

**VALIDAÇÃO DE METODOLOGIA DE HIERARQUIZAÇÃO DAS SUB-BACIAS DO RIO DO PEIXE QUANTO À CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS**

Filipe Antonio Marques Falcetta <sup>1</sup>; Diego Hiroshi Tanikawa <sup>2</sup>; Márcia Chiquete Melo <sup>3</sup>

**Resumo** – A Unidade Hidrográfica de Gerenciamento de Recursos Hídricos do rio do Peixe – UGRHI 21, com uma área aproximada de 11.000 km<sup>2</sup>, constituída de 38 municípios e uma população estimada de 500.000 habitantes, apresenta graves problemas ocasionados pela má gestão de seus recursos hídricos. IPT (2017) e Falcetta et al. (2017) apresentaram melhorias na metodologia desenvolvida há duas décadas pelo IPT de modo a permitir maior diferenciação no tocante à capacidade de produção de sedimentos provenientes dos processos de erosão hídrica e, desse modo, fornecer importante instrumento de gestão ao comitê de bacia o qual pode, de posse deste material priorizar ações de controle e recuperação de áreas acometidas por processos erosivos lineares. Este trabalho busca validar referida metodologia proposta, comparando a ordenação das sub-bacias com a quantidade de erosões por km<sup>2</sup> de cada sub-bacia. Este trabalho conclui que é possível observar forte correlação entre a incidência de erosões lineares (sulco, ravina e boçoroca) com a hierarquização proposta, permitindo que a mesma possa ser utilizada como instrumento de gestão e tomada de decisão em recursos hídricos, garantindo, portanto, melhor direcionamento e priorização na aplicação dos recursos provenientes da cobrança pelo uso da água.

**Abstract** – The Unit for Water Resources Management of the Peixe river, covering an area of approximately 11,000 km<sup>2</sup>, comprising 38 municipalities and an estimated population of 500,000 inhabitants, faces serious problems caused by poor management of its water resources. IPT (2017) and Falcetta et al. (2017) presented improvements on a methodology developed by IPT two decades ago in order to achieve greater differentiation in respect of hydric erosion processes sediment production capacity and, thus, to provide an important assessment tool to basin committee, in order to prioritize control and recovery actions in linear erosions. This paper aims to validate this proposed methodology, comparing the sub-basin hierarchization with the erosion per square kilometers per sub-basin. This concludes that it is possible to observe a strong correlation between the occurrence of linear erosions (groove, ravine and gully) and the ordering of the sub-basins proposed, thus allowing to use the developments of this paper as an instrument for decision making in water resources management and, ensuring better targeting and prioritization in the application of the water use revenues.

**Palavras-Chave** – Erosão; Produção de Sedimentos; Gerenciamento de Recursos Hídricos.

---

<sup>1</sup> Eng. Civil, MSc. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, (11) 3767-4096, falcetta@ipt.br

<sup>2</sup> Estagiário Geografia. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, (11) 3767-4643, diegoht@ipt.br

<sup>3</sup> Estagiária Geografia. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, (11) 3767-4643, chiquete@ipt.br

## 1. INTRODUÇÃO

A superfície terrestre é comumente esculpida por processos gerados pela combinação de variados fenômenos (físicos, químicos, biológicos e antrópicos). A erosão pluvial é um exemplo de tais processos, podendo ser intensificada e acelerada pela ação humana, podendo ocorrer de duas maneiras: erosão laminar e erosão linear.

A desagregação e transporte de solo sem a formação de canais definidos constitui a erosão laminar; quando são formados caminhos preferenciais que concentram o escoamento, transportando sedimentos, a erosão é denominada linear.

A erosão linear, portanto, inicia-se por pequenos sulcos que podem evoluir, caso não haja intermediação, para feições de grande profundidade como as ravinas e boçorocas, essas que são formas muito profundas e extensas que alcançam o lençol freático. A influência antrópica pode intensificar e acelerar esse processo devido, por exemplo, às formas não planejadas de ocupação do solo que se relacionam às precariedades de infraestrutura urbana, o parcelamento inadequado do solo, as atividades agropecuárias que ocorrem na ausência de técnicas conservacionistas etc.

