

**PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE
ÁREAS POTENCIAIS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS
NA BACIA DE DRENAGEM DO RESERVATÓRIO PAIVA CASTRO,
MAIRIPORÃ, ESTADO DE SÃO PAULO**

**ZENO HELLMEISTER JUNIOR¹; GERSON SALVIANO DE ALMEIDA FILHO¹, LUCAS
STEFANO RISSATTO¹,**

Resumo - O presente trabalho apresenta os procedimentos metodológicos utilizados para identificação das áreas potenciais à capacidade de produção de sedimentos na Bacia de drenagem do Reservatório Paiva Castro, pertencente à Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Tietê (UGRHI - 6) do Estado de São Paulo, especificamente na sub-bacia Juqueri-Cantareira. Foram gerados vários planos de informação dos fatores envolvidos nos processos erosivos utilizando-se o Sistema de Informação Geográfica (SIG). O cruzamento desses planos de informações possibilitou a elaboração de produtos cartográficos, objetivando selecionar áreas potenciais à capacidade de produção de sedimentos. A Sub-bacia selecionada é constituída principalmente por áreas de média capacidade à produção de sedimentos ocupando cerca de 35%. São áreas onde há média e alta densidade de drenagem (entre 1,740 e 2,416 km/km²). Também ocorrendo por meio das combinações entre baixa densidade de drenagem e Muito Alta potencialidade à produção de sedimentos; e entre Muito Alta densidade de drenagem combinada a baixa potencialidade à produção de sedimentos. Observa-se também que cerca de 30% da área da bacia é ocupada pela classe Alta de capacidade à produção de sedimentos.

Abstract – This study presents the methodological approach used to identify areas with potential for sediment production within the drainage basin of the Paiva Castro Reservoir, part of the Alto Tietê Water Resources Management Unit (UGRHI-6), located in the State of São Paulo, Brazil. The focus area lies specifically in the Juqueri-Cantareira sub-basin. Using Geographic Information System (GIS) tools, several information layers were generated to represent key factors related to erosive processes. The integration and analysis of these spatial datasets enabled the development of cartographic products aimed at identifying and classifying areas according to their potential for sediment generation. The results indicate that the sub-basin is predominantly composed of areas with medium sediment production potential, accounting for approximately 35% of the total area. These regions are characterized mainly by medium to high drainage density (ranging from 1.740 to 2.416 km/km²). Additionally, specific spatial patterns were observed, including areas with low drainage density associated with very high sediment production potential, as well as areas with very high drainage density and low sediment production potential. Overall, about 30% of the basin area is classified as having high sediment production potential.

Palavras-Chave – Erosão; Assoreamento; Mapa de Produção de Sedimentos; Suscetibilidade; Alto Tietê.

1. INTRODUÇÃO

A bacia de drenagem do reservatório Paiva Castro, integrante do Sistema Produtor da Cantareira apresenta graves problemas referentes aos recursos hídricos, sendo grande parte deles decorrente da má gestão do uso e ocupação do solo, tanto na área rural como na área urbana, de políticas habitacionais ineficientes, da falta de recursos para melhoria das condições de saneamento, da falta de práticas de conservação do solo, da falta de infraestrutura urbana, entre outros. Como consequência das intervenções antrópicas sem planejamento adequado, o desenvolvimento dos processos erosivos (laminar e lineares) e de deslizamentos são intensificados ou acelerados, principalmente nas áreas de expansão urbana e nos terrenos menos favoráveis à ocupação, configurando um quadro crítico quanto à degradação de áreas. Tal situação provoca o aumento na quantidade de sedimentos gerados, contribuindo para o transporte de sedimentos e deposição nos corpos d'água e reservatórios de abastecimento (assoreamento) e, conseqüentemente, favorecendo a ocorrência de inundações nas áreas rurais e urbanas. Nesse trabalho apresenta as atividades desenvolvidas com relação a elaboração de um diagnóstico dos processos de erosão e assoreamento nos compartimentos hidrográficos, definidos para a bacia de drenagem do reservatório Paiva Castro, a partir da caracterização do meio físico e regionalização das feições encontradas para tais processos, indicando medidas futuras para intervenções nos pontos de erosões e assoreamento.

O conceito de erosão pluvial está associado a processos de desgaste da superfície do terreno, desencadeado pelo escoamento da água superficial com caráter mais contínuo e gradativo, por meio da desagregação, transporte e deposição dos materiais alterados que compõem o solo. Tal situação provoca a produção de grande quantidade de sedimentos que contribui para o assoreamento de cursos d'água e reservatórios de abastecimento e, conseqüentemente, favorece a ocorrência de inundações e a danificação de infraestruturas rurais e urbanas.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

A área selecionada para desenvolvimento dos trabalhos é a bacia hidrográfica de drenagem do reservatório Paiva Castro, integrante do Sistema Produtor da Cantareira, localizada a norte do município de São Paulo, com importância estratégica à segurança hídrica da Região Metropolitana de São Paulo. Essa bacia possui alta suscetibilidade à erosão, condição propícia à produção de sedimentos, sendo relevante tanto do ponto de vista do gerenciamento de recursos hídricos, quanto do interesse científico para investigação da dinâmica sedimentar fluvial.

