

ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS E ANÁLISE DE CENÁRIOS DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS À RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JAGUARI (MG/SP)

Eduardo Vedor de Paula*
João Guimarães**
Diogo Rossi Ibaixe***

Resumo: Os custos com tratamento de água mostram-se crescentes, sobretudo, nas bacias hidrográficas que revelam algo grau de intervenção, tal como ocorre na bacia do rio Jaguari (MG/SP). A conservação de recursos hídricos mediante ações de infraestrutura verde revela-se como sendo uma excelente alternativa. Constituiu como objetivo do presente estudo efetuar a comparação entre o cenário atual de produção de sedimentos, com um cenário hipotético que contemplou a restauração florestal de ambientes degradados.

Palavras-chave: Recuperação ambiental; Produção de sedimentos; Bacias hidrográficas, Sistemas de informações geográficas.

ESTIMATION OF THE SEDIMENTS YIELDED AND SCENARIO ANALYSIS OF PRIORITY AREAS TO ENVIRONMENTAL RECOVERY IN RIVER JAGUARI (MG/SP)

Abstract: Water treatment costs are rising, mainly in the hydrographic basin showing a high degree of intervention, as it is the case with the Rio Jaguari (MG/SP). The conservation of hydric resources through green infrastructure actions reveals itself as being an excellent alternative. The purpose of this study has been comparing the current scenario of sediment production to a hypothetical scenario that includes the reforestation of degraded environments.

Keywords: Environmental recovering; Sediments yielded; Hydrographic basin, Geographic information system.

* Professor Adjunto do Departamento de Geografia da UFPR. E-mail: edugeo@ufpr.br

** Fauna & Flora International. E-mail: joao.guimaraes@fauna-flora.org

*** BRIIX (Brazil's Impact Investment Exchange). E-mail: drossi@briix.com.br

ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS Y ANÁLISIS DE ESCENARIOS EN ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO JAGUARI (SP)

Resumen: Los costos en relación al tratamiento de las aguas se muestran crecientes, sobre todo, en las cuencas hidrográficas que revelan alto grado de intervención, tal como ocurre en la cuenca del río Jaguari (MG/SP). La conservación de recursos hídricos, mediante acciones de infraestructura verde, aparece como una excelente alternativa. El objetivo del presente trabajo es efectuar la comparación entre el escenario actual de producción de sedimentos, con uno hipotético que contempla la restauración forestal de ambientes degradados“.

Palabras claves: Recuperación Ambiental. Producción de Sedimentos, Cuencas, Sistemas de Información Geográfica.

Introdução

A bacia do PCJ (que abrange os rios Piracicaba, Capivari e Jundiá) abriga o maior parque industrial do país, além de abastecer a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), região esta que concentra 28% do PIB nacional. Neste contexto o rio Jaguari responde por quase 50% da captação do Sistema Cantareira, que se constitui na principal fonte de abastecimento de água para RMSP.

O município de Jaguariúna, situado na foz do rio Jaguari apresenta gastos importantes para o tratamento da água em função, sobretudo, da elevada turbidez da água. No presente já se cogita a importação de águas residuárias para abastecer o crescimento econômico e populacional deste município, que é palco para investimentos iniciais previstos para uma área de 2.300 hectares. Em Jaguariúna localiza-se uma importante planta da Ambev, uma das maiores empresas de bebidas do mundo.

A The Nature Conservancy (TNC), recebendo financiamento da empresa Ambev (Companhia de Bebidas das Américas), desenvolve na região um projeto de conservação de recursos hídricos mediante ações de Infraestrutura Verde, que está centrado na ideia de que as áreas naturais prestam uma série de serviços para a sociedade. Sendo que garantir a quantidade e a qualidade da água é um dos mais importantes deles. Por isso, a manutenção das florestas tem um valor que pode ser

Eduardo Vedor de Paula; João Guimarães; Diogo Rossi Ibaixe, Estimativa da produção de sedimentos e análise de cenários das áreas prioritárias à recuperação ambiental na bacia hidrográfica do rio Jaguari (MG/SP).

pago por quem se beneficia deste serviço ambiental e recebido por quem às protege – os produtores rurais.

Neste contexto o principal objetivo deste trabalho refere-se à estimativa da atual produção de sedimentos na bacia do rio Jaguari, bem como a estimativa da potencial redução desta produção em um cenário de restauração florestal das Áreas de Preservação Permanentes (APP's) e adoção de práticas conservacionistas em áreas que apresentam altas e moderadas suscetibilidade geopedológica à produção de sedimentos.

O rio Jaguari nasce na Serra das Três Orelhas em Minas Gerais, possui aproximadamente 200 km de extensão e juntamente com o rio Atibaia, formam o rio Piracicaba. A bacia hidrográfica do rio Jaguari apresenta área de 2.196,2 km² e perímetro de 386 km. Conforme representado na Figura 1, seu terço superior está localizado no estado de Minas Gerais e terços médio e inferior no estado de São Paulo.

Para as análises de produção de sedimentos, a bacia do rio Jaguari foi dividida em 32 unidades hidrográficas (Figura 1), das quais 12 situam-se à montante do reservatório Jacaré-Jaguari. Esta porção da bacia está inserida no Sistema Cantareira. À jusante do reservatório Jacaré-Jaguari foram delimitadas 20 unidades hidrográficas, cuja área totaliza 960,55 km².