No estado de São Paulo, o cenário drástico de mudança do uso do solo, no qual intenso desmatamento ocorreu a fim de propiciar desenvolvimento da agricultura, segundo Prandini (1974) se configurou como importante desencadeador de processos erosivos.

Neste contexto, em 1985, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) foram pioneiros, no Brasil, ao executarem o projeto Erosão no Estado de São Paulo (IPT, 1985), no qual foram cadastrados, por meio da interpretação de fotos aéreas de 1972 e cadastro das erosões lineares urbanas, cerca de 700 pontos de erosões urbanas e 7 mil pontos de erosões rurais (ravinas e boçorocas). Este projeto foi atualizado durante os anos de 2010 e 2012 por uma parceria entre o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) e o IPT; nesse, por sua vez, foram identificados aproximadamente 1.400 pontos de erosão urbana e 39 mil erosões rurais (IPT; DAEE, 2012).

A região do Oeste Paulista, por ter características físicas e intensa atividade urbana e rural, apresenta uma grande ocorrência de erosões em suas bacias hidrográficas. As erosões desencadeiam processos de assoreamento, os quais comprometem a quantidade e qualidade das águas, inclusive com impactos diretos na geração de energia hidrelétrica e em processos de inundação, na medida em que reduzem a calha dos rios.

Dentre as bacias mais atingidas por estes processos, a Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe (UGRHI<sup>4</sup> 21) se destaca por apresentar o maior número de erosões e também as de maior criticidade, como pode ser visto na Figura 1 (IPT; DAEE, 1997).

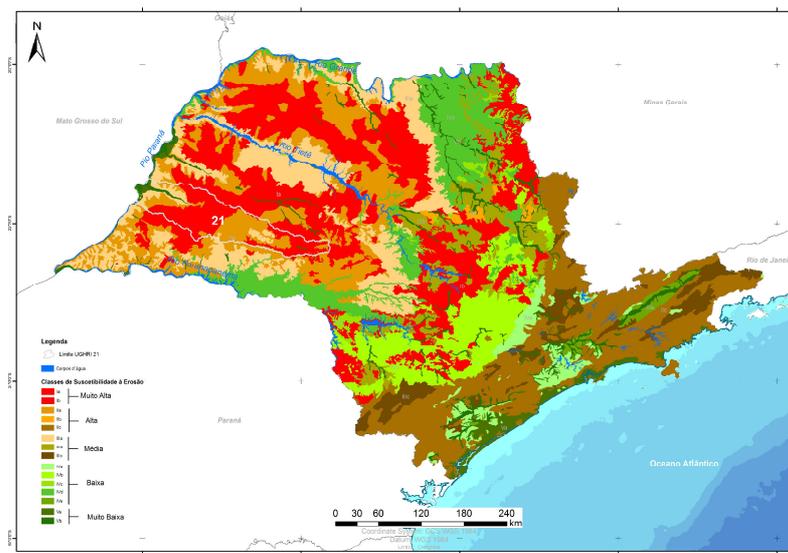


Figura 1. Mapa de Erosão do Estado de São Paulo (IPT; DAEE, 1997).

<sup>4</sup> Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - Plano Estadual de Recursos Hídricos – Lei Estadual 7.633/91.

A Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe compreende 38 municípios do estado de São Paulo, possui uma área aproximada de 11.000 km<sup>2</sup> e população estimada em 500.000 habitantes. Dentre as principais atividades econômicas da bacia, destacam-se os setores de serviços e comércio nas áreas urbanas e, nas áreas rurais, há o predomínio da pecuária, com forte expansão da indústria sucroalcooleira.

