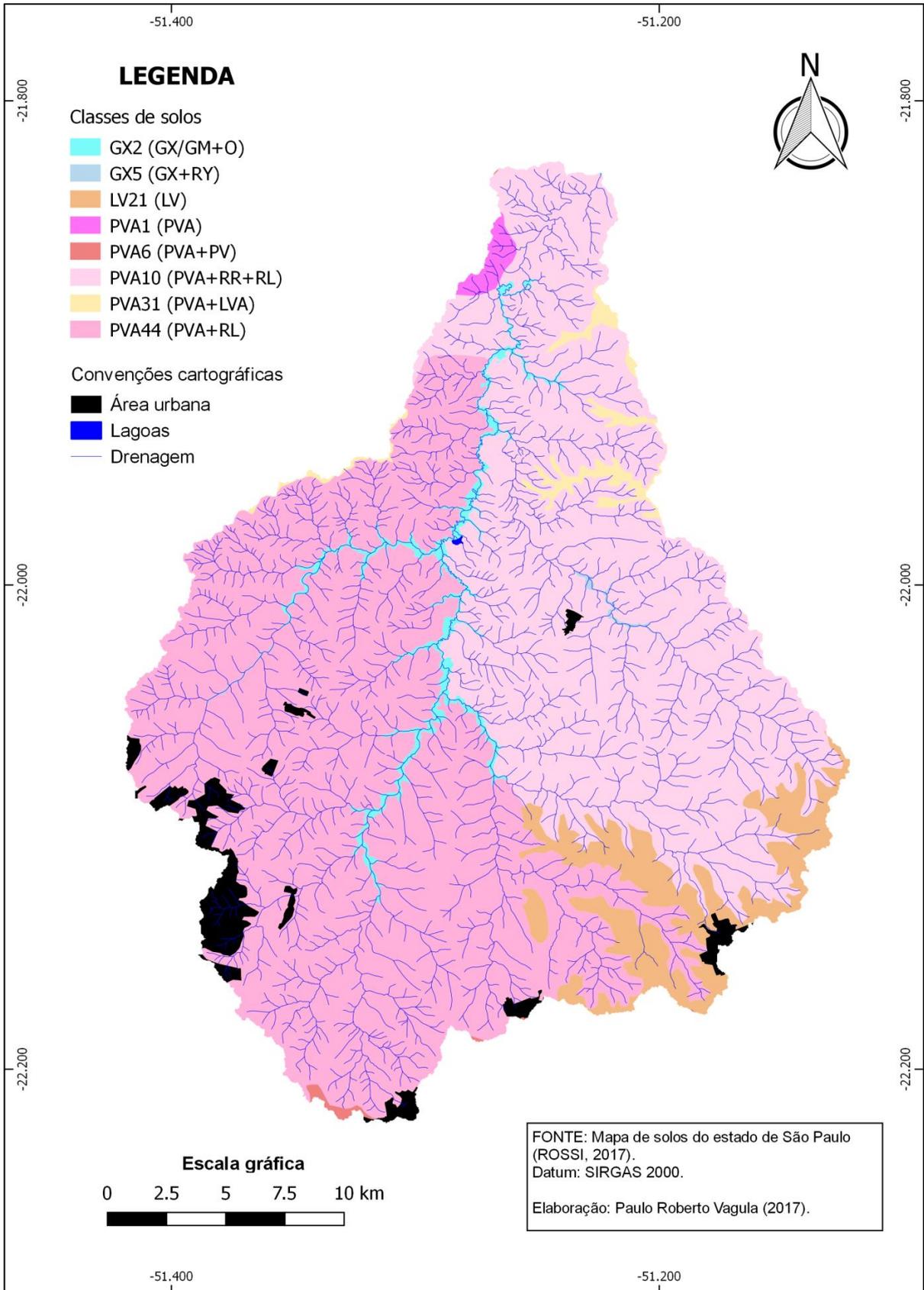


Figura 26: Solos da bacia do Ribeirão do Mandaguari
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

4.6 Forças exógenas atuantes na paisagem

Segundo a classificação climática oficial do IBGE (2002), a bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari localiza-se predominantemente na área de influência do clima tropical sub-quente e úmido, com 1 ou 2 meses secos, conforme se observa na Figura 27.

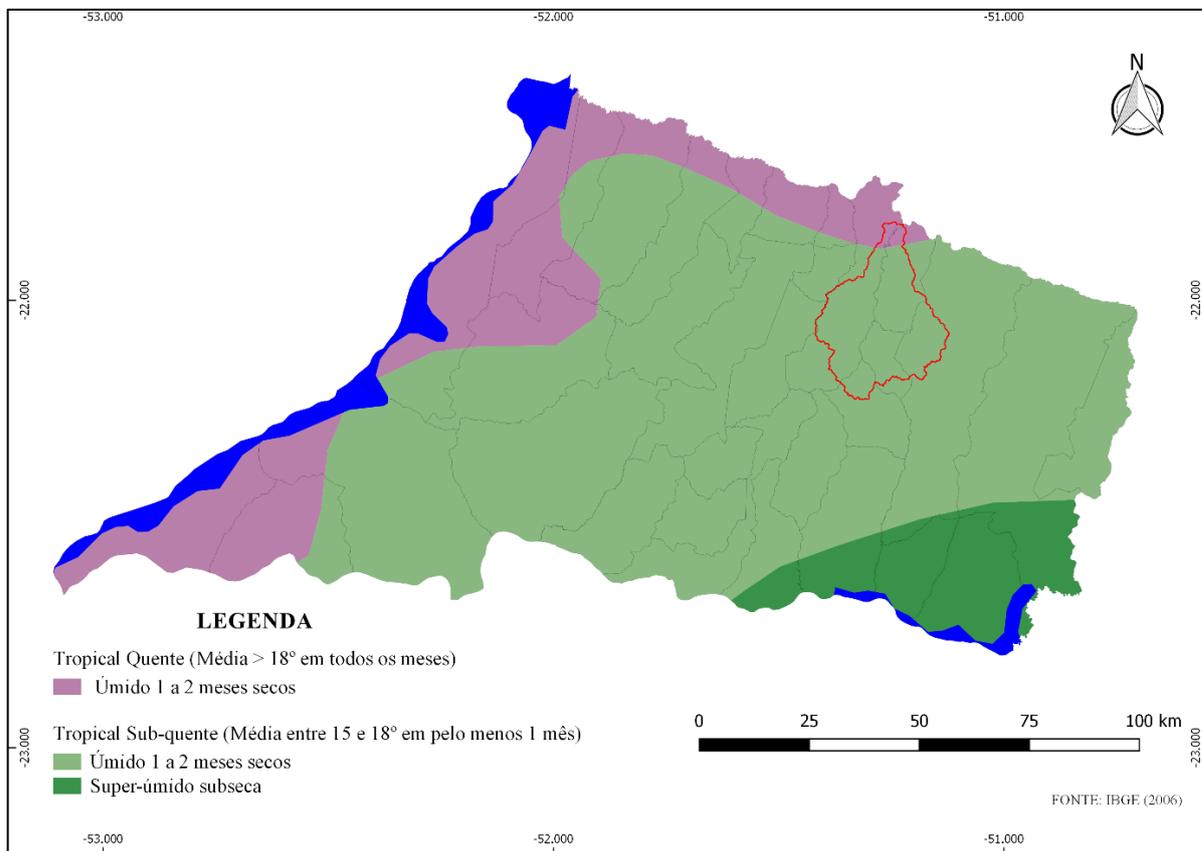


Figura 27: Climas do Oeste Paulista com destaque para a área de estudo
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

Segundo Boin (2000) o Oeste Paulista está localizado em uma área de transição entre sistemas atmosféricos inter e extratropicais, com a atuação das massas Tropical Atlântica, Tropical Continental, Polar Atlântica e Equatorial Continental.

Sant'Anna Neto e Barrios (1992) estudaram a variabilidade e a tendência das chuvas no Oeste Paulista entre os anos de 1951 e 1990 (40 anos) e constataram que a distribuição das chuvas nessa região não apresenta uma uniformidade têmporo-espacial. Enquanto que nos vales dos rios Santo Anastácio, do Peixe e Laranja Doce os totais pluviométricos ficaram entre 1.200 e 1.300 mm anuais, nos topos dos espigões entre os rios Paranapanema, Paraná, Santo Anastácio e do Peixe, onde estão localizadas a maioria das nascentes da bacia em estudo, os totais pluviométricos ficaram entre 1.300 e 1.400 mm anuais. Os autores atribuíram essa variação à configuração do relevo e à direção da entrada dos sistemas atmosféricos.

Os autores ainda identificaram uma tendência crescente das chuvas na primavera e no inverno, tendência de estabilidade no outono, e, no verão, uma tendência decrescente.

As chuvas na região de Presidente Prudente, são predominantemente frontais, gerando valores médios entre 1200 a maiores do que 1300 mm por ano, distribuídos em um número de dias que varia entre 80 e 100. As chuvas máximas em 24 horas são de valores médios a baixos e a densidade das chuvas é média. As precipitações pluviais ocorrem em equilíbrio entre as estações da primavera e as do verão, o que permitiu o autor classificar esta unidade como de impacto pluvial medianamente forte (BOIN, 2000).

5 HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO E USO ATUAL DA TERRA

Até a primeira década do século XX as bacias do Rio Aguapeí, Rio do Peixe, Santo Anastácio e dos tributários do baixo Paranapanema correspondiam a uma área de florestas e savanas ocupada unicamente por indígenas, exceto algumas poucas famílias de desbravadores que residiam nas áreas de savana, conforme descrito por Sampaio (1890). A Figura 28 mostra um mapa do estado de São Paulo do início do século XX no qual toda a parcela oeste de seu território era designada como terrenos desconhecidos ou em exploração.

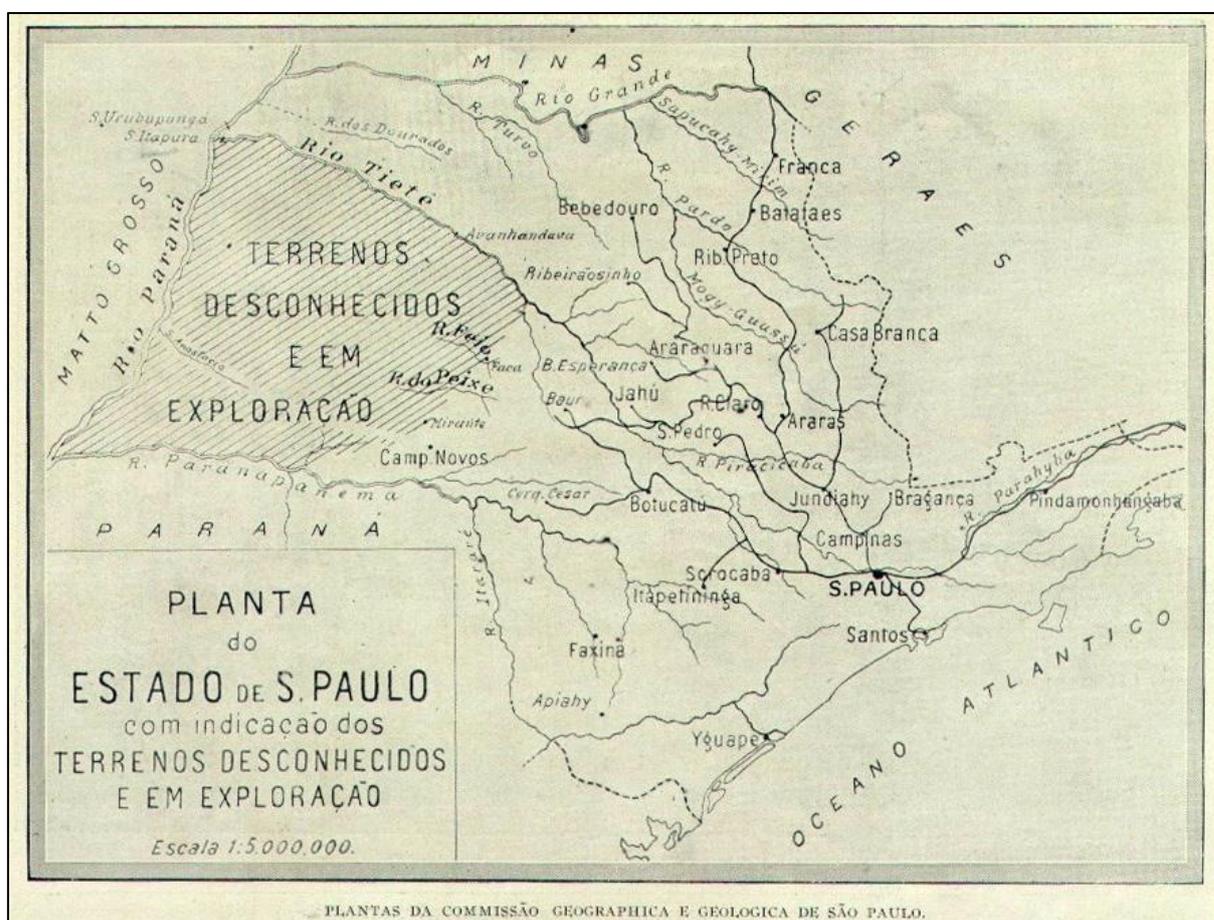


Figura 28: Mapa do estado de São Paulo no início do século XX
Fonte: Revista "A Ilustração Brasileira" - Edição de fevereiro de 1921

A vegetação primária dominante no Oeste de São Paulo até aquele momento era a Floresta Estacional Semidecidual, embora área considerável ao sul do Rio do Peixe tenha sido coberta por savanas (Cerrado), além de uma extensa faixa de contato entre as duas formações florestais, uma zona de transição onde, ora predominavam espécies típicas da floresta, ora da savana.