O reservatório Paiva Castro está localizado dentro da Bacia do rio Juqueri, o qual vem sofrendo pressão pelo contínuo desmatamento da Área de Proteção e Recuperação dos Mananciais – Alto Juquery (APRM-AJ) e na Bacia do PCJ e pelos impactos dos esgotos provenientes das moradias construídas no seu perímetro. Por estar localizado dentro da região metropolitana de São Paulo, está compreendido na sub-região Juqueri-Cantareira, integrando a Unidade de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHI 6) do Alto Tietê. No entanto, os demais reservatórios do Sistema Cantareira integram a UGRHI 5, dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), fato este, que evidencia dificuldades no processo decisório que envolve o Sistema Cantareira com um todo (SÃO PAULO – Estado, 1997).

Porém, mesmo com a legislação pertinente em vigor o município de Mairiporã, com 80,1% de sua área total sob proteção de mananciais, não está a salvo dos problemas oriundos de uma urbanização desenfreada.

O Rio Juqueri é um afluente da margem direita do rio Tietê. Ela nasce aos pés da Serra Vermelha no bairro do Mascate Grande em Nazaré Paulista, no Estado de São Paulo. Passa pelos municípios de Nazaré Paulista, Mairiporã, Franco da Rocha, Caieiras, São Paulo, na extrema Zona Norte, Cajamar, Santana de Parnaíba e Pirapora do Bom Jesus, onde desagua no Rio Tietê. Em Mairiporã, ele forma a Represa do Juqueri (Paiva Castro), que abastece boa parte da região da Grande São Paulo.

A área de estudo refere-se à bacia de drenagem do Reservatório Paiva Castro, localizada a norte do município de São Paulo, distando aproximadamente 68 km da capital, abrangendo os municípios de Mairiporã, Caieiras, Franco da Rocha e Nazaré Paulista, perfazendo uma área total de 337,352 km². Está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos da Bacia do Alto Tietê (UGRHI 6), na porção nordeste da sub-bacia hidrográfica Juqueri-Cantareira. Os principais acessos rodoviários para a área pode ser pela Rodovia Fernão Dias (BR-381) ou pela SP-023 (Rodovia Prefeito Luiz Salomão Chamma), chegando a cidade de Mairiporã (Figura 1). A Figura 6 mostra os limites da bacia de drenagem do reservatório Paiva Castro.

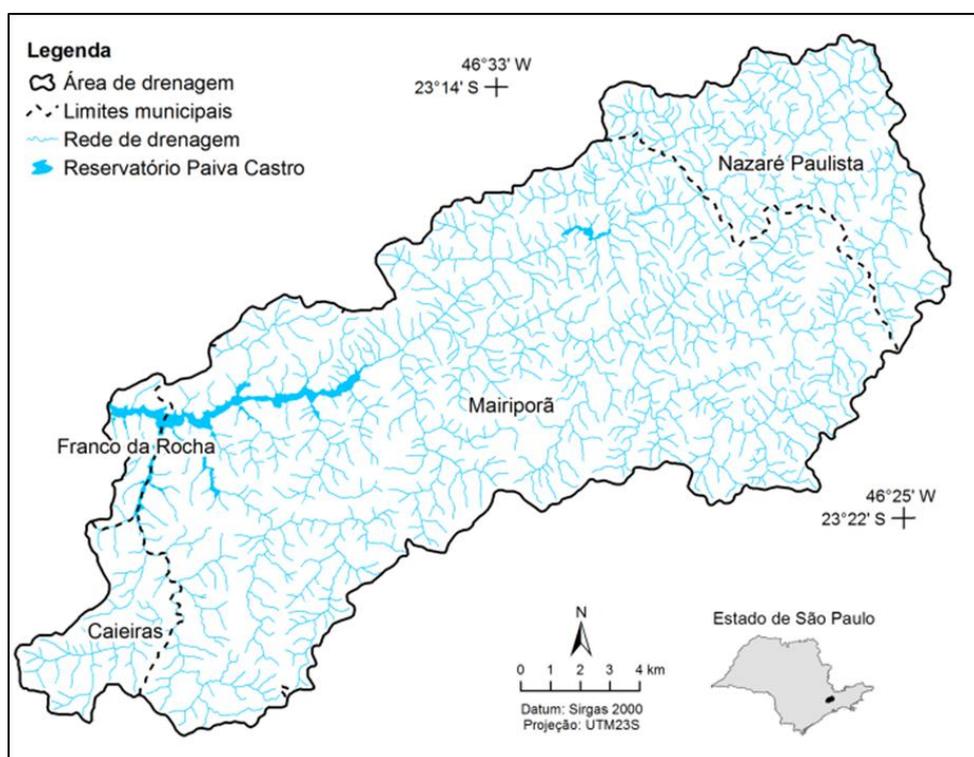
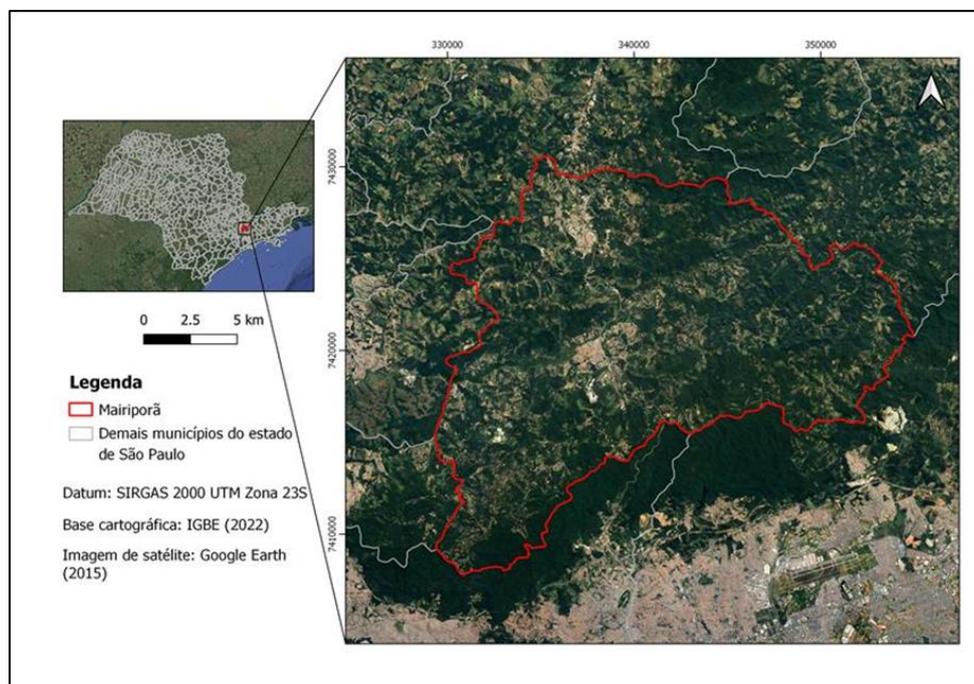