Segundo levantamento do IPT; DAEE (2012), mais de 6 mil pontos de erosão estão localizados nesta bacia. Além disso, quando se consideram as metodologias tradicionais de mapeamento do potencial das terras à produção de sedimentos, parcela considerável da UGRHI 21 é classificada em uma única classe de potencialidade. Segundo Falcetta et al. (2017) essa classificação dificulta a hierarquização das sub-bacias em função da vulnerabilidade a erosão e, conseqüentemente, a gestão dos recursos que poderiam ser direcionados em intervenções que visem o controle dos processos erosivos (Figura 2).

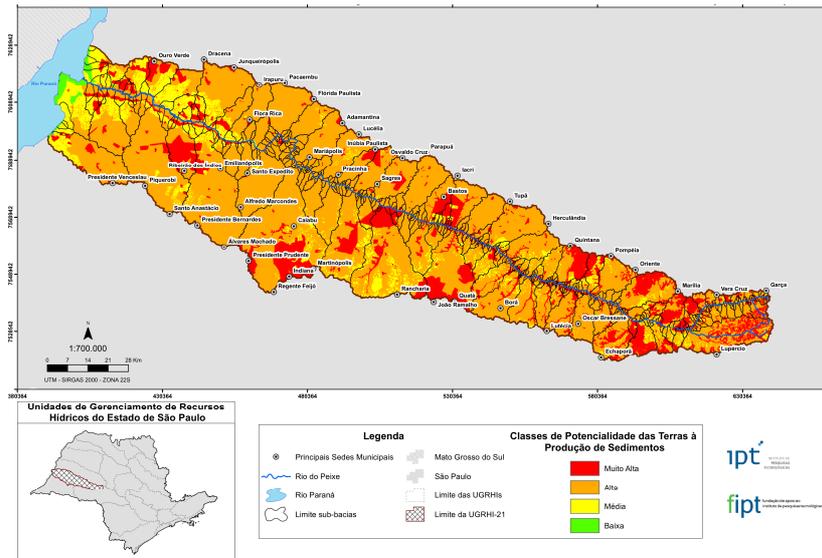


Figura 2. Mapa de potencialidade das terras à produção de sedimentos na UGRHI 21 (IPT, 2017).

Desta forma, como visto em Falcetta et al. (2017), houve um aprimoramento na metodologia desenvolvida pelo IPT nas últimas décadas, com a consideração de um parâmetro hidrológico (densidade de drenagem) visando à diferenciação das classes de potencialidade à produção de sedimentos e produzindo-se, o que foi denominado de “mapa de capacidade de produção de sedimentos”, e procedendo a uma hierarquização qualitativa das sub-bacias da UGRHI 21 quanto a essa variável (Figura 3).

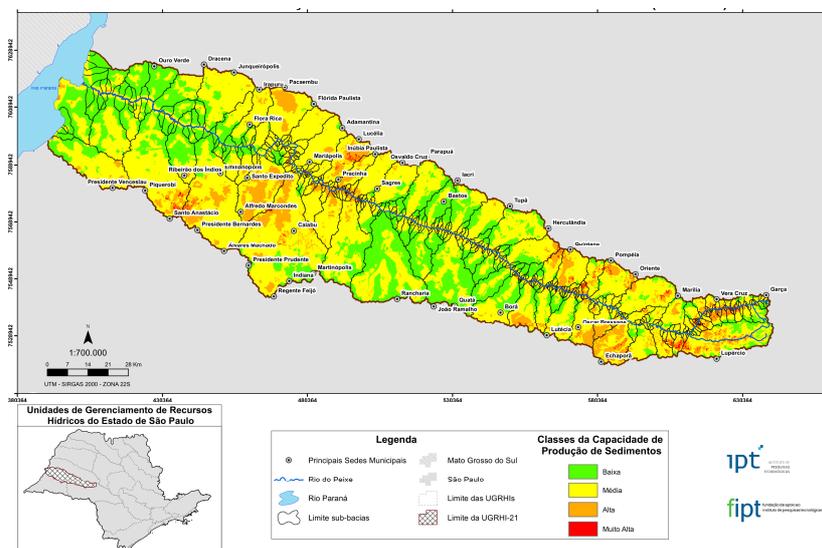


Figura 3. Mapa de capacidade das terras à produção de sedimentos na UGRHI 21 (IPT, 2017).