As primeiras descrições da vegetação primária no Oeste Paulista foram feitas pelos membros da Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo em seus relatórios de viagens. Sampaio (1890) assim descreve as características das florestas desta região:

A mata virgem oferece aos conhecedores da boa terra os indícios mais inconcussos de sua superioridade: a figueira branca com raízes colossais, o pau d'algo, a peroba com grossos troncos lenheiros, a cabriúva, o cedro, a chumbuva, o guaritá, o jataí, jacarandá são aí árvores gigantescas. Enorme variedade de cipós ou plantas sarmentosas faz através da mata uma rede impenetrável. Grande abundância de orquídeas e de bromélias cobrem os troncos envelhecidos, enquanto da massa espessa da folhagem se levantam esbeltas e lindíssimas palmeiras de que também há aqui grande variedade (SAMPAIO, 1890, p. 13).

A imensa floresta que recobria boa parte do Planalto Ocidental Paulista naquele momento histórico configurava um empecilho para a integração do estado de São Paulo e do sul do estado de Mato Grosso (hoje Mato Grosso do Sul), fazendo com que os habitantes desse estado só pudessem alcançar a cidade de São Paulo ou o Rio de Janeiro através do rio Paraguai ou pelo Triângulo Mineiro.

Segundo relatos do capitão Francisco Whitaker, publicado por Abreu (1965), em 1906 o Dr. Francisco Tibiriça, obteve concessão para abrir uma estrada de rodagem que partiria de Campos Novos do Paranapanema (SP), atravessando o rio Paraná, até alcançar a região do rio Vacaria (MS). Para tanto, o Dr. Tibiriça associou-se ao Coronel Arthur de Aguiar Diederichsen, um rico cafeicultor da região de Ribeirão Preto, ficando com este último a missão de construir o trecho paulista da estrada. O Capitão Francisco Whitaker, então gerente das fazendas do coronel, ficou responsável por chefiar as obras para a abertura da estrada, as quais tiveram início em maio de 1906.

Com o avanço mata a dentro, os trabalhadores começaram a ter dificuldades com o abastecimento de alimentos e ferramentas, uma vez que os Coroados atacavam os envios de mercadorias. Para garantir a demanda de suprimentos decidiram, então, estabelecer um posto de recursos. O local escolhido para a construção do posto localizava-se na área de transição entre a savana (Cerrado) e a floresta, no espigão divisor de águas das bacias do Ribeirão Laranja Doce e do Ribeirão do Mandaguari. No dia 03 de junho de 1907 foi armado um acampamento nas cabeceiras de drenagem de um córrego que mais tarde ficaria conhecido como Córrego do Acampamento (um dos principais afluentes do Ribeirão do Mandaguari), depois veio a construção do primeiro rancho, o qual deu origem à Fazenda Indiana. Iniciou-se, então, o processo de ocupação da bacia do Ribeirão do Mandaguari (ABREU, 1965).

O estabelecimento desse entreposto permitiu a conclusão da abertura da estrada até o rio Paraná em poucos meses e permitiu o início de um povoado, que em um primeiro momento serviu de base para o controle da estrada por parte da Cia. Viação São Paulo- Mato Grosso, e depois para a colonização das terras (ABREU, 1965).

Na segunda metade da década seguinte, a construção da E.F. Sorocabana alcançou a bacia do Ribeirão do Mandaguari, contornando-a pelo espigão divisor de águas, entre as estações de José Teodoro (Martinópolis) e Mandaguari (Espigão), o divisor com a bacia do Ribeirão Laranja Doce, e das proximidades dessa última até a estação de Álvares Machado, o divisor com a bacia do Rio Santo Anastácio.

No relatório de 1916 da E.F. Sorocabana consta que o picadão na mata havia atingido 75 quilômetros além da estação José Teodoro, o leito da linha, que inclui movimento de terra, estava preparado até 66 quilômetros, os trilhos estavam assentados a quinze quilômetros além da estação e a linha estava terminada, assentada e nivelada até 12 quilômetros além, ou seja, nas proximidades do então povoado de Indiana (DALTOZO, 2007), o que evidencia o rápido avanço das obras em direção ao rio Paraná.

Com a chegada da ferrovia, a ocupação da bacia se deu de forma rápida. As estações eram construídas a cada 12 quilômetros, aproximadamente, de modo a permitir o abastecimento das locomotivas com água e lenha (DALTOZO, 2007). Em cada uma dessas estações surgiu um núcleo de colonização, exceto Indiana, que havia se formado antes da chegada da ferrovia.

Ainda na década de 1910 teve início o loteamento da Vila Goulart, em 1917, e da Vila Marcondes, dois anos mais tarde. Ambas já no início da década de 1920 formariam a cidade de Presidente Prudente, que se expandiria, nas primeiras décadas de sua existência, preferencialmente sobre o espigão divisor de águas. A Figura 29 mostra a cidade de Presidente Prudente no ano de 1939. Nela se observa a linha férrea cujos trilhos foram assentados sobre o espigão divisor de águas entre as bacias do Ribeirão do Mandaguari (esquerda) e do Ribeirão Santo Anastácio (direita). Enquanto a cidade avançava preferencialmente por esta última, favorecida pela declividade menos acentuadas das vertentes e pelo processo de loteamento, vê-se que na bacia do Ribeirão do Mandaguari as vertentes estavam ocupadas principalmente por cafezais.



Figura 29: Foto aérea de Presidente Prudente tomada no ano de 1939
Fonte: Arquivo IGC

Na década de 1920 o Coronel João Gomes Martins loteou uma pequena área de sua fazenda de frente a estação de José Teodoro, denominando-a núcleo de colonização Boa Ventura, que na década de 1930 se tornaria a cidade de Martinópolis, outra que cresceu pelo espigão divisor de águas e se estendeu pelas vertentes e cabeceiras de drenagem até alcançar as nascentes de alguns dos principais tributários do Ribeirão do Mandaguari. A Figura 30 mostra as primeiras construções da vila que se formaria após a derrubada da floresta.



Figura 30: Hotel Colonial de Martinópolis, primeira construção de alvenaria, 1925
Fonte: Museu Virtual de Martinópolis, página do Facebook

Nas proximidades das cabeceiras de drenagem do Ribeirão Memória, próximo a uma das estações da E.F. Sorocabana localizava-se uma pousada rústica, a qual serviu de base para que a Companhia Viação São Paulo - Mato Grosso loteasse ainda em 1922 uma gleba de 10 alqueires dando início à formação do patrimônio Memória e conseqüentemente ao nascimento da cidade de Regente Feijó, cujo município foi criado em 1935.

Diferentemente das todas as cidades localizadas na bacia, que foram fundadas nas proximidades das estações da E. F. Sorocabana, Caiabu surgiu em seu interior, a partir de um povoado formado por agricultores de algodão e trabalhadores na década de 1935. O povoado de Santo Antônio, como era chamado na época, cresceu sobre o espigão divisor de águas das sub-bacia do Ribeirão Santa Teresa com o Ribeirão do Mandaguari, tornando-se distrito em 1944, e emancipando-se de Regente Feijó em 1953.

Embora as cidades tenham se desenvolvido preferencialmente nos espigões, é fato que parte considerável da bacia havia sido ocupada ainda na década de 1920 por núcleos de colonizações rurais. Sobre a venda de lotes rurais, Daltozo (1999) recorda que a maioria dos lotes que eram vendidos tinham entre 2 e 50 alqueires. Ainda segundo o autor, em meados da década de 1920, foi implantado o povoado do Jacaré (situado nas margens do córrego homônimo) e a Vila Martins, localizada nas vertentes da margem esquerda do Ribeirão Santa Teresa, demonstrando o avanço rápido da ocupação dessa parcela do território.

Francisco (1989) analisou as consequências do desmatamento no município de Presidente Prudente, o qual tem parte considerável de seu território drenado por córregos da bacia do Ribeirão do Mandaguari. Para o autor, a derrubada da mata e a instalação de práticas agrícolas que não levavam em conta as condições pedológicas e geomorfológicas locais acarretaram graves consequências à paisagem natural, pois quebrou o equilíbrio existente entre floresta e solo sob a dominância de um clima úmido acelerando a atuação dos processos erosivos.

Ainda Francisco (1989) destaca que nessas florestas a existência de um sistema radicular profundo proporcionava através da absorção de água pelas raízes a regulação do nível do freático em uma profundidade que variava de 21 a 30 metros nos espigões e entre 1 e 8 metros nas áreas de meia encosta e nas várzeas e que com a derrubada, a ausência primeiramente da absorção da água pelas raízes provocou uma elevação no nível do freático e um aumento das vazões nas nascentes, o que foi atestado pelos relatos de antigos moradores, os quais declararam que após as derrubadas ocorreram o aparecimento de minas e a elevação do nível dos córregos, ribeirões e rios. Logo após a elevação deu-se início o rebaixamento do nível freático devido às mudanças nas condições hidrológicas do subsolo, seguido do rebaixamento do nível dos córregos, segundo relatos dos primeiros moradores que foram destacados pelo autor.

A camada húmifera que existia no solo das florestas era mantida pela queda foliar. Com a queimada, raízes, troncos e galhos eram transformadas em uma camada de cinza constituída de sais de potássio, inicialmente aumentando a capacidade de nutrientes minerais do solo, por isso, durante os primeiros anos as plantações tiveram alto rendimento. Por outro lado, a redução da matéria orgânica no solo deixava-o sob a ação de precipitações que passaram a atingi-lo diretamente, transportando sua camada superficial constituída pelas cinzas e pela pouca quantidade de matéria orgânica não queimada (FRANCISCO, 1989).

A utilização de todos os compartimentos de relevo para a exploração do café, permitiu o plantio desta cultura nas áreas de encosta e meia encosta, possibilitando pela maior declividade do terreno, uma velocidade também maior do escoamento superficial, e conseqüentemente maior perda de solo por erosão. A Figura 31 mostra uma foto aérea dos cafezais nas proximidades de Presidente Prudente com plantio do tipo “morro abaixo” que era muito utilizado, potencializando a perda de solo.



Figura 31: Cafezais nas proximidades de Presidente Prudente
Fonte: Arquivo IGC

Por outro lado, a cotonicultura com seu elevado grau de exigência edáfica, de nutrientes e de preparo do solo acelerou a perda de fertilidade do solo e a intensificação dos processos erosivos. Em termos agrícolas a substituição do algodão pelo amendoim não só elevou a atuação do processo erosivo pela movimentação do solo através do arado na prática da semeadura, como aumentou a perda de fertilidade pelo processo de lixiviação.