Figura 1. Limites da bacia de drenagem do reservatório Paiva Castro.

3. EROSÃO PLUVIAL

Erosão é um processo natural que promove o transporte de sedimentos e matéria orgânica para cursos d'água. Segundo a United Nations Environment Programme (2010), as atividades humanas têm alterado as taxas naturais de erosão em todos os continentes e elevado o volume e a velocidade com que sedimentos aportam em rios, lagos e reservatórios, afetando processos físicos e químicos e influenciando espécies adaptadas a regimes de sedimentos preexistentes. Do ponto de vista físico, os sedimentos impactam os corpos d'água receptores, elevando os níveis de turbidez e promovendo assoreamento. Como consequência, a manutenção dos mananciais e sistemas fluviais pode gerar altos custos aos seus gestores.

A evolução de áreas intensamente afetadas pela erosão apresenta, normalmente, um primeiro estágio de erosão laminar intensa, que leva a formação de sulcos rasos e profundos. Não havendo medidas de combate, os sulcos podem crescer rapidamente formando ravinas de portes variados. Se as condições dos terrenos forem favoráveis, as ravinas podem se aprofundar até atingir o nível d'água subterrânea. Neste estágio, passa a se desenvolver a boçoroca ou voçoroca, que evolui de modo acelerado e complexo em função da ação combinada das águas superficiais e subterrâneas.

Portanto, a erosão é um conjunto de fenômenos que modelam a paisagem, ao mesmo tempo em que se processa a denudação de determinadas formas de relevo com a remoção de material que é depositado em outro local. Não se deve, assim, separar erosão e assoreamento, pois ambos fazem parte do mesmo ciclo.

4. MÉTODO

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) estuda o fenômeno das erosões lineares antrópicas desde a década de 1970. Prandini (1974) destaca o papel preponderante da atividade agropecuária neste processo.

Falcetta et al. (2017) apresenta um aprimoramento nas abordagens metodológicas desenvolvidas pelo IPT nas últimas décadas visando representar melhor os fenômenos físicos que interferem direta ou indiretamente na capacidade de produção de sedimentos por erosões lineares nas bacias hidrográficas.

Este trabalho visa aplicar a metodologia desenvolvida pelo IPT (IPT, 2017 e Falcetta et al., 2017) para a bacia hidrográfica do reservatório Paiva Castro e apresentar uma hierarquização das sub-bacias (Compartimentos Hidrográficos) de seus afluentes economicamente mais importantes quanto à capacidade de produção de sedimentos.

O fluxograma Figura 2, mostra os procedimentos metodológicos adotados para selecionar as áreas potenciais à produção de sedimentos e a capacidade de produção de sedimentos da bacia hidrográfica do Reservatório Paiva Castro. Neste sentido, foram coletadas informações do meio físico, como a geologia, geomorfologia, declividade, pedologia, uso e ocupação do solo e a densidade de drenagem (índice morfométrico utilizado), para subsidiar a seleção dessas áreas.