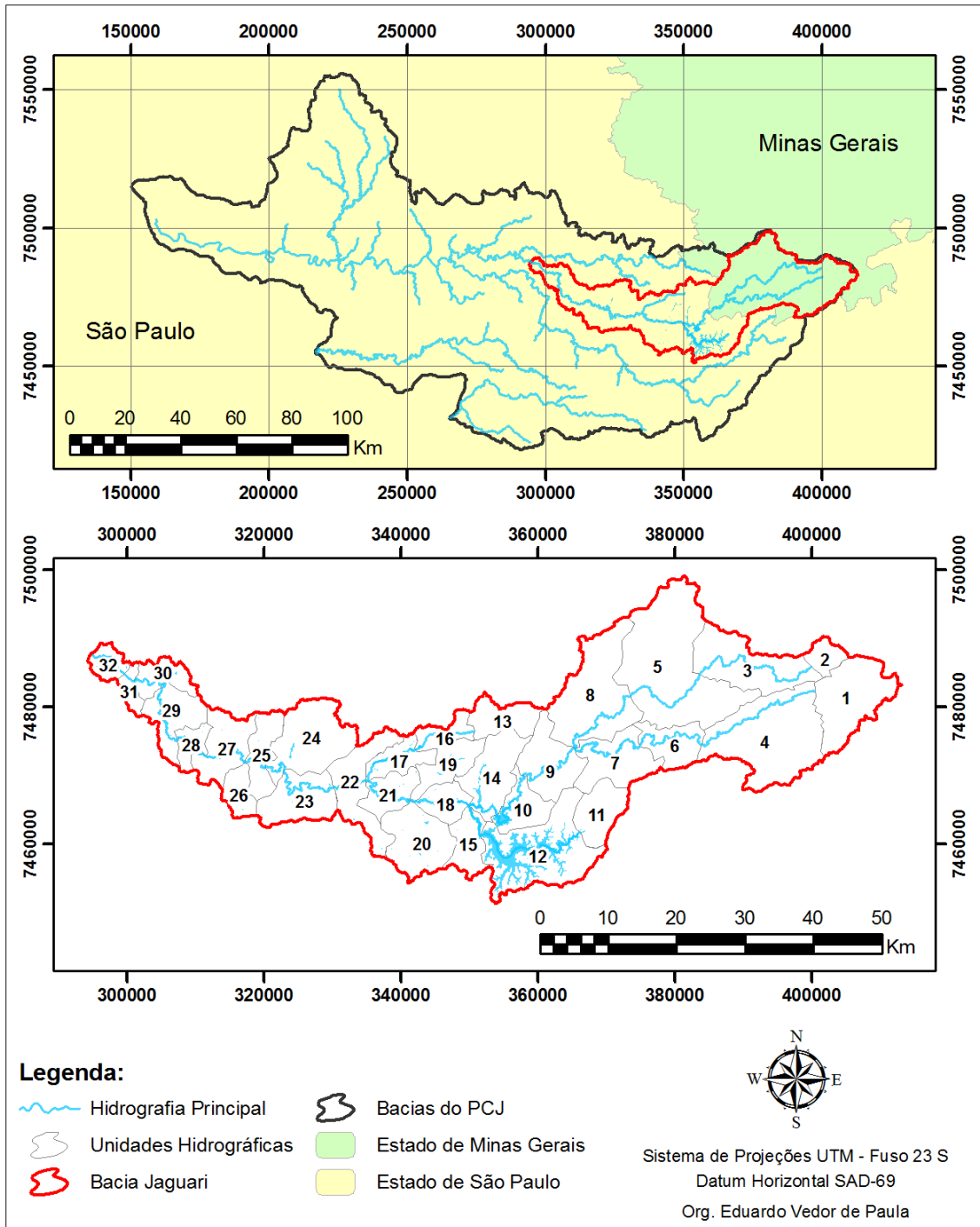


Figura 1: Localização e unidades hidrográficas da bacia do rio Jaguarí.

Material e Métodos

O presente estudo foi desenvolvido em duas etapas. A primeira delas contemplou primeiramente a delimitação da bacia do rio Jaguarí, bem como de suas unidades hidrográficas (Figura 1). Em seguida, efetuou-se a integração dos elementos que constituem o meio geopedológico, quais sejam: geologia, geomorfologia (declividade e

Eduardo Vedor de Paula; João Guimarães; Diogo Rossi Ibaixe, Estimativa da produção de sedimentos e análise de cenários das áreas prioritárias à recuperação ambiental na bacia hidrográfica do rio Jaguarí (MG/SP).

formas de vertente) e pedologia. Por fim, realizou-se a análise da suscetibilidade geopedológica à produção de sedimentos, por meio da confecção de uma carta de mesma denominação.

Os dados geológicos considerados são correspondentes à escala 1:500.000 e encontram-se descritos em CPTI (2011). Os dados pedológicos foram obtidos na escala 1:50.000 para a porção situada à montante do reservatório Jacareí-Jaguari (CPTI, 2011), enquanto que para o restante da área utilizou-se o mapeamento pedológico de reconhecimento do Estado de São Paulo, referente à escala 1:500.000 (OLIVEIRA et al., 1999).