O emprego da mecanização nestas áreas agrícolas, como do arado de disco para tombamento das culturas de algodão e amendoim levou a uma compressão das camadas inferiores do solo e à pulverização de sua superfície, possibilitando a formação de camadas inferiores compactadas não permitindo os processos de infiltração ocasionando primeiramente o transporte das partículas do solo e posteriormente o processo erosivo (FRANCISCO, 1989).

As práticas agrícolas equivocadas durante anos esgotaram demasiadamente o solo, sendo um dos principais fatores que levou à substituição gradual da agricultura pelas pastagens. Com a instalação da pastagem no solo arenoso, o pisoteio do gado levou e tem levado à instalação dos processos erosivos (laminar, sulcos e voçorocas).

É possível que a maior parte dos impactos ambientais tenham ocorrido nos primeiros anos após a derrubada das florestas, como perda de solo e processos de ravinamento e voçorocamento, no entanto, não há nenhuma forma de se mensurar isso até porque as primeiras imagens aéreas foram tomadas na segunda metade do século XX. No entanto,

encontramos um registro de voçorocamento causado pelo escoamento direcionado das águas pluviais na área urbana de Martinópolis, nas cabeceiras de drenagem do Córrego do Capão Bonito, afluente do Ribeirão do Mandaguari, conforme Figura 32.



Figura 32: Voçoroca existente na atual rua José Teodoro, na área urbana de Martinópolis, 1940
Fonte: Museu Virtual de Martinópolis, página do Facebook

O desenvolvimento e a intensificação dos processos erosivos causados pela derrubada da mata e pela falta de técnicas conservacionistas para o uso da terra causaram o assoreamento dos leitos dos cursos d'água da bacia do Ribeirão do Mandaguari, alterando a dinâmica hidrossedimentológica e consequentemente impactando os ecossistemas aquáticos da bacia.

Trivellato (2013) avaliou imagens orbitais de alta resolução nos pontos onde nos anos de 1905 e 1906 a CGG São Paulo catalogou corredeiras e ilhas no Rio do Peixe e constatou que nenhum deles, exceto o Salto Quatiara (maior salto então existente) existe nos dias atuais, o que levantou indícios de que tenha havido um assoreamento ou entulhamento de materiais aluviais no curso do rio. Na Figura 33 é possível visualizar o Salto dos Guachos que foi catalogado quando da passagem da comissão pelo Oeste Paulista.



Figura 33: Salto dos Guachos no Rio do Peixe
Fonte: Arquivo IGC

De forma geral, a colonização realizada no início do século passado ainda marca a estrutura fundiária na bacia, que é ocupada, preferencialmente por lotes pequenos e médios, com predomínio, na atualidade, de pastagens, conforme mostra a Figura 34.

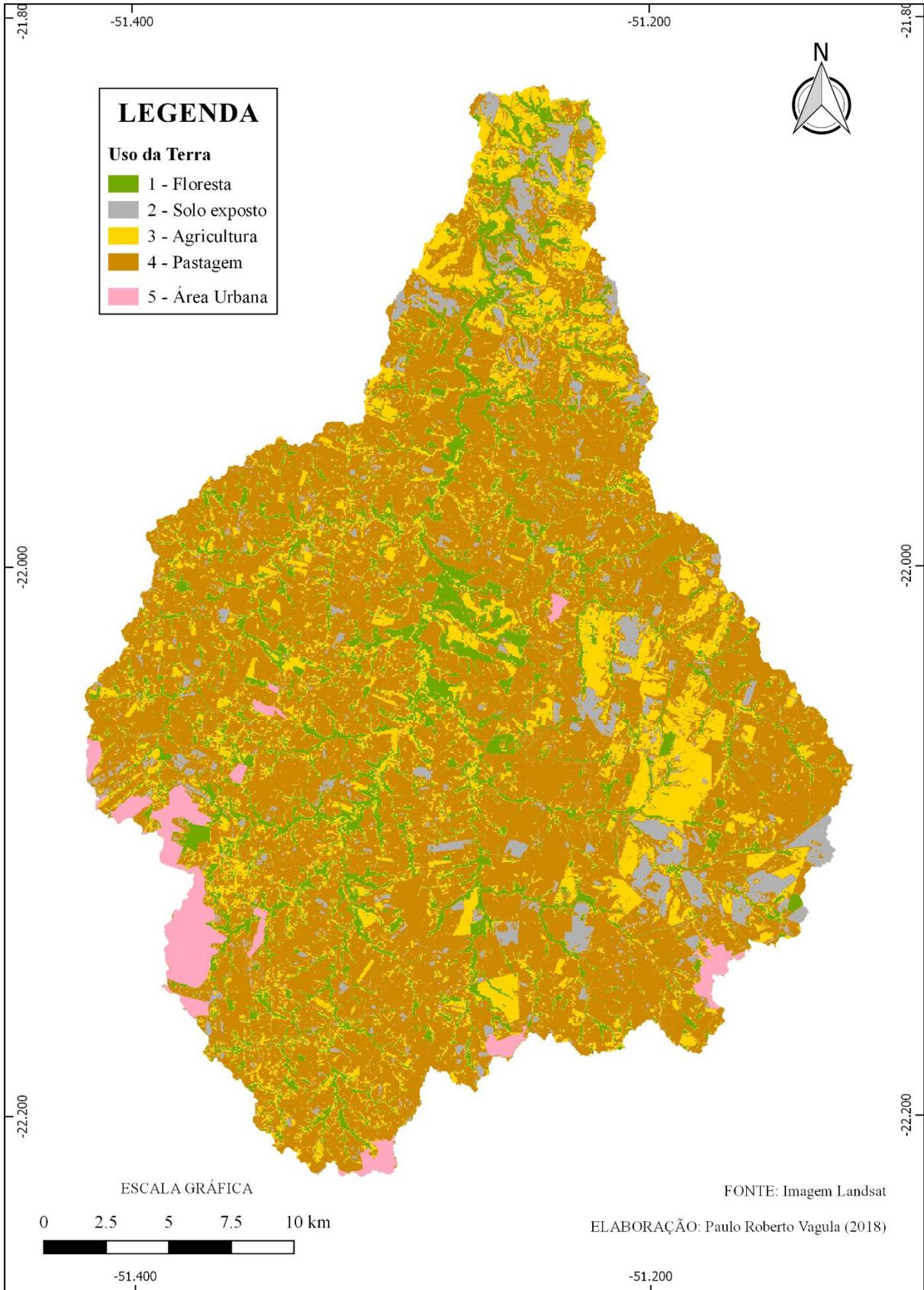


Figura 34: Uso da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

6 SÍNTESE ANALÍTICA DA FRAGILIDADE AMBIENTAL AOS PROCESSOS EROSIVOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO MANDAGUARI

A partir da aplicação da metodologia elaborada por Ross (1994) para a análise da fragilidade ambiental, com as devidas adaptações para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari foram gerados três mapas: (1) mapa da fragilidade do relevo (associação da curvatura do terreno com a declividade); (2) mapa da fragilidade potencial (associação dos tipos de solo com o relevo); (3) mapa da fragilidade ambiental emergente (associação do uso da terra, relevo e tipos de solo). As análises são descritas na sequência. Para as áreas classificadas como de uso restrito foi criado um subitem específico.

6.1. Fragilidade do relevo

O mapa de fragilidade do relevo (Figura 35) é resultado da sobreposição ponderada da declividade do terreno em porcentagem com a curvatura da superfície. Os valores nele expressos denotam os índices de fragilidade levando-se em consideração apenas as características do terreno.

Para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari os níveis variaram entre 2 e 5, sendo o valor “2” correspondente a fragilidade baixa e o valor “5” correspondente a fragilidade alta, conforme se observa no Quadro 12.

Quadro 12: Fragilidade do relevo aos processos erosivos de acordo com os compartimentos de relevo

FRAGILIDADE	COMPARTIMENTOS DO RELEVO
(2) Baixa	Terraços
(3) Média	Vertentes convexas cujas declividades variam de 0 a 6% e de 6 a 12%. Vertentes côncavas cujas declividades não ultrapassam 6%.
(4) Alta	Vertentes convexas cujas declividades variam de 12 a 20% e de 20 a 30%. Vertentes côncavas cujas declividades variam de 6 a 12% e de 12 a 20%.
(5) Muito alta	Vertentes convexas cujas declividades estão acima de 30%. Vertentes côncavas cujas declividades estão entre 20 e 30% e acima de 30%.
Uso restrito	Planícies aluviais

Elaboração: Paulo Roberto Vagula

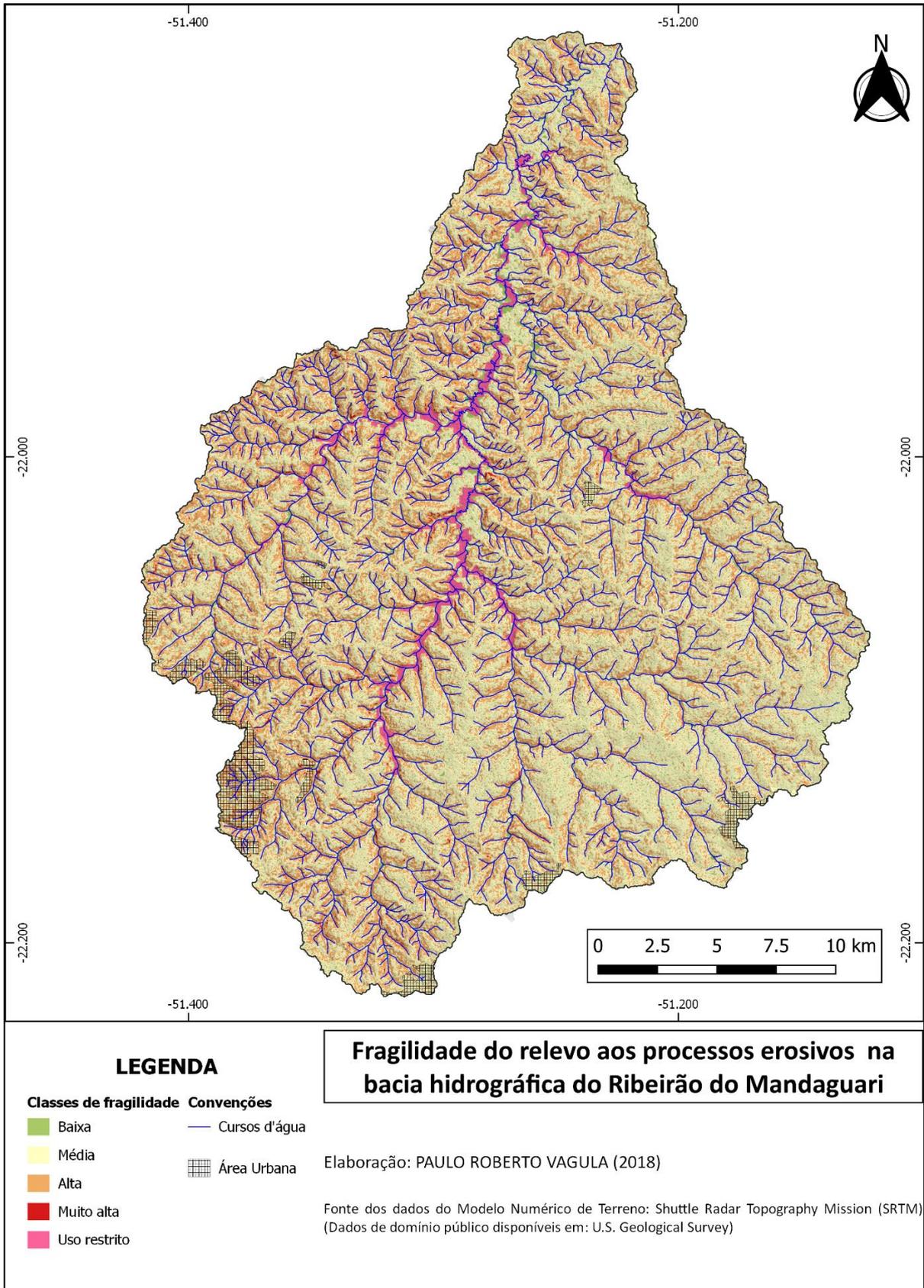


Figura 35: Fragilidade do relevo aos processos erosivos na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

Os terraços e as planícies por conta de sua posição topográfica associada às formas planas compreendem áreas de fragilidade baixa aos processos erosivos causados por erosão hídrica. As planícies, em especial, configuram áreas de uso restrito por estarem sujeitas a inundações periódicas e por isso serão abordadas em tópico separado.