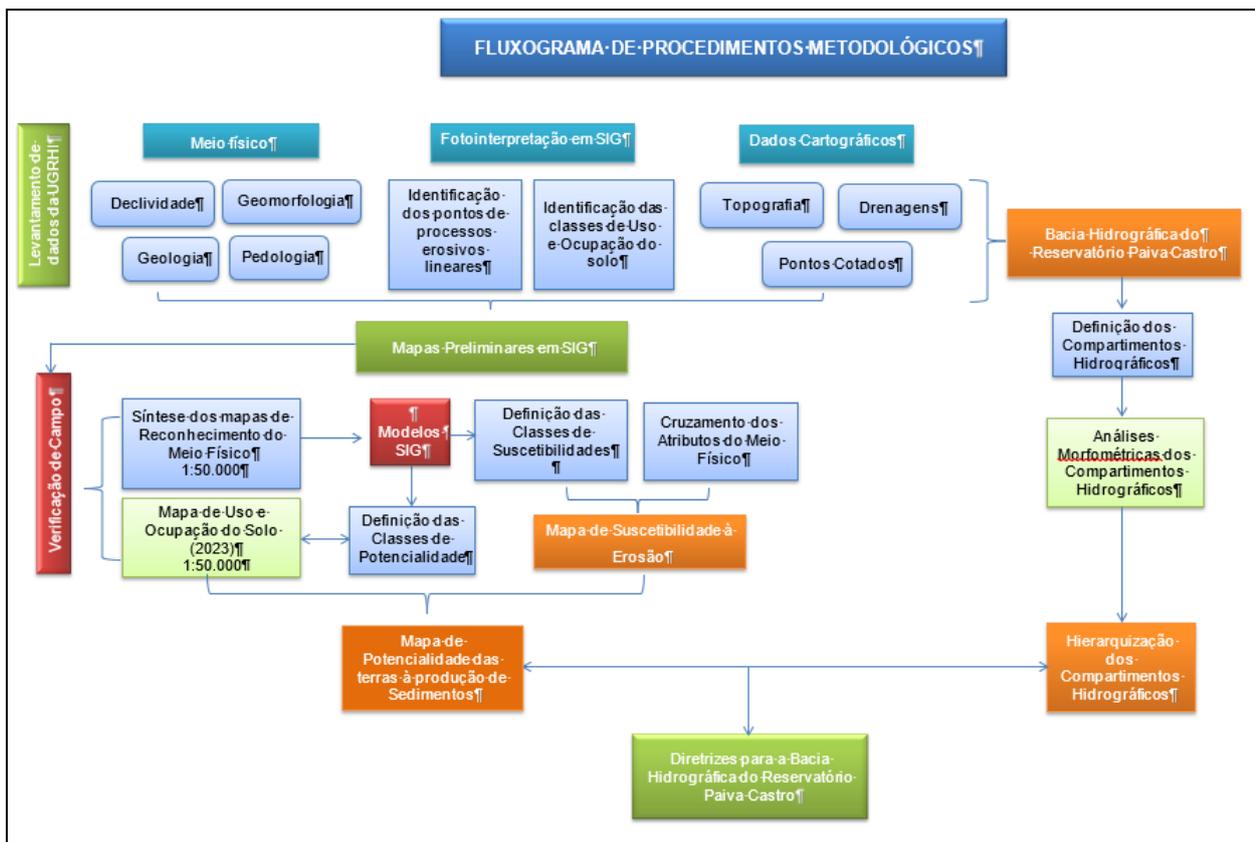


Figura 2. Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados para selecionar as áreas potenciais à produção de sedimentos e a capacidade de produção de sedimentos da bacia de drenagem do Reservatório Paiva Castro

Os produtos da metodologia apresentada em IPT (2017) e Falcetta et al. (2017) consistem em três mapas distintos que se complementam entre si: determinação das áreas suscetíveis à erosão, determinação das áreas com potencialidade de produção de sedimentos e, por fim, determinação e hierarquização das áreas pela sua capacidade de produção de sedimentos.

Nesse sentido, foi realizado a caracterização da área de estudo, na forma de compartimentos hidrográficos, por meio de pesquisas referentes à hidrografia, ao clima, ao substrato geológico, os sistemas de relevo, as coberturas pedológicas e o uso ocupação do solo, permitindo uma análise integrada dos fenômenos erosivos. O mapa base da bacia de drenagem do reservatório Paiva Castro foi elaborado na escala 1:50 000, a partir das folhas topográficas do IBGE (1972/1974).

Em relação ao uso e ocupação do solo, utilizou-se como referência o mapa da Emplasa, atualizando-se as alterações por meio de interpretação de imagens de satélite IKONOS do ano de 2005, e também informações do Google Earth Pro. Deste modo foram definidas 10 classes de uso e ocupação, consideradas de interesse para subsidiar os mapas de áreas potenciais à produção de sedimentos.