Para a análise geomorfológica fez-se uso das cartas topográficas 1:50.000, a partir das quais efetuou-se a geração do MDT (Modelo Digital do Terreno), seguindo as proposições de TARBOTON et al. (1991). Sobre o MDT foram produzidas as cartas de declividade e forma das vertentes, conforme descrito em PAULA (2010).

Visando a confecção da carta de suscetibilidade efetuou-se a hierarquização das unidades geológicas, pedológicas e geomorfológicas quanto ao potencial de suscetibilidade à disponibilização de sedimentos, sendo que os pesos atribuídos encontram-se descritos e justificados em TNC (2014). Em seguida, atribuíram-se valores a cada classe existente, que variam de 1 (suscetibilidade muito baixa) a 3 (suscetibilidade muito alta), conforme proposto por Crepani et al. (2001). Finalmente, realizou-se a média aritmética dos elementos geopedológicos selecionados, sendo que a geomorfologia foi constituída pela média da declividade e forma das vertentes. Por meio de álgebra de mapas, foi implementada a Equação 1. Essa equação foi empregada a partir da ferramenta Raster Calculator, disponível na extensão Spatial Analyst, do software ArcGIS 9.3.1. A resolução espacial deste produto foi de 50 metros.

$$SG = ([Geo] + [Ped] + (([Dec] + [Fve]) / 2)) / 3 \quad (1)$$

Onde SG é a suscetibilidade geopedológica à produção de sedimentos, Geo é a unidade geológica, Ped classe de solo, Dec é a declividade, e Fve é a forma de vertente.

A segunda etapa do roteiro metodológico contemplou inicialmente a integração dos mapas de cobertura vegetal e uso da terra, recentemente elaborados para diferentes porções da área de estudo. A carta de cobertura vegetal e uso da terra resultante constituiu a base do Cenário 1 de estimativa da produção de sedimentos. O Cenário 2 foi construído a partir da hipotética restauração, com vegetação em estágio avançado de sucessão, das Áreas de Preservação Permanente dos corpos hídricos que se encontravam degradadas no Cenário 1. Também foram acrescentadas ao Cenário 2 aquelas áreas de uso agropecuário, cujo grau de suscetibilidade geopedológica apresentou-se alto e moderado.

A carta de cobertura vegetal e uso da terra foi confeccionada a partir de dois mapeamentos existentes. O primeiro abrange 54,3% da área de estudo e foi elaborado a partir da interpretação das imagens SPOT 5, obtidas no ano de 2007. O segundo mapeamento foi confeccionado a partir de imagens LANDSAT 5-TM, adquiridas no ano de 2010 (TNC, 2014).

Considerando-se a importante contribuição das estradas rurais no processo de produção de sedimentos, conforme sugerem CORRÊA e DEDECEK (2009) e THOMAZ e PEREIRA (2013), efetuou-se a espacialização das mesmas. Para tanto, foram confeccionados buffers de 20 metros a partir do traçado linear das estradas secundárias disponíveis nas bases fornecidas pela TNC. Sequencialmente, esses buffers foram incluídos na carta de cobertura vegetal e uso da terra da bacia do rio Jaguari.

A construção do Cenário 1 teve por objetivo estimar a atual produção de sedimentos na bacia do rio Jaguari. Para tanto, efetuou-se o cruzamento matricial, por meio de álgebra de mapas, das classes de suscetibilidade geopedológica à produção de sedimentos com as classes cobertura vegetal e uso da terra, conforme grau de proteção de cada classe de vegetação exerce sobre o solo. Na Tabela 1, são apresentados os pesos resultantes do cruzamento matricial em questão, sendo atribuído I para potencial muito baixo; II- baixo; III- moderado e; IV- alto.

Tabela 1: Definição das classes de potencial à produção de sedimentos no Cenário 1:

Cenário 1		Classes de Suscetibilidade Geopedológica			
		Muito baixa	Baixa	Moderada	Alta
Classe de cobertura Vegetal e Uso da Terra	Afloramento rochoso	I	I	I	II
	Floresta estágio avançado	I	I	I	II
	Floresta estágio inicial ou médio	I	II	II	III
	Várzea	I	II	II	III
	Reflorestamento	II	II	III	IV
	Campo	II	II	III	IV
	Pastagem	II	II	III	IV
	Agricultura	II	III	IV	V
	Área edificada	II	III	IV	V
	Estradas rurais	III	IV	V	V
	Solo exposto	III	IV	V	V
	Mineração	III	IV	V	V

Deve-se mencionar que para a atribuição dos pesos, a partir do cruzamento das classes de vegetação natural com as classes de suscetibilidade geopedológica, foi considerado o trabalho de BORGES et al. (2009). Todavia, em razão de o mencionado estudo referir-se a região do Cerrado brasileiro, fez-se necessária a adaptação das classes vegetais para as tipologias encontradas no bioma de Mata Atlântica. Para tanto, analisou-se o grau de proteção que cada classe de vegetação encontrada nessa última região confere ao solo, conforme descrições publicadas em IBGE (1992), LEITE (1994), RODERJAN et al. (2002), PARANÁ (2002).

O Cenário 2 foi construído com o objetivo de se estimar a produção de sedimentos, posterior à recuperação das áreas consideradas prioritárias à recuperação ambiental. De acordo com o exposto na Tabela 2 foram definidas quatro categorias de áreas prioritárias. Este método foi adaptado de PAULA e CUNICO (2008), o qual foi desenvolvido para subsidiar a restauração de áreas degradadas na bacia do rio Pequeno (Antonina/PR), visando à mitigação do processo de assoreamento da baía de Antonina.