Este trabalho visa, portanto, propor uma metodologia quantitativa de hierarquização das sub-bacias da UGRHI 21 quanto à capacidade de produção de sedimentos, validando a que foi realizada em caráter piloto por Falcetta et al. (2017) e aprimorada em IPT (2017). Para tanto, buscou-se correlacionar a ordenação das sub-bacias da UGRHI 21, proposta por estes referidos trabalhos, com o número de erosões / km<sup>2</sup> em cada uma delas, considerando este um parâmetro representativo do grau de criticidade de uma sub-bacia em relação à ocorrência de processos erosivos e, por sua vez, a produção de sedimentos.

## 2. METODOLOGIA

As abordagens metodológicas desenvolvidas pelo IPT, ao longo das últimas décadas, que dizem respeito a processos erosivos lineares, podem ser resumidamente descritas como sendo as de: suscetibilidade à erosão (IPT; DAEE, 1997), potencialidade das terras à produção de sedimentos (IPT; DAEE, 2005) e, por fim, capacidade das terras à produção de sedimentos (IPT, 2017 e Falcetta et al., 2017).

A suscetibilidade à erosão pode ser determinada de diferentes maneiras, quase sempre levando em conta parâmetros morfopedológicos, os quais relacionam o substrato rochoso, solos e relevo (De Castro e Salomão, 2000), conforme trabalho realizado por Ab'Saber (1969). A metodologia apresentada em IPT; DAEE (1997) consiste na ponderação em ambiente SIG dos *rasters* geológico/pedológico com o das classes de declividade. A suscetibilidade dos tipos de solo ao desenvolvimento de processos erosivos foi determinada a partir de dados de campo e de laboratório e, de forma geral, quanto maior a declividade, maior a velocidade de escoamento d'água e, conseqüentemente, maior a capacidade de desenvolver erosão e transportar sedimentos.

Quanto à potencialidade das terras à produção de sedimentos, em IPT; DAEE (2005) é sugerida uma abordagem multicritério que correlaciona a suscetibilidade de erosão com o uso e ocupação do solo nas áreas de interesse, podendo ser realizada a partir da ponderação em ambiente SIG dos *rasters* das classes de suscetibilidade a erosão com os padrões de ocupação do solo. De modo geral, atividades que provocam grandes movimentações de terra (como é o caso de áreas de expansão urbana ou culturas temporárias, por exemplo) e as que são realizadas sem utilização de práticas conservacionistas (áreas de pastagem sem curvas de nível) são as que apresentam maior potencial à produção de sedimentos.

Tanto os fatores morfopedológicos quanto os antrópicos na UGRHI 21 constituem cenário em que o potencial de produção de sedimentos é alto na bacia hidrográfica, situação esta que dificulta sobremaneira a gestão do território e a priorização dos recursos oriundos da cobrança do uso da água na bacia em intervenções que visem o controle dos processos erosivos.

De forma de facilitar a gestão dos recursos, Falcetta et al. (2017) e IPT (2017) apresentaram um aprimoramento nas metodologias desenvolvidas pelo IPT, a partir do desenvolvimento do mapa de capacidade das terras à produção dos sedimentos e a hierarquização qualitativa das sub-bacias da UGRHI 21 quanto a este quesito.

A capacidade das terras à produção dos sedimentos consiste na combinação em ambiente SIG dos *rasters* das classes de potencialidade à produção de sedimentos com a densidade de drenagem de cada sub-bacia hidrográfica. Este valor de densidade de drenagem foi ainda corrigido de modo a levar em conta a pluviometria local, pois, segundo IPT (2017), locais onde ocorrem volumes maiores de precipitação anual são naturalmente mais propensos a apresentar processos erosivos de grande porte. Falcetta et al. (2017) aponta correlação estatística demonstrando a relação existente entre a densidade de drenagem e a incidência de processos erosivos, reproduzida na Figura 4.