A partir do mapa de áreas potenciais à produção de sedimentos foram feitas as análises em cada um dos compartimentos hidrográficos e sua hierarquização, em termos de capacidade à produção de sedimentos e, conseqüentemente, o transporte de sedimentos, para indicação e priorização das medidas preventivas e corretivas nos compartimentos com maior criticidade.

5. POTENCIALIDADE DAS TERRAS À PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

As classes de Potencialidades das Terras à Produção de Sedimentos resultantes da integração das classes de suscetibilidade à erosão com o uso e ocupação do solo. Esse cruzamento é feito em SIG, com os dados em vetor, aplicando a matriz, elaborada pelos autores

1 Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Av. Prof. Almeida Prado, 532. 05508-901 São Paulo. E-mail zenohell@ipt.br; gersaf@ipt.br; rissatto@ipt.br

(Tabela 1). Foram definidas cinco classes de potencialidade à produção de sedimentos: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muita Alta.

Tabela 1 - Classes de Potencialidades das Terras à Produção de Sedimentos da Bacia de drenagem do Reservatório Paiva Castro.

CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO	CLASSES DE SUSCETIBILIDADE				
	MUITO ALTA - MA	ALTA - A	MÉDIA - M	BAIXA - B	MUITO BAIXA - MB
Cobertura vegetal	M	M	B	MB	MB
Reflorestamento	M	M	B	B	MB
Campo Antrópico/Pastagem	MA	A	M	B	MB
Área Urbana Consolidada	M	M	B	MB	MB
Área Urbana em consolidação	MA	A	A	A	M
Solo exposto	MA	MA	MA	MA	MA
Estrada pavimentada	M	M	B	MB	MB
Estrada não pavimentada	MA	MA <td A	A	M	
Mineração/Pedreira	A	A	M	M	M
Espelho d'água (Rios, represas, lagos e reservatório)	MB	MB	MB	MB	MB

A Figura 3 apresenta, de forma reduzida, o Mapa das Classes de potencialidade à produção de sedimentos da Bacia de drenagem do Reservatório Paiva Castro.

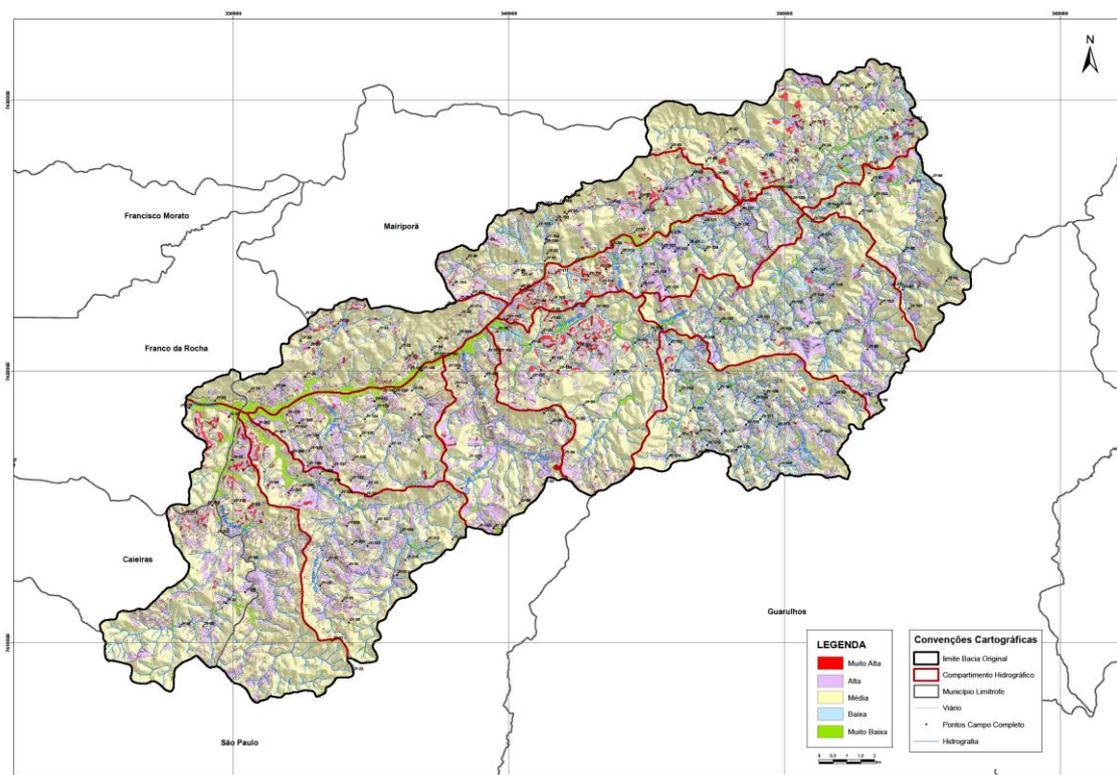


Figura 3. Mapa das Classes de potencialidade à produção de sedimentos da Bacia de drenagem do Reservatório Paiva Castro.