Tabela 2: Categorias de áreas prioritárias à recuperação ambiental:

Categoria	Suscetibilidade Geopedológica	Uso da Terra	Código Florestal
Prioridade 1	Moderada e Alta	Agricultura Área Edificada Solo Exposto Estradas Rurais Mineração	Interna à APP de corpo hídrico
Prioridade 2	Moderada e Alta	Pastagem Reflorestamento Floresta em Estágio Inicial	Interna à APP de corpo hídrico
Prioridade 3	Baixa e Muito Baixa	Agricultura Área Edificada Solo Exposto Estradas Rurais Mineração Pastagem Reflorestamento Floresta em Estágio Inicial	Interna à APP de corpo hídrico
Prioridade 4	Moderada e Alta	Agricultura e Pastagem	Externa à APP de corpo hídrico

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) de corpos hídricos foram delimitadas conforme NOWATZKI et al. (2010). Três classes de APP foram contempladas, quais sejam: 1) nascentes (buffer de 50 metros); 2) rede de drenagem unifilar (buffer de 30 metros); e 3) rede de drenagem bifilar (buffer 100 metros). É cabível apontar que para o processo de delimitação das APPs teve de ser considerada Lei nº 4.771/65 (BRASIL, 2001), uma vez que a Lei nº 12.727/12 (BRASIL, 2012) prevê que além da largura do rio para a definição do entorno protetivo dos mesmos, também se considere o número de módulos fiscais de cada propriedade rural. Desta forma, seria necessária a elaboração de um cadastro fundiário das propriedades existentes na bacia do rio Jaguari, para posteriormente aplicação da Lei nº 12.727/12, algo que se mostrou inviável no âmbito do corrente estudo.

A categoria denominada de **Prioridade 1** contemplou as porções cujas classes de uso da terra evidenciam, em geral, alta produção de sedimentos, quais sejam: mineração, solo exposto, estradas rurais, agricultura (sem adoção de práticas conservacionistas) e áreas edificadas. Deve-se enfatizar que se optou pela inclusão desta última classe na categoria de Prioridade 1, devido ao fato de inúmeras cidades e distritos do interior Eduardo Vedor de Paula; João Guimarães; Diogo Rossi Ibaixe, Estimativa da produção de sedimentos e análise de cenários das áreas prioritárias à recuperação ambiental na bacia hidrográfica do rio Jaguari (MG/SP).

brasileiro apresentarem vias não pavimentadas, muitas vezes implantadas no sentido do escoamento superficial, bem como por apresentarem loteamentos nos quais significativas parcelas de solo permanecem expostas à ação dos processos erosivos. Portanto, para esta primeira categoria foi considerada a ocorrência dos cinco usos do solo em áreas de moderada e alta suscetibilidade geopedológica à produção de sedimentos, situadas internas às APPs dos corpos hídricos.

As classes de uso da terra consideradas na categoria de **Prioridade 2** foram: pastagens, reflorestamento e cobertura vegetal secundária em estágio inicial de sucessão. Optou-se pela inclusão dos reflorestamentos nesta categoria, devido ao fato de que nos ciclos iniciais de sua produção, o grau de proteção do solo mostra-se reduzido. Desta forma, a segunda categoria contemplou os três mencionados usos situados em áreas de alta e moderada suscetibilidade geopedológica, internas às APPs de corpos hídricos.

Diante da obrigatoriedade legal de reconstituição das APPs a categoria de **Prioridade 3** abrangeu as demais áreas de APPs, ou seja, porções que revelaram muito baixa e baixa suscetibilidade geopedológica à produção de sedimentos, em qualquer dos usos da terra considerados nas categorias anteriores, conforme Tabela 2.

A categoria de **Prioridade 4** referiu-se às áreas de uso agropecuário externas às APPs de corpos hídricos, cuja suscetibilidade geopedológica mostrou-se alta e moderada, e que são passíveis da implantação de práticas conservacionistas, visando à redução das taxas de produção de sedimentos. De acordo com os estudos de LEPRUN (1983), MARGOLIS et al. (1985), BERTONI e LOMBARDI NETO (1990), DE MARIA e LOMBARDI NETO (1997), DERPSCH (2002) e CHAVES et al. (2004), a adoção de práticas conservacionistas para pastagem e cultivos predominantes na bacia do Jaguari, tende a reduzir pela metade a produção de sedimentos.

A exemplo da análise realizada para o Cenário 1, efetuou-se no Cenário 2 o cruzamento matricial das classes de suscetibilidade geopedológica à produção de sedimentos, agora com as classes de cobertura vegetal e uso da terra, considerando-se a restauração das APPs para as três primeiras categorias de prioridade à recuperação ambiental. Para as áreas de Prioridade 4, depois de estimada a produção de

Eduardo Vedor de Paula; João Guimarães; Diogo Rossi Ibaixe, Estimativa da produção de sedimentos e análise de cenários das áreas prioritárias à recuperação ambiental na bacia hidrográfica do rio Jaguari (MG/SP).

sedimentos no Cenário 2, foi aplicada uma máscara de modo a reduzir em 50% os valores obtidos.