Diferentemente das planícies e terraços onde predomina a acumulação de sedimentos e, portanto, a fragilidade do relevo aos processos erosivos é baixa, nos topos e vertentes, onde predomina processos de denudação, a fragilidade varia de média a muito alta, de acordo com a curvatura e a declividade do terreno. As vertentes côncavas, por serem convergentes de água acabam sendo mais frágeis aos processos erosivos do que as convexas, por serem dispersoras.

Conforme se observa na Figura 36, aproximadamente 55% da área drenada pela bacia corresponde à classe de média fragilidade, enquanto que 37,6% corresponde a vertentes de alta fragilidade. As áreas de média fragilidade congregam as vertentes convexas cujas declividades não ultrapassam os 12% e vertentes côncavas de declividades não superiores a 6%. Já as áreas classificadas como fragilidade alta congregam vertentes convexas com declividades entre 12 e 30% e vertentes côncavas com declividades variando de 6 a 20%.

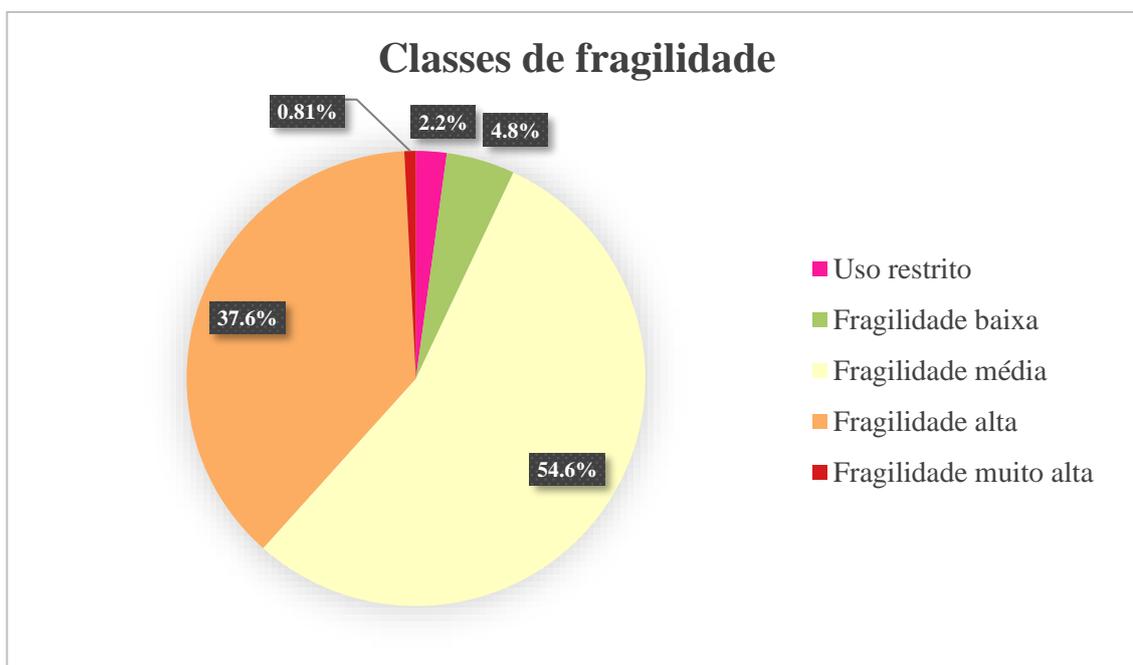


Figura 36: Gráfico de distribuição das classes de fragilidade do relevo aos processos erosivos
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

A Figura 37 mostra diferentes compartimentos do relevo no vale do Córrego Santa Maria, afluente do Ribeirão do Mandaguari, na qual observam-se os compartimentos de relevo com diferentes graus de fragilidade, variando em função da declividade e da curvatura,

além da planície aluvial, onde a fragilidade é baixa e os processos morfodinâmicos estão associados ao trabalho de deposição e entalhamento do curso d'água.

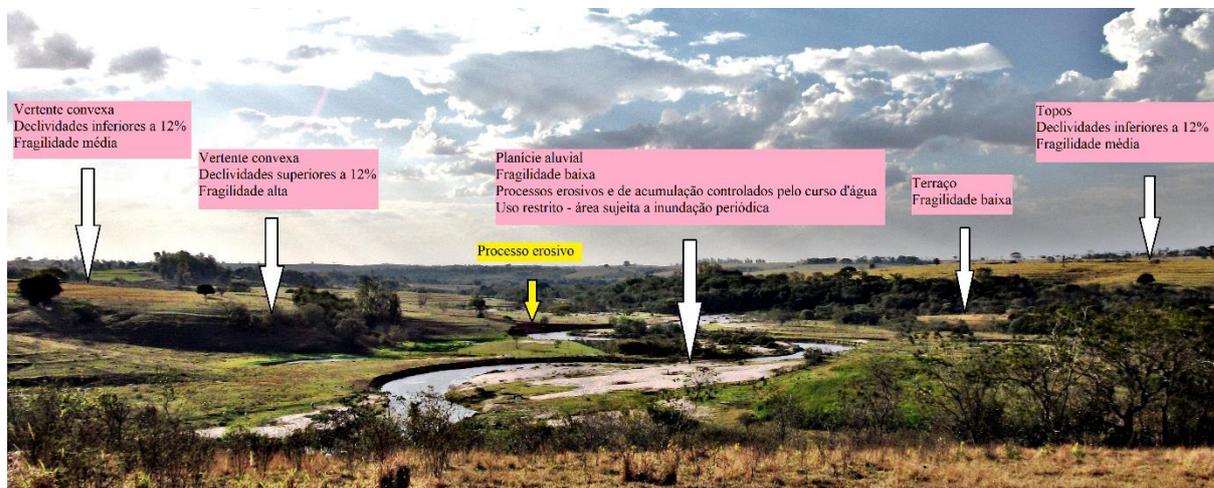


Figura 37: Compatimentos do relevo com diferentes graus de fragilidade no vale do Córrego Santa Maria
 Fonte: Trabalho de campo (2016)

Ainda no mesmo ponto, porém de outro ângulo, pode-se observar que enquanto nas vertentes de fragilidade alta ocorrem processos erosivos causados pela erosão hídrica, no fundo de vale o processo erosivo é causado pela migração do canal do córrego na planície.



Figura 38: Processos erosivos no vale do Córrego Santa Maria
 Fonte: Trabalho de campo (2016)

A Figura 39 exemplifica um processo de voçorocamento na bacia do Ribeirão do Mandaguari. A voçoroca localiza-se em uma vertente côncava da margem direita do Córrego do Jacaré, no município de Indiana (SP), provocado, provavelmente, pela associação da morfologia do terreno (predomínio de vertentes côncavas, concentradoras de escoamento)

com as características do solo e o uso da terra. Notar a existência de uma estrada rural que precisou ter o seu traçado alterado por conta da evolução do processo erosivo.



Figura 39: Processo de voçorocamento em vertentes côncavas
Fonte: Imagem do Google Earth® de 13/08/2011

As áreas classificadas como fragilidade muito alta correspondem às vertentes convexas cujas declividades estão acima de 30% e às vertentes côncavas cujas declividades estão entre 20 e 30% e acima de 30%. Essas vertentes são exceções na bacia e de forma geral ocorrem em algumas vertentes do vale principal e de alguns afluentes principais, principalmente aqueles da margem esquerda.

A Figura 40 exemplifica um ponto onde as vertentes são de fragilidade muito alta aos processos erosivos.



Figura 40: Vertentes de fragilidade muito alta na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari
 Fonte: Imagem do Google Earth®

Em suma, quando se observa o Mapa de Fragilidade do Relevo da bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari vê-se claramente a predominância das áreas de fragilidade média e alta em detrimento das áreas de fragilidade baixa e muito alta, as primeiras correspondentes às planícies aluviais e terraços e as segundas a algumas vertentes côncavas e convexas mais declivosas na bacia.

6.2 Fragilidade potencial

O Mapa de Fragilidade Potencial (Figura 41) é resultado do cruzamento da declividade do terreno em porcentagem e da curvatura da superfície com os tipos de solo presentes na bacia. Os valores nele expressos denotam os índices de fragilidade levando-se em consideração as características do relevo e do solo, conforme proposto por Ross (1994).

Para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari os níveis variaram entre “3” e “5”, sendo o valor “3” correspondente a fragilidade média e o valor “5” correspondente a fragilidade muito alta, além das áreas de uso restrito, conforme se observa no Quadro 13.

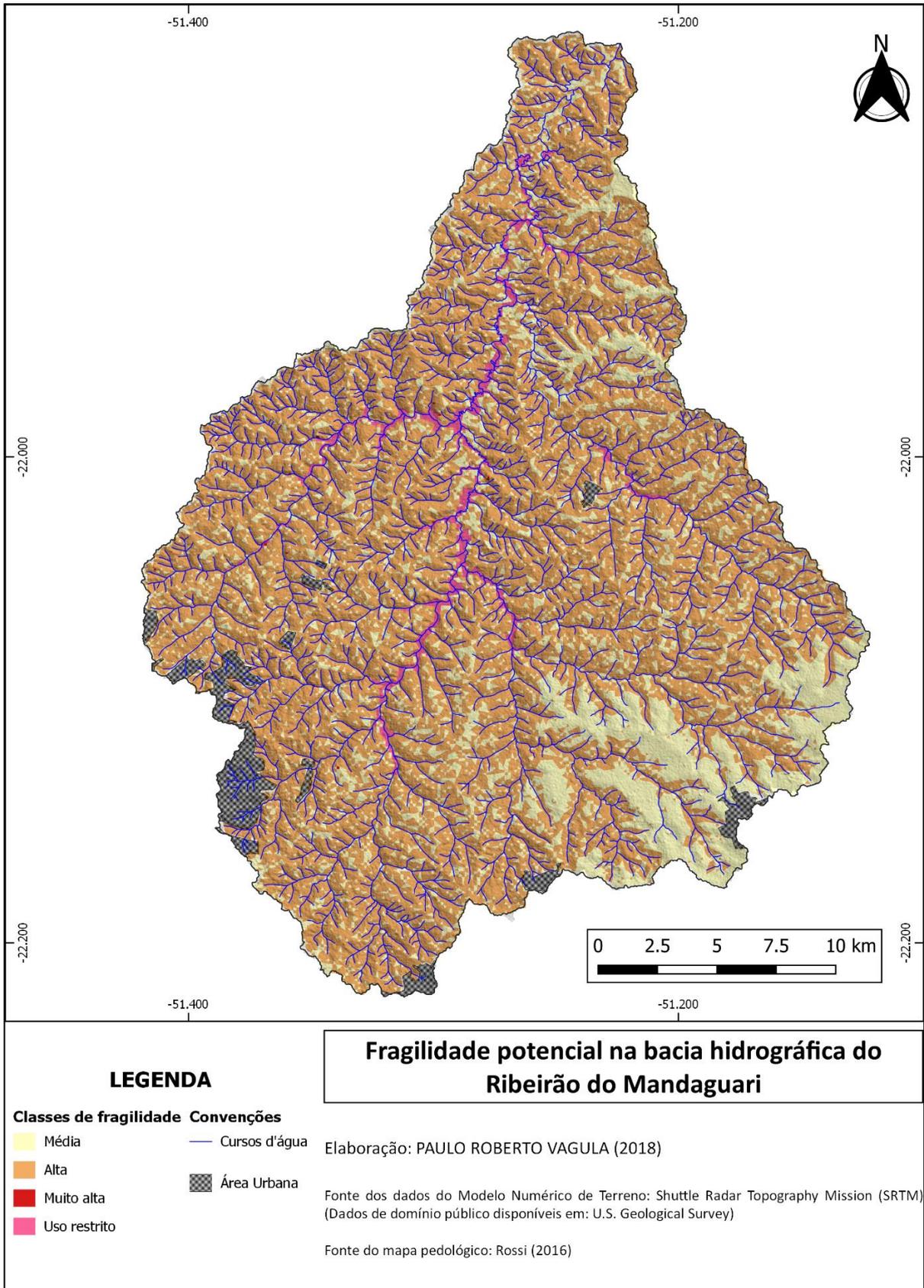


Figura 41: Fragilidade potencial na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