É importante destacar que esse tipo de mapeamento é estático no tempo, reflexo das características de uso e ocupação das imagens aéreas ou ortofotos utilizadas na interpretação das classes de uso. Além disso, deve-se atentar que o potencial de produção de sedimento é predominantemente balizado pelo tipo de uso do solo, agente dinâmico que causa diferentes impactos de acordo com a suscetibilidade do terreno. Áreas de alta suscetibilidade à erosão,

ocupadas com culturas de mata onde foram adotadas práticas conservacionistas, podem resultar em baixa a média potencialidade à produção de sedimentos, por exemplo.

Conclui-se que a bacia hidrográfica do Reservatório Paiva Castro apresenta um meio físico com média potencialidade a produção de sedimentos, embora apresente terrenos com alta suscetibilidade a erosão, em decorrência de seu uso (predominando formação Florestal; Mata).

6. POTENCIALIDADE DAS TERRAS À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS

Mais importante que o cálculo direto dos parâmetros morfométricos são as correlações existentes entre dois ou mais parâmetros distintos, os quais permitem, entre outros objetivos, estimar facilmente parâmetros de mais difícil obtenção a partir de um dado facilmente obtido por ferramentas de SIG, como por exemplo, a área de cada compartimento hidrográfico. As correlações são facilmente determinadas em softwares de planilha eletrônica, e possuem maior validade quando o parâmetro R^2 se aproxima da unidade, sendo estas denominadas correlações fortes. IPT (2017), estudando a bacia hidrográficas do rio do Peixe (UGRHI 21), foi possível traçar uma correlação forte entre a densidade de drenagem (Dd) x número de canais de primeira ordem padronizado e entre o número de canais de primeira ordem x número de pontos de erosão foi possível inferir a existência de uma correlação indireta entre a densidade de drenagem e o número de pontos de erosão padronizado.

É possível observar certa variabilidade na densidade de drenagem calculada para cada um dos compartimentos hidrográficos, com valores compreendidos entre aproximadamente 0,982 km/km² nas de menor densidade de drenagem e cerca de 5,221 km/km² nas de maior densidade. Os quartis foram utilizados para agrupar os compartimentos hidrográficos em cinco classes de densidade de drenagem, apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Classes de Densidade de drenagem dos compartimentos hidrográficos

Classe	Valores de Dd
Muito baixa densidade	< 0,982 km/km ²
Baixa densidade	0,982 - 1,740 km/km ²
Média densidade	1,740 – 2,416 km/km ²
Alta densidade	2,416 – 3,173 km/km ²
Muito alta densidade	3,173 - 5,221 km/km ²

Desse modo, pode-se estimar a capacidade de produção de sedimentos de um determinado compartimento hidrográfico combinando-se as classes de potencialidade (Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta) do Mapa de Potencialidade das Terras à Produção de Sedimento com as classes de Densidade de Drenagem apresentadas na Tabela 1, conforme a chave apresentada na Tabela 3. Esse cruzamento é feito em SIG, com os dados em vetor, aplicando a matriz, elaborada pelos autores.

Tabela 3. Chave de cruzamento das Classes de Densidade de drenagem com as diferentes Classes de Potencialidades das Terras à Produção de Sedimento.

Classes de Potencialidade à produção de sedimento	Classes de Densidade de Drenagem				
	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Muito Baixa (MB)	MB	MB	MB	M	M
Baixa (B)	MB	B	B	M	A
Média (M)	B	B	M	A	A

Alta (A)	B	M	M	A	MA
Muito Alta (MA)	M	M	A	MA	MA

Em relação à erosão e ao transporte de sedimentos, o estudo da densidade de drenagem é fundamental, uma vez que constitui um fator que quanto maior for o seu valor, maior será o potencial de produção de sedimentos, considerando que uma rede rica de drenagem favorece o escoamento e o transporte de sedimentos (OLIVEIRA, 2013). A Figura 4 apresenta o Mapa de densidade de drenagem da bacia hidrográfica do reservatório Paiva Castro.