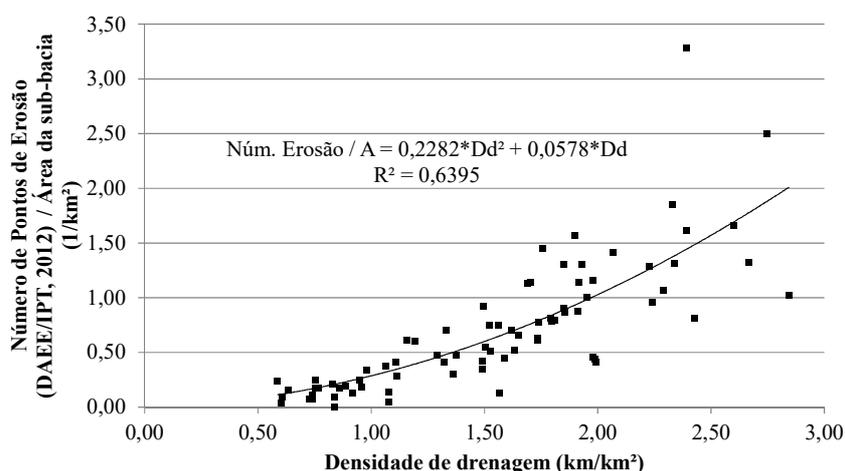


Figura 4. Correlação entre a densidade de drenagem e a relação entre o número de pontos de erosão em cada sub-bacia na UGRHI 21 (Falcetta et al., 2017).

Este resultado também pode ser observado por autores como Moeini et. al. (2015) e Clubb et. al. (2016). Hiruma e Ponçano (1994) destacam que regiões de grande densidade de drenagem possuem elevada concentração de fluxo de águas superficiais (*runoff*), responsáveis pela desagregação e transporte das partículas de solo.

Como forma de realizar quantitativamente a hierarquização das sub-bacias da UGRHI 21, para cada uma das classes de capacidade de produção de sedimentos apresentadas em Falcetta et al. (2017) foram atribuídos números de 1 a 16, onde o número 1 representa a mais alta capacidade e 16 a mais baixa, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1. Classes de capacidade de produção de sedimentos propostas para a UGRHI 21

Potencialidade das terras à produção de sedimento	Classes de Densidade de Drenagem			
	Baixa densidade	Média densidade	Alta densidade	Muito alta densidade
Baixa (B)	B (16)	B (13)	M (9)	M (7)
Média (M)	B (15)	M (11)	M (8)	A (4)
Alta (A)	B (14)	M (10)	A (5)	MA (2)
Muito Alta (MA)	M (12)	A (6)	MA (3)	MA (1)

Foram determinados os números por trecho de cada sub-bacia da UGRHI 21 a partir da ponderação pela área ocupada por eles, como pode ser visto em detalhe para a sub-bacia do córrego Água Formosa, destacada em vermelho na Figura 5 e na Tabela 2.