Quadro 13: Fragilidade potencial na bacia do Ribeirão do Mandaguari

CLASSES DE FRAGILIDADE	ASSOCIAÇÕES	
	Características do terreno	Agrupamentos de solos
(3) Média	Curvatura convexa e declividades variando de 0 a 20% Curvatura côncava e declividades de 0 a 12%	(LV21) LATOSSOLO VERMELHO ou VERMELHO-AMARELO Distrófico típico A moderado ou fraco textura média álico ou não álico (PVA31) Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO e VERMELHO latossólico ou típico, álico ou não álico, A moderado ou fraco textura argilosa ou média/argilosa + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO/AMARELO típico A moderado, textura argilosa, ambos Distróficos
	Curvatura convexa e declividades de até 6%	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO ou VERMELHO Eutrófico arênico ou abruptico A moderado ou fraco textura arenosa/média Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico + ARGISSOLO VERMELHO Distrófico e Eutrófico ambos textura arenosa/média e média Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico ou Distrófico espedoarênico ou abruptico, textura média/argilosa, arenosa/argilosa ou arenosa/média + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura média, álico, ambos A moderado Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO abruptico ou não abruptico, arênicos ou espedoarênicos, A moderado ou proeminente, textura arenosa/média + NEOSSOLO LITÓLICO textura média, fase sedimentos Grupo Bauru, ambos Eutróficos/Distróficos, A moderado ou proeminente
(4) Alta	Curvatura convexa com declividades maiores que 20% Curvatura côncava com declividades superiores a 12 %	Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO e VERMELHO latossólico ou típico, álico ou não álico, A moderado ou fraco textura argilosa ou média/argilosa + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO/AMARELO típico A moderado, textura argilosa, ambos Distróficos
	Curvatura convexa mais declividades superiores a 6% Curvatura côncava e declividades de até 30%	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO ou VERMELHO Eutrófico arênico ou abruptico A moderado ou fraco textura arenosa/média Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico + ARGISSOLO VERMELHO Distrófico e Eutrófico ambos textura arenosa/média e média Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico ou Distrófico espedoarênico ou abruptico, textura média/argilosa, arenosa/argilosa ou arenosa/média + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico típico, textura média, álico, ambos A moderado Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO abruptico ou não abruptico, arênicos ou espedoarênicos, A moderado ou proeminente, textura arenosa/média + NEOSSOLO LITÓLICO textura média, fase sedimentos Grupo Bauru, ambos Eutróficos/Distróficos, A moderado ou proeminente
(5) Muito alta	Curvatura côncava mais declividades superiores a 30%	Associação de ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO abruptico ou não abruptico, arênicos ou espedoarênicos, A moderado ou proeminente, textura arenosa/média + NEOSSOLO LITÓLICO textura média, fase sedimentos Grupo Bauru, ambos Eutróficos/Distróficos, A moderado ou proeminente
Uso restrito	Planícies aluviais	Complexo Indiscriminado de GLEISSOLO HÁPLICO ou MELÂNICO com ou sem ocorrência de ORGANOSSOLO Complexo de GLEISSOLO HÁPLICO e NEOSSOLO FLÚVICO, ambos Distróficos típico A moderado ou proeminente textura indiscriminada

Elaboração: Paulo Roberto Vagula

Quando se leva em consideração a associação dos tipos de solo com as formas do terreno, observa-se o predomínio evidente de áreas variando de média a alta fragilidade. Conforme se observa na Figura 42, 60,5% da área drenada pela bacia corresponde à classe de alta fragilidade, enquanto que 34,5% corresponde a vertentes de média fragilidade.

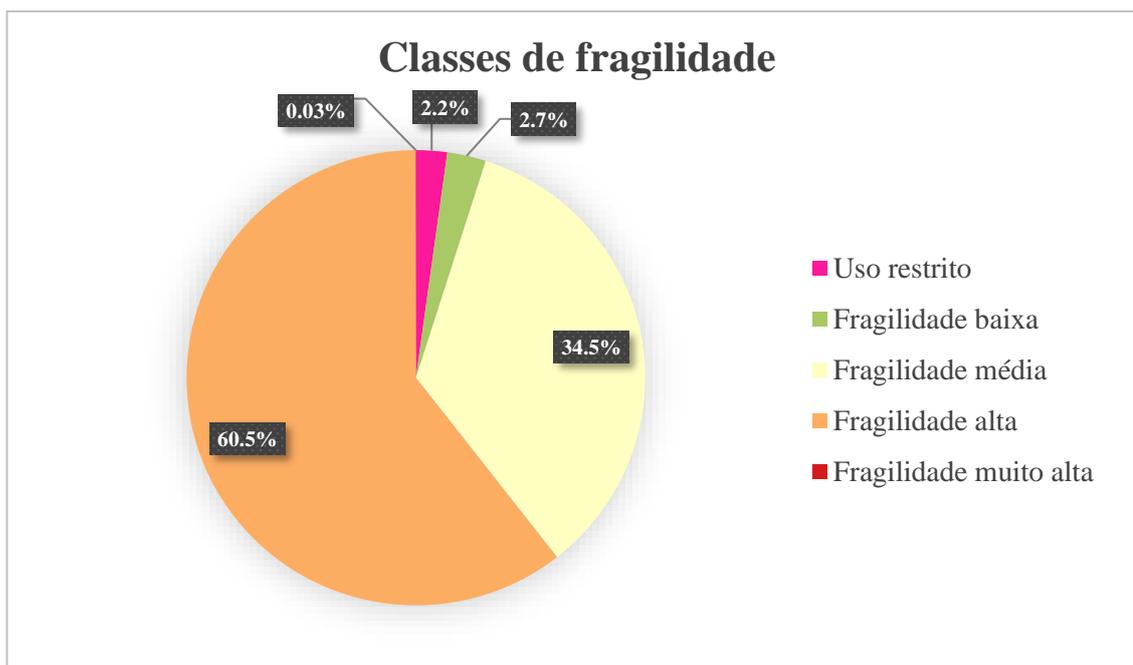


Figura 42: Gráfico de distribuição das classes de fragilidade potencial
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

As áreas classificadas como de fragilidade potencial média correspondem aos topos planos e convexos onde ocorrem manchas de Latossolos da Unidade LV21 e da Unidade PVA31. A Unidade LV21 congrega os Latossolos Vermelho ou Vermelho-amarelo ambos distróficos típicos, A moderado ou fraco de textura média, álico ou não álico. Foram considerados de média fragilidade devido à sua textura predominantemente média. Já a Unidade PVA31 corresponde à associação dos Argissolos Vermelho-amarelo e Vermelho, ambos latossólicos ou típicos, álicos ou não álicos, A moderado ou fraco, de textura argilosa ou média/argilosa com os Latossolos Vermelho-Amarelos ou Amarelos, típicos, A moderado, textura argilosa, ambos distróficos. Como é sabido os Latossolos de textura argilosa devem ser considerados como de fragilidade baixa, contudo, devido a escala do mapa pedológico utilizado bem como da dificuldade de individualização destes com os Argissolos sem que fossem coletadas amostras, optou-se por classificá-los como solos de fragilidade média.

A Figura 43 mostra um topo onde predominam os Latossolos da unidade LV21 nas proximidades da cidade de Martinópolis.



Figura 43: Topos classificados como de fragilidade média
Fonte: Trabalho de campo (2018)

Além dos topos, também foram classificadas como fragilidade potencial média as vertentes convexas cujas declividades não ultrapassam os 20% e as vertentes de curvatura côncava com declividades de até 12% associadas aos Argissolos da unidade de solo PVA31 (Associação de Argissolo Vermelho-amarelo e Vermelho latossólico ou típico, álico ou não álico, A moderado ou fraco textura argilosa ou média/argilosa + Latossolo vermelho-amarelo/Amarelo típico A moderado, textura argilosa, ambos Distróficos).

Os Argissolos dessa categoria foram considerados de média fragilidade porque, além de sua textura argilosa ou média/argilosa, não possuem horizontes abruptos, favorecendo a infiltração e a percolação da água através de suas camadas.

Ainda foram considerados de fragilidade potencial média aqueles terrenos de curvatura convexa com declividades de no máximo 6% que porventura estejam associados às unidades PVA1 (Argissolo Vermelho-amarelo ou Vermelho Eutrófico arênico ou abrupto A moderado ou fraco textura arenosa/média), PVA6 (Associação de Argissolo Vermelho-amarelo Eutrófico + Argissolo Vermelho Distrófico e Eutrófico ambos textura arenosa/média e média), PVA10 (Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico ou Distrófico espessoarênico ou abrupto, textura média/argilosa, arenosa/argilosa ou arenosa/média + Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, textura média, álico, ambos A moderado) e PVA44 (Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo abrupto ou não abrupto, arênicos ou espessoarênicos, A moderado ou proeminente, textura arenosa/média + Neossolo Litólico textura média, fase sedimentos Grupo Bauru, ambos Eutróficos/Distróficos, A moderado ou proeminente).

As áreas classificadas como de fragilidade potencial alta correspondem àquelas onde há a associação da curvatura convexa com declividades superiores a 20% e curvatura côncava com declividades superiores a 12% com os Argissolos da unidade de mapeamento PVA31 (Argissolos de textura argilosa ou média/argilosa) e as vertentes de curvatura convexa com declividades superiores a 6% e a curvatura côncava com declividades até 30% associadas aos Argissolos das unidades PVA1 (Argissolo Vermelho-Amarelo ou Vermelho Eutrófico arênico ou abrupto A moderado ou fraco textura arenosa/média), PVA6 (Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico + Argissolo Vermelho Distrófico e Eutrófico ambos textura arenosa/média e média), PVA10 (Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico ou Distrófico espessoarênico ou abrupto, textura média/argilosa, arenosa/argilosa ou arenosa/média + Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, textura média, álico, ambos A moderado) e PVA44 (Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo abrupto ou não abrupto, arênicos ou espessoarênicos, A moderado ou proeminente, textura arenosa/média + Neossolo Litólico textura média, fase sedimentos Grupo Bauru, ambos Eutróficos/Distróficos, A moderado ou proeminente).

A Figura 44 mostra exemplos de áreas classificadas como fragilidade potencial média e alta. Os topos convexos associados às declividades baixas e a manchas de Latossolos acabam sendo menos propensos aos processos erosivos do que as vertentes, onde as declividades já são mais acentuadas e onde predominam os Argissolos de textura média e arenosa.



Figura 44: Tolos e vertentes de fragilidade média e alta, respectivamente
Fonte: Trabalho de campo (2018)

As áreas classificadas como fragilidade potencial muito alta correspondem às vertentes côncavas com declividades maiores que 30% associadas a unidade de solo PVA44

(Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo abrupto ou não abrupto, arênicos ou espessoarênicos, A moderado ou proeminente, textura arenosa/média + Neossolo Litólico textura média, fase sedimentos Grupo Bauru, ambos Eutróficos/Distróficos, A moderado ou proeminente). Essas áreas são exceções na bacia e correspondem a alguns pontos no mapa.

É provável, no entanto, que nessas vertentes, dadas as declividades, ocorram os Neossolos Litólicos. Além disso, caso fosse possível a dissociação dos Neossolos Litólicos dos Argissolos Vermelho-amarelo um número bem maior de áreas classificadas como de fragilidade potencial muito alta teria sido identificado, uma vez que os Neossolos são solos de fragilidade muito alta, ao passo que os Argissolos são de fragilidade alta.

6.3 Fragilidade ambiental emergente

O mapa de fragilidade ambiental emergente (Figura 45) é resultado do cruzamento da declividade do terreno em porcentagem e da curvatura da superfície com os tipos de solo presentes na bacia e o mapa de uso da terra. Os valores nele expressos denotam os índices de fragilidade levando-se em consideração as características do relevo, do solo e de acordo com o uso da terra.

Para a bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari os níveis variaram entre 2 e 5, sendo o valor “2” correspondente a fragilidade baixa e o valor “5” correspondente a fragilidade alta, conforme se observa no Quadro 14.