Para a estimativa do volume de sedimentos produzidos, optou-se por utilizar a metodologia proposta por CAMPAGNOLI (2006), empregada para analisar o potencial de produção de sedimentos dos terrenos brasileiros. Para tanto, este autor tomou por referência as metodologias de elaboração de mapas de risco à erosão e ao assoreamento aplicadas por DINIZ (1998), IPT (2000) e CAMPAGNOLI (2002). Sequencialmente, as classes de taxas de produção de sedimentos propostas foram aferidas às informações de campo, decorrentes do levantamento das séries históricas de vazão sólida provenientes de dados de medições sedimentométricas e/ou correlação com a ocorrência de processos erosivos mapeados.

Após a construção dos dois cenários descritos anteriormente, obteve-se o mapa de potencial à produção de sedimentos para ambos. Esses mapas tiveram suas classes de potencial associadas às taxas de produção de sedimentos, conforme definido por CAMPAGNOLI (2005; 2006), que utilizou os dados sedimentométricos apresentados por FILIZOLA JR. (1999), CARVALHO et al. (2000) e LIMA et al. (2004). Para os cálculos de produção de sedimentos, adotaram-se valores médios das faixas apresentadas na Tabela 3, a exemplo dos estudos realizados por CAMPAGNOLI (2006), BORGES et al. (2009) e PAULA (2010).

Tabela 3: Classes de produção de sedimentos:

Classe de Produção de Sedimentos	Taxa de Produção de Sedimentos (t.km⁻².a⁻¹)	Valores adotados para a estimativa (t.km⁻².a⁻¹)
I- Muito baixa	< 5	5
II- Baixa	5 – 70	35
III- Moderada	70 – 200	135
IV- Alta	200 – 400	300
V- Muito Alta	> 400	450

Para a estimativa do valor total da produção anual de sedimentos por unidade hidrográfica ou para toda a área de drenagem da bacia do rio Jaguari, foi

Eduardo Vedor de Paula; João Guimarães; Diogo Rossi Ibaixe, Estimativa da produção de sedimentos e análise de cenários das áreas prioritárias à recuperação ambiental na bacia hidrográfica do rio Jaguari (MG/SP).

implementada a Equação 2. Enquanto que para a estimativa da produção média por quilômetro quadrado efetuou-se a divisão do resultado obtido na Equação 2 pela área total da unidade hidrográfica ou para toda a bacia do Jaguari.

$$PS = A_{cI} * 5 + A_{cII} * 35 + A_{cIII} * 135 + A_{cIV} * 300 + A_{cV} * 450 \quad (2)$$

Onde PS é a produção de sedimentos, A_{cI} é a área da classe de potencial muito baixo, A_{cII} área da classe de potencial baixo, A_{cIII} área da classe de potencial moderado, A_{cIV} área da classe de potencial alto, A_{cV} área da classe de potencial muito alto.

Os dois cenários simulados foram comparados na tentativa de se avaliar o impacto da restauração da vegetação das áreas de APP degradadas, no aporte de sedimentos ao rio Jaguari. Contudo, é necessário enfatizar que devido à presença do reservatório Jacaré-Jaguari no terço médio da bacia, o qual apresenta aproximadamente 44,8 km² e funciona como retentor de sedimentos efetuou-se o somatório do aporte sedimentar para as poções situadas à montante e à jusante da barragem do reservatório Jacaré-Jaguari separadamente.

Resultados e Discussão

O mapeamento da suscetibilidade geopedológica à produção de sedimentos na bacia do rio Jaguari evidenciou o predomínio da classe referente à baixa suscetibilidade, a qual recobriu 44,5% da área estudada, conforme se observa na Figura 2. Acredita-se que o predomínio da classe de baixa suscetibilidade na bacia, se deva à combinação de rochas com alto grau de coesão (baixa suscetibilidade), com declividades e solos de baixa a moderada suscetibilidade à produção de sedimentos.

A classe de suscetibilidade moderada apresentou 36% da área total, sendo que 507,08 km² desta classe foram mapeados nas unidades hidrográficas situadas à montante do reservatório Jacaré-Jaguari, onde são encontrados solos e declividades mais elevadas. Nas unidades hidrográficas à jusante do reservatório citado verificou-se a existência de 259,44 km² referentes à classe moderada.