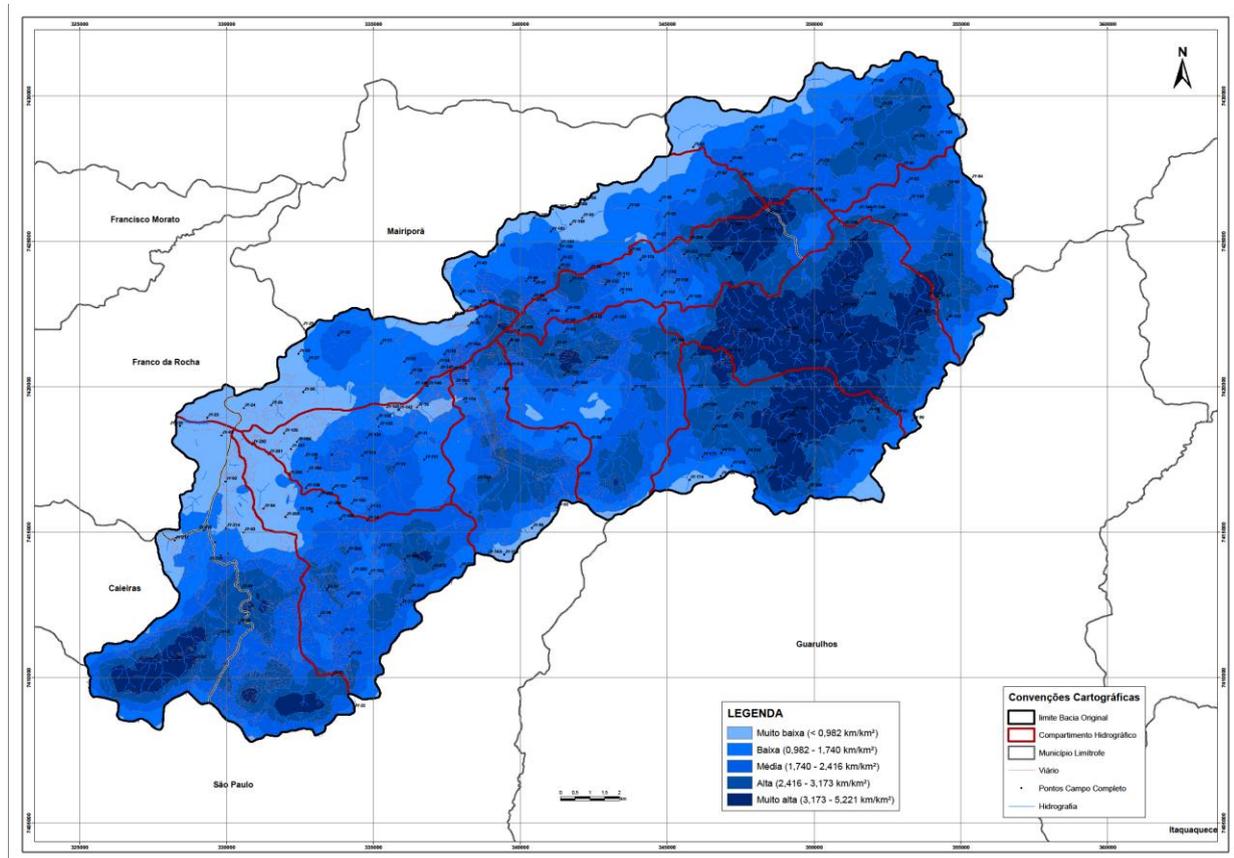


Figura 4. Mapa de densidade de drenagem da bacia hidrográfica do reservatório Paiva Castro.

Na sequência, a Figura 5, apresenta, de forma reduzida, o Mapa de Capacidade de Produção de Sedimentos da bacia de drenagem do reservatório Paiva Castro.