Quadro 14: Fragilidade Ambiental Emergente na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari

FRAGILIDADE	ASSOCIAÇÕES
(2) Baixa	Fragilidade potencial média + cobertura arbórea
(3) Média	Fragilidade potencial média + área urbana Fragilidade potencial alta + área urbana Fragilidade potencial alta + cobertura arbórea Fragilidade potencial alta + cobertura arbórea
(4) Alta	Fragilidade potencial média + Solo exposto Fragilidade potencial média + Cobertura herbácea-arbustiva Fragilidade potencial alta + Cobertura herbácea-arbustiva Fragilidade potencial muito alta + áreas urbanas
(5) Muito alta	Fragilidade potencial alta + solo exposto Fragilidade potencial muito alta + solo exposto Fragilidade potencial muito alta + cobertura herbácea-arbustiva
Uso restrito	Planícies aluviais

Elaboração: Paulo Roberto Vagula

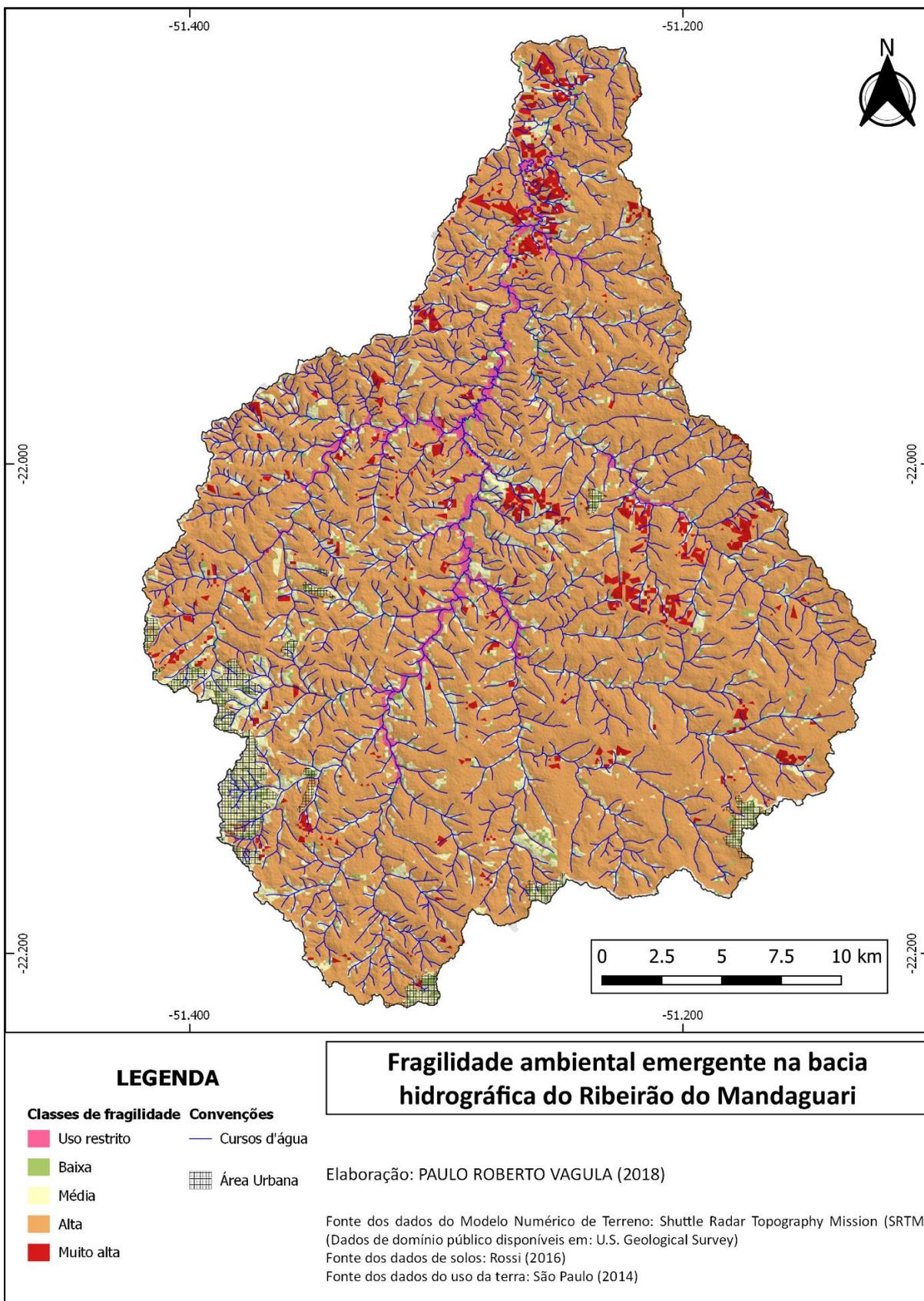


Figura 45: Fragilidade ambiental emergente na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari.
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

Conforme se observa na Figura 46, quase 80% da bacia ficou classificada como fragilidade ambiental emergente alta. Essas áreas congregam a associações de fragilidade potencial média com solo exposto, fragilidade potencial média com cobertura herbácea-arbustiva, fragilidade potencial alta com cobertura herbácea-arbustiva e fragilidade potencial muito alta com áreas urbanas.

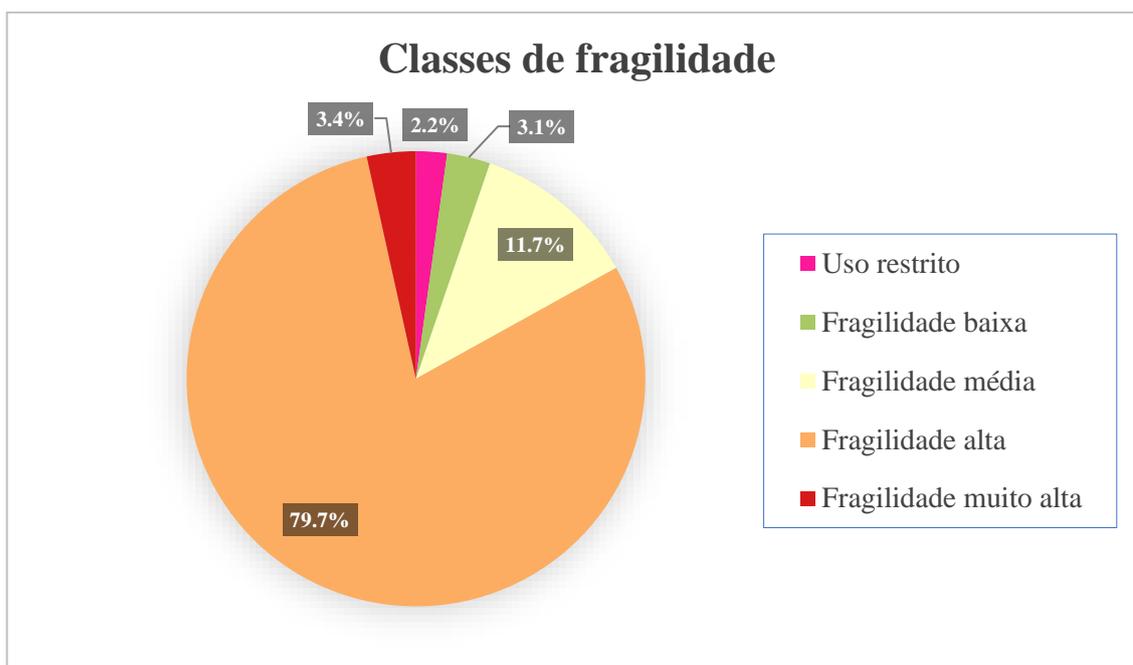


Figura 46: Gráfico de distribuição das classes de fragilidade ambiental emergente
Elaboração: Paulo Roberto Vagula

Conforme já discutido, as áreas classificadas como de Fragilidade Potencial média correspondem aos topos planos e convexos onde ocorrem manchas de Latossolos da Unidade LV21 e da Unidade PVA31, as vertentes convexas cujas declividades não ultrapassam os 20% e as vertentes de curvatura côncava com declividades de até 12% associadas aos Argissolos da unidade de solo PVA31 (Associação de Argissolo Vermelho-amarelo e Vermelho latossólico ou típico, álico ou não álico, A moderado ou fraco textura argilosa ou média/argilosa + Latossolo vermelho-amarelo/Amarelo típico A moderado, textura argilosa, ambos Distróficos) e os terrenos de curvatura convexa com declividades de no máximo 6% que porventura estejam associados às unidades PVA1, PVA6, PVA10 e PVA44.

Dessa forma, embora as áreas sejam naturalmente de fragilidade potencial média, a exposição dos solos à ação das chuvas o torna suscetível aos processos erosivos, uma vez que a vegetação tem papel importantíssimo na dispersão e interceptação da água. Da mesma forma, a cobertura herbácea arbustiva, que no caso da bacia corresponde a pastagem, que correspondem à fragilidade muito alta, uma vez que não impedem a ação da água sobre o

solo. a Figura 47 traz um exemplo de um processo erosivo em uma vertente classificada como fragilidade ambiental emergente alta.



Figura 47: Processos erosivos em vertente classificada como de fragilidade ambiental emergente alta
Fonte: Trabalho de campo (2016)

As áreas classificadas como fragilidade ambiental emergente baixa correspondem às associações das áreas classificadas como de fragilidade potencial média com cobertura arbórea. A classe cobertura arbórea engloba tanto as florestas remanescentes quanto as áreas de silvicultura como os seringais e os eucaliptais já bem desenvolvidos. A associação de uma cobertura vegetal densa interceptando as gotas da chuva com um terreno plano ou convexo de declividades variando de 0 a 20% côncavos com declividades de até 12% associados a Argissolos de textura argilosa ou médio/argilosa e Latossolos de textura média ou argilosa, ou terrenos convexos de declividades de até 6% associados aos Argissolos de textura arenosa torna baixa a probabilidade de ocorrência de processos erosivos.

As áreas classificadas como fragilidade ambiental emergente média correspondem àquelas onde a fragilidade potencial é alta, porém a terra está coberta com vegetação nativa ou silvicultura, conforme exemplo da Figura 48. Nessas áreas a cobertura vegetal é responsável por promover a dispersão e interceptação das águas pluviais e a proteção direta contra a ação do *splash*.



Figura 48: Fragilidade ambiental emergente baixa (topos) e média (vertentes)
Fonte: Trabalho de campo (2018)

Também foram classificadas como fragilidade ambiental emergente média as áreas urbanas consolidadas associadas às áreas de fragilidade potencial média, alta e muito alta uma vez que nessas áreas a densidade construtiva e impermeabilização do solo acabam dificultando a infiltração das águas da chuva, potencializando em contrapartida, o aumento do escoamento superficial da água.

A nosso ver, a determinação de índices de fragilidade para as áreas urbanas deve congrega outros fatores, como a densidade construtiva, a porcentagem de impermeabilização do solo, o tipo de parcelamento do solo, a adoção ou não de obras de engenharia para direcionamento adequado das águas pluviais, dentre outros, e, portanto, a metodologia aqui adotada se adequa mais a realidade das áreas rurais que predominam na bacia e são o foco principal desta pesquisa.

As áreas classificadas como fragilidade ambiental emergente muito alta correspondem às associações de áreas classificadas como fragilidade ambiental alta e muito alta com solos expostos e fragilidade potencial muito alta a cobertura herbácea-arbustiva.

A Figura 49 mostra um exemplo de área de cultivo agrícola onde o solo está totalmente descoberto e, portanto, exposto à ação direta do *splash*. É possível observar também na mesma figura, e na Figura 50 a adoção de práticas conservacionistas pelos agricultores a fim de diminuir a fragilidade daquela área aos processos erosivos. No primeiro exemplo vê-se a adoção de terraços e no segundo a associação de terraços com vegetação (capim braquiária).



Figura 49: Fragilidade ambiental emergente muito alta
Fonte: Trabalho de campo (2018)



Figura 50: Adoção de práticas conservacionistas nas áreas agrícolas
Fonte: Trabalho de campo (2018)

Em suma, observa-se ao analisar o mapa de fragilidade ambiental emergente que a maioria da bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari corresponde às áreas de alta fragilidade ao desenvolvimento de processos erosivos. Isso ocorre, principalmente pela combinação de áreas agrícolas ou de pastagem com solos arenosos e com horizonte abrupto, como no caso da maioria dos Argissolos da bacia.