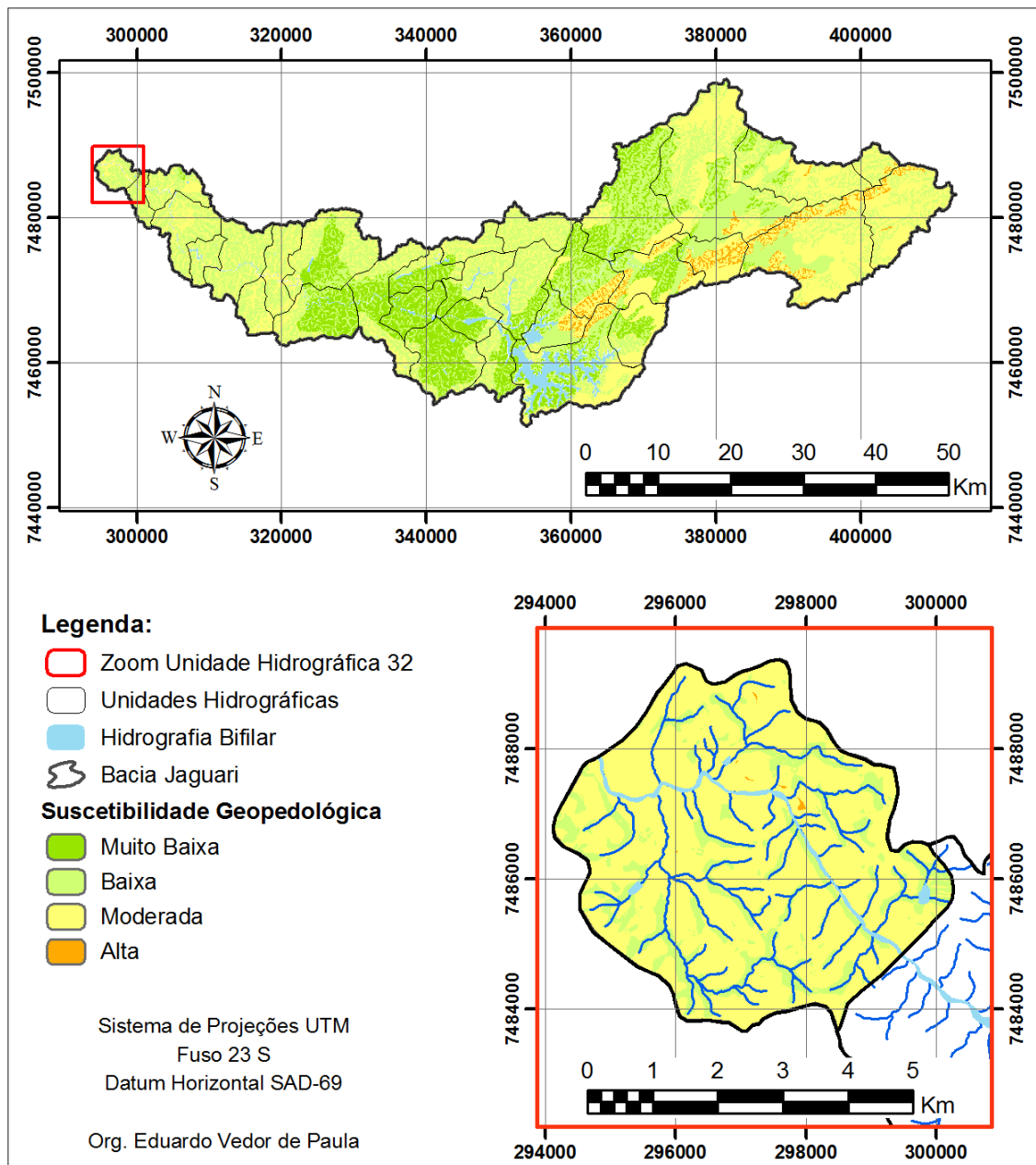


Figura 2: Suscetibilidade à produção de sedimentos na bacia do rio Jaguari.

Com 17,4% da bacia do Jaguari está a classe de muito baixa suscetibilidade, onde todos os fatores geopedológicos considerados na equação evidenciaram os menores valores possíveis de suscetibilidade. A classe de alta suscetibilidade correspondeu apenas 2,1% da área total, concentrando sua ocorrência nas unidades hidrográficas situadas à montante do reservatório Jacaré-Jaguari. Deve-se registrar que em função da praticamente inexistência de rochas sedimentares na área de estudo, não foi identificada nenhuma localidade com suscetibilidade muito alta.

Eduardo Vedor de Paula; João Guimarães; Diogo Rossi Ibaixe, Estimativa da produção de sedimentos e análise de cenários das áreas prioritárias à recuperação ambiental na bacia hidrográfica do rio Jaguari (MG/SP).

No que se refere aos resultados da estimativa da produção de sedimentos do Cenário 1, correspondente à cobertura vegetal e uso da terra recentes (2007/2010), notou-se que a porção situada à montante do reservatório Jacareí-Jaguari, apresentou volumes mais elevados em comparação aos estimados para a porção situada à jusante (95.369,9 t.a-1 e 71.873,9 t.a-1, respectivamente). Isso se deveu, sobretudo, à presença de importantes parcelas de suscetibilidade alta, sobrepostas ao uso de pastagem.

Conforme representado na Figura 3 (zoom), a porção situada próxima à foz da bacia que se refere ao município do Jaguariúna, evidenciou produção total de sedimentos no Cenário 1 de 2.332,7 t.a-1, o que corresponde a 105,0 t.km-2.a-1, sendo, portanto 38% superior à produção média da bacia do Jaguari. Esse elevado volume de sedimentos pode ser explicado pelo alto grau de intervenções existentes nesta porção da bacia, ou seja, 74,5% de sua área são recobertos pelos seguintes usos: pastagens, edificações, silvicultura, agricultura, solos expostos, estradas rurais e mineração.