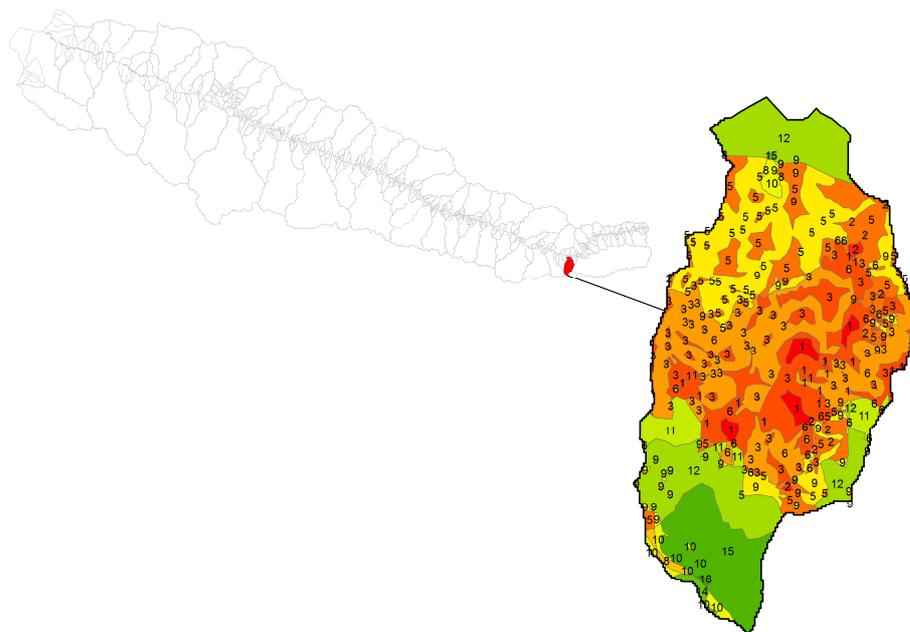


Figura 4. Detalhe das classes de capacidade de produção de sedimentos na sub-bacia do córrego Água Formosa.

Tabela 2. Ponderação das classes de capacidade de produção de sedimentos na sub-bacia do córrego Água Formosa

Classes de potencialidade das terras à produção de sedimento (a)	Área ocupada pela classe (km <sup>2</sup> ) (b)	(a) x (b)
Muito Alta (1)	0,390	0,390
Muito Alta (2)	0,063	0,127
Muito Alta (3)	3,164	9,491
Alta (4)	0,000	0,000
Alta (5)	2,392	11,961
Alta (6)	4,222	25,333
Média (7)	0,000	0,000
Média (8)	0,074	0,590
Média (9)	3,487	31,387
Média (10)	0,285	2,852
Média (11)	0,680	7,478
Média (12)	3,385	40,614
Baixa (13)	0,001	0,016
Baixa (14)	0,074	1,041
Baixa (15)	1,799	26,992
Baixa (16)	0,019	0,300
<b>Soma</b>	<b>20,036</b>	<b>158,572</b>

Para a sub-bacia do córrego Água Formosa, o número correspondente à classe de capacidade de produção de sedimentos é calculado usando a relação entre os totais 158,572 e 20,036 e vale 7,91, o que indica que esta sub-bacia é caracterizada pela média capacidade de produção de sedimentos. Este procedimento foi realizado de forma automatizada para todas as sub-bacias da UGRHI 21 utilizando-se a extensão *Zonal Statistics* do software ArcGIS e os resultados serão apresentados e discutidos no item a seguir.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme apresentado no item anterior, a ponderação descrita foi aplicada em, aproximadamente, 80 sub-bacias da UGRHI 21, de pequeno, médio e grande porte, com áreas variáveis entre cerca de 10 km<sup>2</sup> até por volta de 800 km<sup>2</sup>. As bacias foram ordenadas de acordo com os resultados obtidos nesse cálculo.

Com o intuito de validar os resultados obtidos, as ponderações obtidas foram ordenadas em ordem decrescente e comparadas com o número de erosões por área, em cada sub-bacia, baseado no levantamento de IPT; DAEE (2012). Isto porque um valor próximo a 16 indicaria baixíssima capacidade de produção de sedimentos na sub-bacia e um valor próximo a 1 indicaria o oposto, isto é, uma altíssima capacidade de produção de sedimentos.

Sub-bacias com alta capacidade de produção de sedimentos muito provavelmente são também críticas quanto à ocorrência de processos erosivos e, portanto, devem figurar no topo das prioridades na metodologia proposta em Falcetta et al. (2017) e IPT (2017).

A Figura 5 apresenta um gráfico de dispersão entre os resultados das ponderações e o número de erosões levantadas por IPT; DAEE (2012) por km<sup>2</sup>, bem como uma tendência dos resultados, indicando a trajetória descendente da curva, como esperado. Em destaque está indicada a sub-bacia do córrego Água Formosa, utilizado como exemplo de cálculo na metodologia descrita neste artigo.