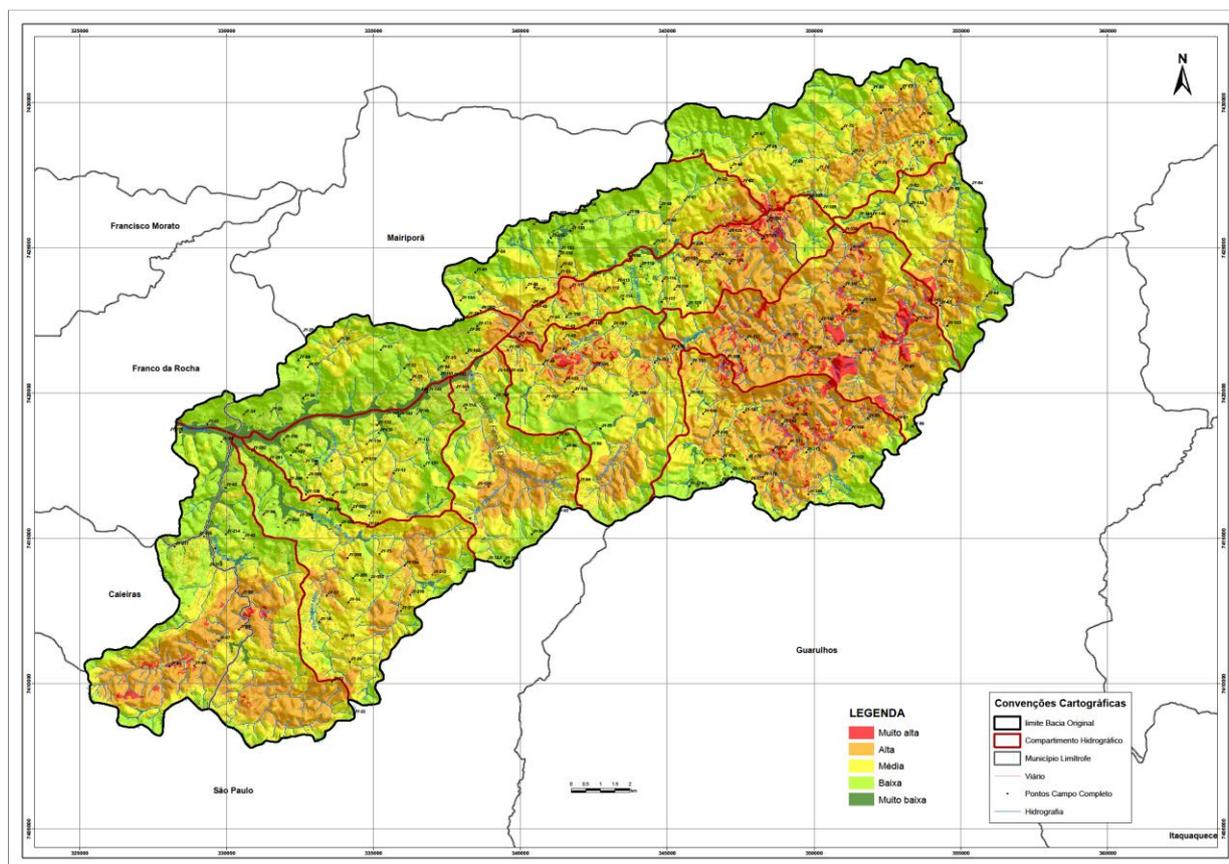


Figura - Mapa de Capacidade de Produção de Sedimentos da bacia de drenagem do reservatório Paiva Castro

7. CONCLUSÃO

Considerando a suscetibilidade dos terrenos, a produção de sedimentos e a hierarquização dos compartimentos hidrográficos da bacia de drenagem do Reservatório Paiva Castro, quaisquer projetos de parcelamento do solo devem ser realizados adotando-se critérios técnicos, que levem em conta as características do meio físico e suas potencialidades.

Os processos erosivos na bacia de drenagem do Reservatório Paiva Castro, tem como causa principal a ação antrópica inadequada, favorecidos por certos fatores naturais, principalmente relacionados à cobertura pedológica, relevo e, de modo indireto, ao tipo de substrato geológico. Como já referido, o agente deflagrador principal é a água de escoamento superficial que, na forma de fluxo concentrado, remove o solo superficial e de alteração e, na área de expansão urbana, a retirada desse solo superficial induz o desenvolvimento de canais, que podem evoluir remontantemente, quando sob interferência das águas subsuperficiais, especialmente as do lençol freático.

Assim, os compartimentos hidrográficos da bacia de drenagem do Reservatório Paiva Castro que apresentam as maiores quantidades de Terras com capacidade à produção de sedimentos e a hierarquização deverão ser objeto de mapeamentos de maior detalhe, a fim de subsidiar os estudos de planejamento e viabilizar projetos de práticas conservacionistas, minimizando os impactos ambientais futuros.

Do ponto de vista econômico, os processos erosivos em questão acarretam perdas consideráveis de áreas produtivas, tais como pastagens e culturas diversas. Além disso, geram danos ambientais sérios, pois vêm assoreando de forma considerável trechos da drenagem a jusante e o reservatório.

Cabe destacar a importância desse estudo para o Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê e Subcomitê de Bacia Hidrográfica do Juquery-Cantareira para o planejamento e investimentos

nos compartimentos hidrográficos da bacia de drenagem do Reservatório Paiva Castro que foram hierarquizados como as mais problemáticas em relação aos processos erosivos e assoreamento

AGRADECIMENTOS

Ao Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FEHIDRO e ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo pelo apoio recebido e financeiro na execução desse estudo.

REFERÊNCIAS

FALCETTA, F. A. M.; ALMEIDA FILHO, G. S.; HELLMEISTER JUNIOR, Z.; MOTA, E. C.; TANIKAWA, D. H. (2017). *Desenvolvimento de uma metodologia para hierarquização das sub-bacias do rio do Peixe quanto à capacidade de produção de sedimentos*. In: *XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 22, 2017, Florianópolis. Anais. Porto Alegre: ABRH.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Mapa de potencialidade das terras à produção de sedimentos: Área piloto Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio do Peixe*. São Paulo: IPT, 2017 (Relatório Técnico 149.680-205).

OLIVEIRA, A. M. dos S. *Assoreamento*. In: TELLES, D. D.; GÓIS, J. S. de. [orgs.]. *Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão*. São Paulo: Edgar Blücher, 2013. p. 34-369.

PRANDINI, F. L. *Occurrence of boçorocas in Southern Brazil: geological conditioning of environmental degradation*. In: *International Congress of THE IAEG*, 2, São Paulo. Proceedings... 1, tema 3, trab. 36. São Paulo: ABGE, 1974. (IPT. Publicação, 1 038).

São Paulo (Estado). *Lei Estadual Nº 9.866/97 – Uma nova política de mananciais*. São Paulo: Secretaria do Estado do Meio Ambiente; 1997.