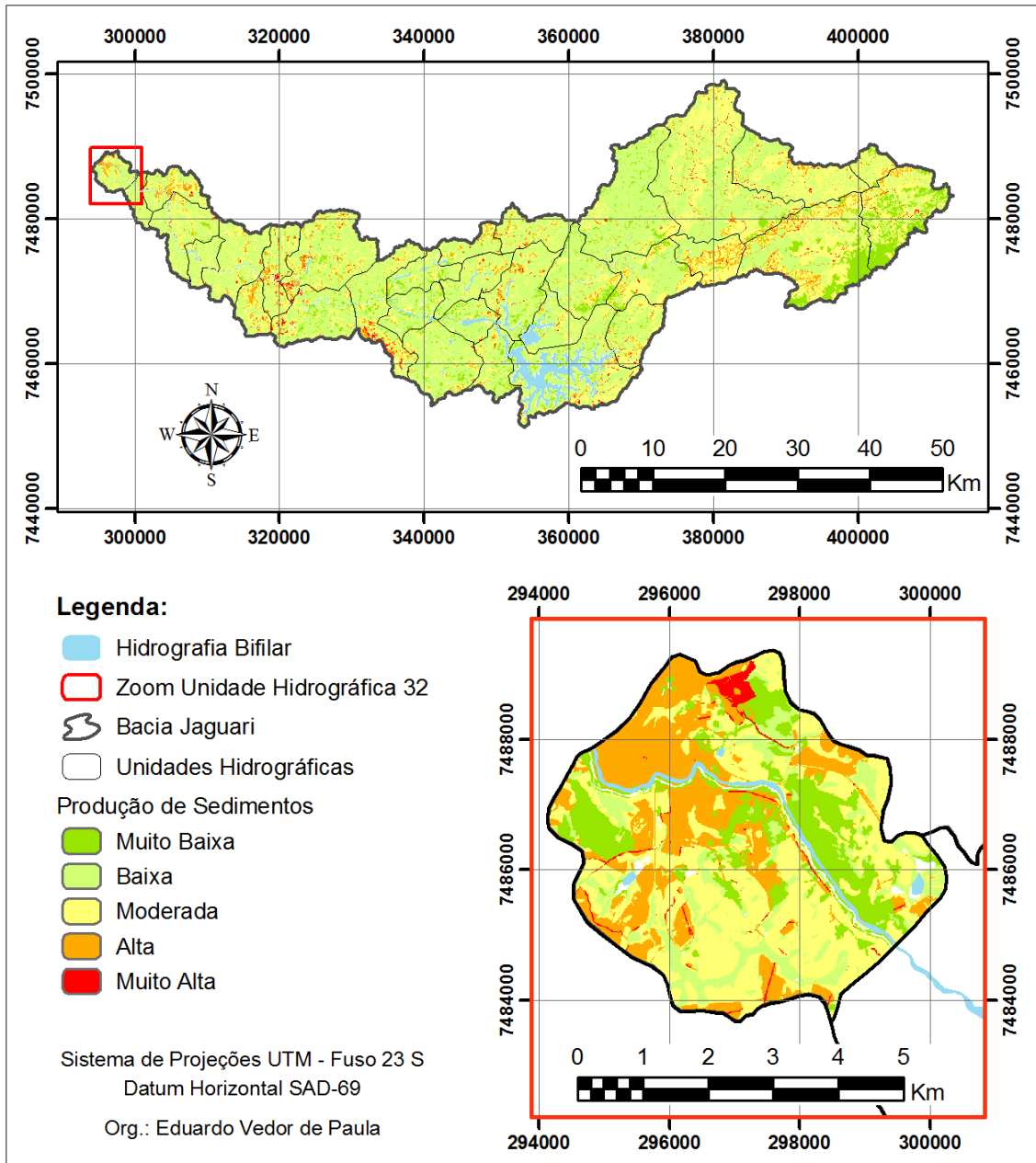


Figura 3: Estimativa da produção de sedimentos na bacia do rio Jaguari (Cenário 1).

O Cenário 2 de estimativa de produção de sedimentos, representado na Figura 4, contemplou a restauração com floresta em estágio avançado das áreas internas às APP's dos corpos hídricos (prioridades 1, 2 e 3), bem como a adoção de práticas conservacionistas em sistemas de produção agropecuária, externos às APPs dos corpos hídricos (prioridade 4). As quatro categorias de áreas prioritárias à recuperação ambiental totalizaram em toda a bacia 562,3 km², conforme representado na Tabela 4.