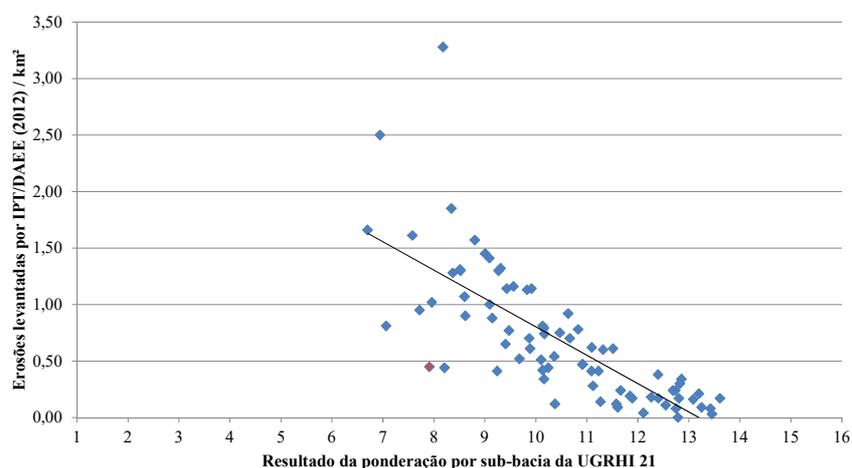


Figura 5. Resultados das ponderações por sub-bacia vs erosões levantadas por IPT; DAEE (2012) por km<sup>2</sup>.

Diante desses dados, foi possível observar forte correlação entre a hierarquização proposta neste trabalho com a incidência de processos erosivos na UGRHI 21, o que valida a metodologia proposta. Dessa forma, a proposta metodológica certamente representa um importante instrumento de gestão do território e dos recursos advindos da cobrança do uso da água em áreas potencialmente críticas ao surgimento deste tipo de processo, o qual se mostra como um empecilho à disponibilidade hídrica futura.

#### 4. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas – FIPT e ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo pelo apoio recebido.

#### REFERÊNCIAS

AB'SABER, A.N. (1969). *Conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário*. ed. USP, São Paulo-SP.

CLUBB, F. J.; MUDD, S. M.; ATTAL, M.; MILODOWSKI, D. T.; GRIEVE, S.W.D. (2016). The relationship between drainage density, erosion rate, and hilltop curvature: implications for sediment transport processes. *Journal of Geophysical Research*.

DE CASTRO, S. S.; SALOMÃO, F. X. DE S. (2000). Compartimentação morfoopedológica e sua aplicação: considerações metodológicas. *GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)*, p. 27-37.

FALCETTA, F. A. M.; ALMEIDA FILHO, G. S.; HELLMMEISTER 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.

HIRUMA, S. T.; PONÇANO, W. L. (1994). Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfoopedológicos na área do Alto Rio Pardo, SP E MG. *Revista do Instituto Geológico* 15(1/2), pp. 49-57.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) (1985). *Relatório Técnico 33.402-205: Erosão no Estado de São Paulo*. São Paulo-SP.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) (1997). *Relatório Técnico 36.071-205: Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo - Síntese*. São Paulo-SP.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) (2005). *Relatório Técnico 81.999-205: Monitoramento da erosão e do assoreamento nas Bacias Hidrográficas dos rios Taiaçupeba, Biritiba-Mirim e Paraitinga, SP*. São Paulo-SP.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) (2012). *Relatório Técnico 127.824-205: Cadastramento de erosão e inundação no Estado de São Paulo*. São Paulo-SP.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) (2017). *Relatório Técnico 149.680-205: Mapa de potencialidade das terras à produção de sedimentos. Área piloto: Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Rio do Peixe*. São Paulo-SP.

MOEINI, A.; ZARANDI, N. K.; PAZIRA, E.; BADIOLLAHI, Y. (2015). The relationship between drainage density and soil erosion rate: a study of five watersheds in Ardebil province, Iran. *Wit Transactions on Ecology and the Environment*, 197.

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