No entanto, em campo se observa que tanto nas áreas de cultivos agrícolas quanto nas áreas de pastagem, os proprietários rurais e arrendatários tem utilizado mecanismos para a contenção da perda de solos, como se observa na Figura 49 e na Figura 50.

As áreas de fragilidade ambiental muito alta estão restritas àquelas onde o solo está desprotegido e elas podem variar de acordo com a época do ano e com o passar dos anos, face aos interesses dos proprietários e arrendatários.

6.4 Planícies aluviais (áreas de uso restrito)

As planícies aluviais correspondem às áreas de baixa fragilidade aos processos erosivos causados pela erosão hídrica. Isso porque, por conta de sua morfologia e de sua posição topográfica, nesses compartimentos do relevo predomina a deposição de sedimentos. Além disso, as planícies estão sujeitas ao regime fluviométrico da bacia hidrográfica e ao trabalho de entalhamento e deposição realizado pelos cursos d'água. Dessa forma, embora as planícies aluviais sejam a princípio consideradas áreas de baixa fragilidade aos processos erosivos, na prática elas não podem e não devem ser ocupadas, uma vez que elas estão sujeitas a inundações periódicas. Sendo assim, elas devem ser consideradas como áreas de uso restrito.

A Figura 51 mostra a planície aluvial do Córrego Santa Maria, afluente do Ribeirão do Mandaguari após um pulso de inundação causado por um impacto hidrometeorológico de grande monta nas cabeceiras da bacia em Martinópolis⁴. A imagem que foi retirada do Google Earth ® data de 28 de junho de 2010.

A Figura 52 mostra o leito do Córrego do Jacaré em área da planície após uma cheia. Na foto é possível observar a grande quantidade de aluviões que foi depositada pelo curso d'água.

⁴ O evento hidrometeorológico que está registrado no Banco de Dados de Desastres Naturais do Instituto de Pesquisas Meteorológicas da Universidade Estadual Paulista (IPMET) ocorreu na madrugada do dia 29 de dezembro de 2009, onde chuvas fortes totalizando 270mm em 7 horas ocasionaram queda de barreira, transbordamento de rios e córregos, danos em pontes, inundações, alagamentos, desabamentos de imóveis, interdição de via pública, dentre outros na área urbana de Martinópolis, onde nascem alguns afluentes do Ribeirão do Mandaguari e também na zona rural.



Figura 51: Aluviões depositados na planície do Córrego Santa Maria após um pulso de inundação
Fonte: Imagem do Google Earth ® de junho de 2010



Figura 52: Aluviõe depositados na planície do Córrego do Jacaré após cheia
Fonte: Acervo pessoal do autor. Foto de janeiro de 2010

As planícies aluviais estão associadas à Unidade de mapeamento GX2 (Complexo Indiscriminado de Gleissolo Háplico ou Melânico com ou sem ocorrência de Organossolo) e à unidade GX5 (Complexo de Gleissolo Háplico e Neossolo Flúvico, ambos Distróficos típico A moderado ou proeminente textura indiscriminada).

Os Gleissolos são solos característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento. Nas planícies da bacia em estudo são do tipo distróficos, ou seja, de baixa fertilidade natural. Segundo o IBGE (2015) tem nas condições de má drenagem a sua maior limitação de uso. Segundo EMBRAPA (2006) apresenta baixa (distróficos) fertilidade natural, podendo também apresentar problemas com acidez (pH muito baixo) e teores elevados de alumínio, de sódio (salinos) e de enxofre (tiomórficos).

Com relação às características físicas, são solos mal ou muito mal drenados, em condições naturais e a proximidade com os rios limita o uso agrícola dessa classe de solos, sendo, também, áreas que devem ser utilizadas para preservação das matas ciliares.

Apesar disso, seja em campo ou por imagens orbitais de alta resolução se observa um intenso uso dessas áreas na bacia do Ribeirão do Mandaguari. A Figura 53, mostra um desses exemplos. Observa-se ainda um sulco na planície aluvial em meio à pastagem, demonstrando que, apesar de nessas áreas a fragilidade aos processos erosivos ser considerada baixa, ela ocorre, e está relacionada, principalmente ao uso da terra.



Figura 53: Sulco erosivo na planície aluvial do Ribeirão do Mandaguari
Fonte: Trabalho de campo (2018)

Destaca-se mais uma vez o fato de que as planícies configuram áreas de fragilidade baixa aos processos erosivos causados pela erosão hídrica, o que não significa que essas áreas

sejam indicadas para uso uma vez que, devido a sua localização topográfica e a dinâmica existente nesses sistemas, são áreas sujeitas a inundações periódicas e extremamente frágeis quando se consideram outros fatores, como a dinâmica dos próprios cursos d'água que tendem a migrar nas planícies.

Além disso, quando se parte do pressuposto de que os sistemas fluviais apresentam um gradiente contínuo de condições físicas e de adaptações bióticas (VANNOTE, MINSHALL, CUMMINS, SEDELL e CUSHING, 1980) e que, conforme Ward (1989), estão submetidos a quatro dimensões: a longitudinal que se refere à interação entre a cabeceira do rio e seus afluentes com o rio principal; a lateral com a interação do canal do rio com sua planície; a vertical com a interação do rio com o corpo freático e temporal, entende-se que os usos inadequados nas planícies poderá impactar as relações ecológicas, não apenas na planície, mas também podendo se estender por todos os cursos d'água, a jusante e também a montante dessa área. Por isso a importância da preservação dessas áreas.

Em suma, os solos majoritariamente de textura arenosa e os usos da terra para fins agropecuários são determinantes para o aumento da fragilidade aos processos erosivos na bacia do Ribeirão do Mandaguari, que de certa forma, reflete a realidade de todo o Oeste Paulista onde a substituição da floresta no início do século XX para práticas agrícolas e para pecuária alterou os processos morfogenéticos e trouxe prejuízos ambientais com o empobrecimento do solo e a instalação de processos erosivos, responsáveis por inviabilizar grandes áreas para a produção refletindo também em prejuízo econômicos aos proprietários e arrendatários das propriedades, além do assoreamento de muitos cursos d'água.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da metodologia elaborada por Ross (1994) com as devidas modificações para a determinação da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari permitiu apontar as áreas mais propensas ao desenvolvimento de processos erosivos. Foram elaborados três produtos cartográficos.

O primeiro deles, o mapa de fragilidade do relevo, elaborado a partir da curvatura e da declividade do terreno, apontou a predominância de média a alta fragilidade aos processos erosivos. Nos topos e vertentes, onde predominam os processos de denudação, a fragilidade varia de média a muito alta, de acordo com a curvatura e a declividade do terreno. As áreas classificadas como fragilidade alta correspondem às vertentes convexas com declividades entre 12 e 30% e vertentes côncavas com declividades variando de 6 a 20% correspondendo às áreas onde a ocupação requer maiores cuidados para o uso agrícola e para a pecuária. Já aquelas áreas classificadas como de fragilidade muito alta congregam vertentes convexas com declividades superiores a 30% e vertentes côncavas com declividades superiores a 20%, recomendando-se sua utilização para fins de preservação ambiental.

O mapa de fragilidade potencial, permitiu apontar a predominância das áreas de fragilidade alta em toda a bacia. A associação de um relevo colinoso a solos de textura variando de média a arenosa transforma essas áreas em áreas muito susceptíveis ao desenvolvimento dos processos erosivos.

Já o mapa de fragilidade ambiental emergente, elaborado a partir do mapa de fragilidade potencial com o uso da terra na bacia apontou o predomínio de áreas altamente frágeis ao desenvolvimento dos processos erosivos, ou seja, instáveis. Essas áreas correspondem àquelas onde há o cultivo temporário e as pastagens evidenciando a necessidade de adoção de práticas conservacionistas no meio rural da bacia.

É possível observar, portanto, que a bacia hidrográfica do Ribeirão do Mandaguari, quase que em sua totalidade, está sujeita aos processos erosivos causados pelas chuvas, e que esses processos variam em decorrência das características do relevo, dos tipos de solo e dos diferentes usos da terra.

A associação de relevos colinosos a solos majoritariamente de textura média ou arenosa faz com que a maior parte da bacia seja classificada como de fragilidade alta aos processos erosivos e a perda de solos, sendo que a utilização dessas áreas para fins agropecuários é responsável por potencializar essa fragilidade.

Por isso a importância da adoção de práticas agrícolas modernas que ajudem na redução da perda dos solos pela erosão hídrica. Essas práticas já podem ser notadas em campo na maioria das propriedades rurais, principalmente naquelas ocupadas pela agricultura.

É preciso reconhecer um avanço, uma vez que nos tempos da cafeicultura, conforme se observou ao longo do texto, as lavouras eram plantadas no sistema “morro abaixo”. Com o passar do tempo os agricultores começaram a adotar o plantio em curvas de nível, o que provavelmente reduziu consideravelmente a fragilidade aos processos erosivos nessas áreas. Porém a adoção dos terraceamentos e terraceamentos com vegetação são práticas recentes.

A predominância de solos de textura média a arenosa, em geral distróficos e, portanto, de baixa fertilidade natural, acaba desfavorecendo o cultivo agrícola, o que fez com que aos poucos as áreas agrícolas fossem sendo substituídas pelas pastagens, em geral, pastagens com o manejo ruim, não alterando, portanto, o nível de fragilidade dessas áreas.

É importante ressaltar que a utilização do mapa pedológico do estado de São Paulo (ROSSI, 2016) na escala 1:250.000 provavelmente diminuiu o detalhamento dos dois últimos produtos cartográficos gerados uma vez que a utilização de associações e complexos que congregam vários tipos de solos em uma única unidade de mapeamento acaba por trazer algumas generalizações. Contudo, essas generalizações não invalidam o trabalho, apenas diminuem a escala de detalhamento.

Sendo assim, este trabalho pode e deve servir de base para a gestão territorial ambiental rural por parte dos municípios drenados pelo Ribeirão do Mandaguari e também para trabalhos futuros mais detalhados.

REFERÊNCIAS

- ABREU, D. S. O desbravamento da Alta Sorocabana por um bandeirante moderno: capitão Francisco Whitaker. **Revista de História da USP**, São Paulo, v.30, n. 62, 1965. Disponível em: < <http://www.revistas.usp.br/revhistoria/article/view/123434>>. Acesso em 10 set. 2018.
- AB’SÁBER, A. N. Da necessidade de uma pluralidade de critérios para a melhor classificação do relevo brasileiro. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, n. 6, p. 64-67, 1960.
- AB’SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969.
- AB’SABER A. N. Os baixos chapadões do Oeste Paulista. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 17, p. 1-8, 1969.
- ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, São Paulo, v. 41, n. 3. p. 169-263, 1964. Disponível em: http://igeologico.sp.gov.br/files/2017/09/Boletim_IGG_41_Geologia_do_Estado_de_Sao_Paulo-1964.pdf. Acesso em: 10 jan. 2019.
- BARTORELLI, A. **As principais cachoeiras da Bacia do Paraná e sua relação com alinhamentos tectônicos**. 1997. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 1997.
- BARTORELLI, A. Origem das grandes cachoeiras do Planalto Basáltico da Bacia do Paraná: evolução quaternária e geomorfologia. *In*: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (orgs.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: BECA, 2004. Cap.6. p. 95-111.
- BERTALANFFY, L. Teoria Geral dos Sistemas. Petrópolis: Vozes, 1973.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 4. ed. Campinas: Ícone, 1999.
- BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2.ed. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2007.
- BOIN, M. N. **Chuvvas e erosões no Oeste Paulista: uma análise climatológica aplicada**. 2000. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2000.
- BOTELHO, R.G.M. Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica. *In*: GUERRA, A.J.T.; DA SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. Cap. 8, p. 269-300.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

CASSETI, V. **Elementos de Geomorfologia**. Goiânia: Ed. Da UFG, 2001.

CHORLEY, R.J. *Geomorphology and General Systems Theory*. Geology Survey Professional Paper 500 – B. Washington DC, 1962. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/pp/0500b/report.pdf>. Acesso em: 10 set. 2018.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1981.

COHEN, K.M.; FINNEY, S.C.; GIBBARD, P.L.; FAN, J.X. The ICS International Chronostratigraphic Chart. **Episodes**, Journal of International Geoscience. v.36, n.3, p.199-204, 2013. Disponível em: <http://www.episodes.org/journalArchiveArticle.do>. Acesso em: 10 set. 2018.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Programa Geologia do Brasil – PGR, CNPM, 2005. Escala 1:750.000.

DALTOZO, J. C. **Martinópolis, sua história e sua gente**. Martinópolis (SP): Gráfica Martipel Ind e Com. Ltda, 1999.

DALTOZO, J.C. **Nos Trilhos da História: A Estrada de Ferro Sorocabana em Martinópolis – 90 anos – 1917-2007**. Presidente Prudente (SP): IMPRESS Gráfica e Editora, 2007.

DAVIS, W.M. The Geographical Cycle. **Geographical Journal**, v. 14, p. 481–504, 1899.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

ETCHEBEHERE, M. L. C. **Terraços neoquaternários no vale do Rio do Peixe, Planalto Ocidental Paulista: implicações estratigráficas e tectônicas**. 2000. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

FERNANDES, L. A. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Estado do Paraná e Pontal do Paranapanema (São Paulo) – Grupos Bauru e Caiuá**. 1992. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

FERNANDES, L. A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. 1998. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. In: **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.24, n.3, p.164-176, 1994. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/11563>. Acesso em: 10 set. 2018.

FERNANDES, L.A.; COIMBRA, A.M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). In: **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.30, n.4, p.717-728, 2000. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/10990>. Acesso em: 10 set. 2018.

FERREIRA, F.J.F.; MORAES, R.; FERRARI, M.P.; VIANNA, R.B. Contribuição ao Estudo do Alinhamento Estrutural de Guapiara. In: Simpósio Regional de Geologia, 3, SBG/SP. **Atas[...]**, v.1, p. 226-240, 1981.

FLORENZANO, T. G. Introdução à Geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Cap. 1, p. 11-30.

FRANCISCO, F. C. **Análise ambiental e consequências do desmatamento no município de Presidente Prudente no período de 1917 a 1986**. 1989. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1989.

GILBERT, G. K. Report on the geology of the Henry Mountains. Washington: Government Printing Office, 1877. Disponível em: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70038096>. Acesso em: 10 set. 2018.

GODOY, M.C.T.F. **Mapeamento geotécnico preliminar da região urbana de Presidente Prudente – SP**. 1989. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

GODOY, M. C. T. F.; ZANARDO, A.; MARTIN-COCHER, P.X.P.; PERUSI, M.C.; TSUCHIYA, I. Características do cimento dos depósitos sedimentares da Bacia Bauru: região de Presidente Prudente – SP. **Geociências**, Rio Claro, v.25, n.1, p.27-36, 2006. Disponível em: https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/25_1/volume25_1.htm. Acesso em: 10 set. 2018.

GUEDES, I. C. **Análise morfotectônica do Planalto Ocidental Paulista, ao sul do Rio Tietê**: indicadores de deformações neotectônicas na fisiografia da paisagem. 2014. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/123387>. Acesso em: 10 set. 2018.

GOIÁS (Estado). Secretaria de Indústria e Comércio. **Hidrogeologia do estado de Goiás**. Goiânia: Secretaria de Indústria e Comércio, Superintendência de Geologia e Mineração. Série Geologia e Mineração, n.1, 2006.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário Geológico-Geomorfológico**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2001.

HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. **American Journal of Science**, Bradley, v.258, p.80-97, 1960.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS (IAC). **Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar**. Campinas: Boletim técnico IAC, n.216, 2016. Disponível em: http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/porassunto/pdf/Boletim_CANA.pdf. Acesso em 10 set. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de clima do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. Escala 1:5.000.000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico de Pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, v.1, 1981. Escala 1:500.000.

JOINHAS, L. A. Proposta evolutiva da paisagem no extremo sudoeste do estado de São Paulo. 2002. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2002. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/92811>. Acesso em 10 set. 2018.

JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. The flood-pulse concept in river-floodplain systems. *In*: DODGE, D.P. (ed.). Proceedings of the International Large River Symposium (LARS). **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences Special Publication 106**, Ottawa: NRC Research Press, p.110-127, 1989.

KING, L.C. Canons of Landscape Evolution. **Geological Society of American Bulletin**, v.64, p.721-752, 1953.

KLEIN, C. La notion de rythme en morphologie. **Noroi**, n.28, p.373-387, 1960. Disponível em: https://www.persee.fr/doc/noroi_0029-182x_1960_num_28_1_1327. Acesso em: 10 set. 2018.

KLEIN, C. A noção de ciclo em Geomorfologia. **Terrae Didatica**, v.8, n.1, p.58-71, 2012. Disponível em: <http://ocs.ige.unicamp.br/ojs/terraedidatica/article/view/1079>. Acesso em: 10 set. 2018.

LEPSCH, I.F. Superfícies geomorfológicas e depósitos superficiais neoceno-zóicos em Echaporã, SP. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 53, p.5-34, 1977. Disponível em: <http://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/boletim-paulista/article/view/1095>. Acesso em: 10 set. 2018.

MILANI, E. J. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da bacia do Paraná. *In*: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B.

(orgs.). **Geologia do Continente Sul-Americano**: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: BECA, 2004. Cap. 16, p. 95-111.

MILANI, E. J.; MELO, J.H.G.; SOUZA, P.A.; FERNANDES, L.A.; FRANÇA, A.B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007. Disponível em:

<http://publicacoes.petrobras.com.br/main.jsp?lumPageId=8A9E308F545405DE0154A04B46AD0C9E&lumItemId=8A9D2A985A2833C5015B1A2064E029CF&previewItemId=8A9D2A985A2833C5015B1A2064D529CE&publicacaoId=8A9D2AAF5A284744015A2958DE4D3BC9#>. Acesso em: 10 set. 2018.

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, Isabel. Cristina. [Tutorial] **Mapa de Fragilidade Ambiental no Arçgis**. Presidente Prudente: [s.n.], 2015. Material didático elaborado para a disciplina de Geomorfologia Aplicada ao Planejamento Ambiental, do curso de pós-graduação em Geografia.

O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J. D; POHN, H.D. Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. **Geological Society of America Bulletin**. Denver, v.87, n.10, p.1463-1469, 1976.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M, N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, 1:500.000**. Campinas: FAPESP, 1999.

ORME, A. R. The Cycle of Erosion: Changing times, Changing Science. In: AGNEW, J.A.; LIVINGSTONE, D.N. **The SAGE Handbook of Geographical Knowledge**. Los Angeles: SAGE, 2011. Cap.36, p.475-491.

PAULA e SILVA, F. **Geologia de subsuperfície e hidroestratigrafia do Grupo Bauru no Estado de São Paulo**. 2003. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/103040>. Acesso em: 10 set. 2018.

PEDRO, L. C. **Ambiente e apropriação dos compartimentos geomorfológicos do Conjunto Habitacional Jardim Humberto Salvador e do condomínio fechado Dahma – Presidente Prudente – SP**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/96732>. Acesso em: 10 set. 2018.

ROCHA, P.C. Geomorfologia e Conectividade em Ambientes Fluviais do Alto Rio Paraná, Centro-Sul do Brasil. **Boletim de Geografia de Maringá**, v.28, n.2, p. 157-176, 2010. Disponível em: <http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/10382>. Acesso em: 10 set. 2018.

ROCHA, P.C. Dinâmica sedimentológica, escoamento superficial e conectividade na bacia hidrográfica do Rio do Peixe, Oeste Paulista – Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 16., 2015, Teresina (PI). **Anais[...]**. Teresina, 2015, p.3210-3216.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v.6, 1992. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/issue/view/3918>. Acesso em: 10 set. 2018.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v.8, 1994. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/issue/view/3935>. Acesso em: 10 set. 2018.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSSI, M. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. Disponível em: <http://iflorestal.sp.gov.br/2017/09/26/mapa-pedologico-do-estado-de-sao-paulo-revisado-e-ampliado/>. Acesso em: 10 set. 2018

SAADI, A. Modelos morfogênicos e tectônica global: reflexões conciliatórias. **Geonomos**, v. 6, n.2, p.55-63, 1998. Disponível em: http://general.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/6_2_55_63_Saadi.pdf. Acesso em: 10 set. 2018.

SALLUN, A. E. M. **Depósitos cenozóicos da região entre Marília e Presidente Prudente (SP)**. 2003. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44136/tde-10042015-131926/pt-br.php>. Acesso em: 10 set. 2018.

SAMPAIO, T. Considerações geográficas e econômicas sobre o Valle do Rio Paranapanema. **Boletim da Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo**, São Paulo, v.1, n.4, 1890. Disponível em: <http://igeologico.sp.gov.br/boletim-cgg/04-1890/>. Acesso em: 10 set. 2018.

SANT'ANNA NETO, J.L.; BARRIOS, N. A. Z. Variabilidade e tendência das chuvas na região de Presidente Prudente. **Revista de Geografia**, São Paulo, v.11, p.63-76, 1992.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. **Unidades Básicas de Compartimentação do Meio Físico (UBC) do estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Geológico, Coordenadoria de Planejamento Ambiental, 2014. Disponível em: <https://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/unidades-basicas-de-compartimentacao-do-meio-fisico-do-estado-de-sao-paulo/>. Acesso em: 10 set. 2018.

SIMÕES, S. J.C; CAIADO, E. M. Processos Erosivos. *In*: DE PAIVA, J. B.D.; DE PAIVA, E.M. C. D. (org.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do rio Jaguari-mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia) - FFLCH-USP, 2001. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-18012002-225147/pt-br.php>. Acesso em: 10 set.2018.

SPÖRL, C.; ROSS, J.L.S. Análise da fragilidade ambiental relevo solo com aplicação de três modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n.15, p.39-49, 2004. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/Geousp/Geousp15/>. Acesso: 10 set. 2018.

STRAHLER, A.N. Davis' Concepts of Slope Development Viewed in the Light of Recent Quantitative Investigations. **Annals of the Association of American Geographers**, v.40, n.3, p.209-213, 1950.

STRAHLER, A.N. Systems theory in physical geography, **Physical Geography**, v.1, p.1-17, 1980.

SUAREZ, J. M. **Contribuição à geologia do extremo oeste do estado de São Paulo**. 1973. Tese (Doutorado em Geologia) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Presidente Prudente, Presidente Prudente, 1973.

SUAREZ, J. M. Contribuição à geologia do extremo oeste do estado de São Paulo. **Boletim Geográfico**, Rio de Janeiro, v. 34, n.248, p.119-155, 1976.

SUAREZ, J. M. A localização das cidades no extremo oeste do Estado de São Paulo (Brasil) e seus problemas. *In: Encontro de Geógrafos de América Latina*, 3, Toluca, 1982. Memória. Toluca, v.4, p.323-336, 1991.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1977.

TRIVELLATO, F. T. **Dinâmica fluvial no canal principal da bacia do Rio do Peixe (Planalto Ocidental Paulista): análise comparativa a partir da expedição 1905/1906 realizada pela Comissão Geográfica e Geológica do estado de São Paulo**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/287390>. Acesso em: 10 set. 2018.

VAGULA, P. R. **Estudo dos impactos ambientais nas cabeceiras de drenagem do Córrego da Onça no município de Presidente Prudente – SP**. 2011. Monografia (Bacharelado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/121652> . Acesso em: 10 set. 2018.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. *In: FLORENZANO, T. G. (org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. 1 ed. São Paulo: Oficina de textos, 2008. Cap. 3, p. 72-104.

VANNOTE, R. L.; MINSHALL, G.W.; CUMMINS, K.W.; SEDELL, J.R.; CUSHING, C.E. The River Continuum Concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.37, n.1, p.130-137, 1980. Disponível em: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/f80-017#.XFrHflxKjIV>. Acesso em: 10 set. 2018.

VITTE, A.C. Considerações sobre a teoria da Etchplanação e sua aplicação nos estudos das formas de relevo nas regiões tropicais quentes e úmidas. **Revista Terra Livre**, São Paulo, n.16, p.11-24, 2001. Disponível em: <http://www.agb.org.br/publicacoes/index.php/terralivre/article/view/347>. Acesso em: 10 set. 2018.

WARD, J. V. The Four-Dimensional Natures of Lotic Ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society*, Chicago, v.8, n.1, p.2-8, 1989. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/1467397?seq=1#page_scan_tab_contents. Acesso em: 10 set. 2018.