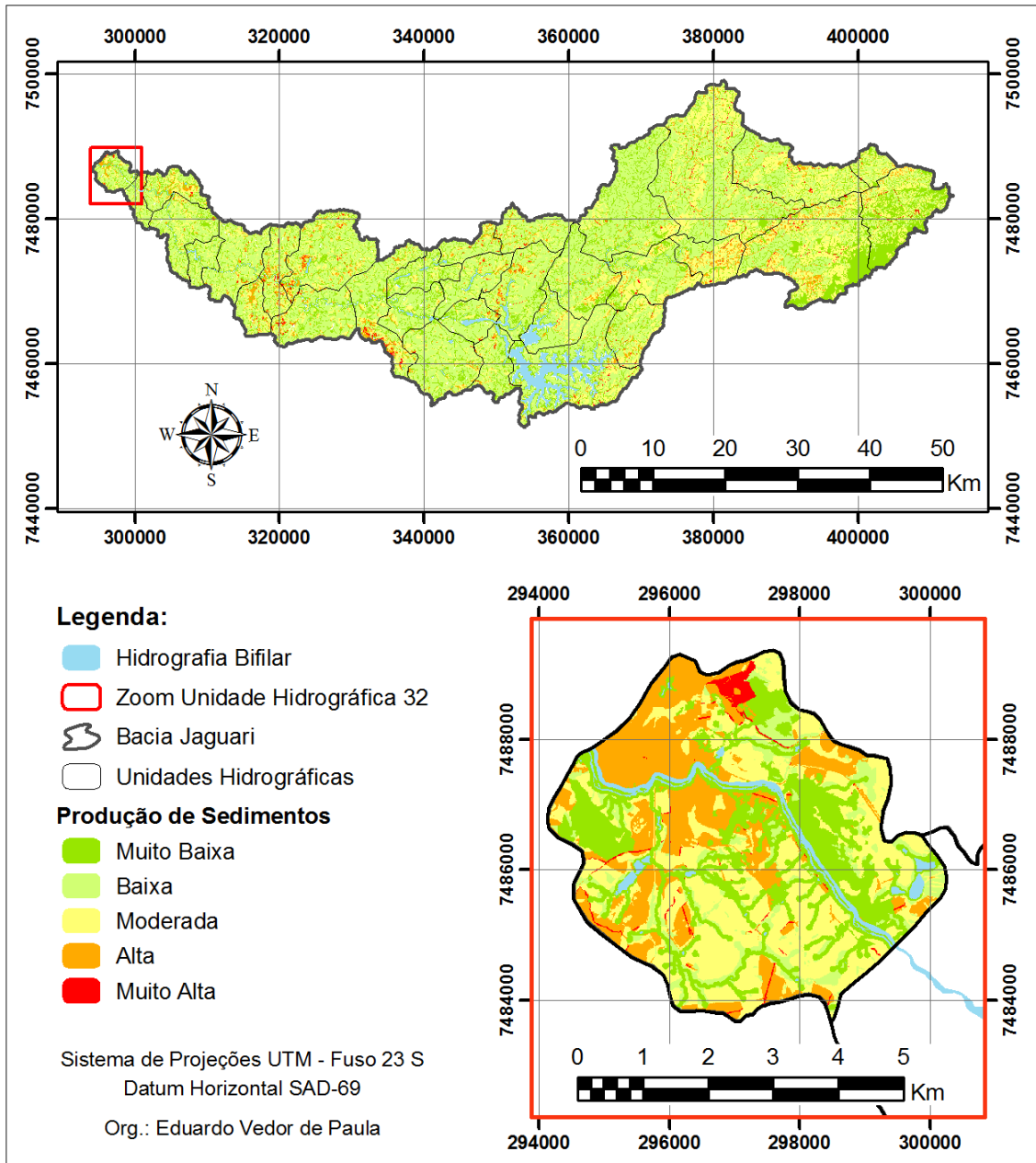


Figura 4: Estimativa da produção de sedimentos na bacia do rio Jaguarí (Cenário 2).

Neste segundo cenário a produção total de sedimentos na porção à montante continuou sendo superior, totalizando 18.406,3 t.a-1, à medida que a porção situada à jusante somou 15.986,7 t.a-1. Entretanto, quando se divide a produção total pela área (produção média) verifica-se que a porção à jusante do reservatório Jacareí-Jaguarí denota valor superior, isto é, 16,6 t.km-2.a-1, frente a 14,9 t.km-2.a-1.

Tabela 4: Áreas prioritárias à recuperação ambiental na bacia do rio Jaguari:

Prioridade	Área (km ²)	%
1	11,98	2,08
2	126,92	22,40
3	134,36	23,74
4	298,88	51,78

Ao se efetuar a comparação entre os dois cenários verificou-se redução de 80,7% no volume de sedimentos no Cenário 2, para a porção situada à montante do reservatório em questão (Tabela 5). Em termos absolutos a redução no aporte de sedimentos ao reservatório foi de 76.963,6 t.a-1.

Tabela 5: Estimativa da redução na produção de sedimentos para as unidades hidrográficas situadas à montante do reservatório Jacareí-Jaguari:

Código	Sub-bacia	Redução na Produção de Sedimentos		
		t.a ⁻¹	t.km ⁻² .a ⁻¹	%
1	JAGR110	6.576,36	62,98	82,57
2	JAGR211	1.777,05	81,77	86,40
3	JAGR106	7.827,07	73,88	83,07
4	JAGR100	14.003,90	78,23	79,08
5	JAGR108	16.411,76	68,68	81,74
6	JAGR217	5.446,17	112,05	84,75
7	JAGR105	4.751,17	63,52	81,80
8	JAGR104	5.417,60	37,55	76,47
9	JAGR107	3.258,20	45,36	76,64
10	JAGR111	1.722,49	39,44	75,32
11	JAGR082	3.563,70	68,49	79,08
12	JAGR080	6.208,10	41,23	79,84
Total		76.963,58	62,28	80,70

Na porção situada à jusante verificou-se redução de 77,8% na produção de sedimentos, o que corresponde à diminuição de 55.887,2 t.a-1 (Tabela 6). Desta forma, considerando-se a vazão média de longo termo de 18.646,4 L/s, calculada para a estação fluviométrica de Jaguariúna, estima-se redução dos sólidos em suspensão de 102,2 mg/L para 22,6 mg/L no rio Jaguari. O que certamente implicará, por exemplo,

Eduardo Vedor de Paula; João Guimarães; Diogo Rossi Ibaixe, Estimativa da produção de sedimentos e análise de cenários das áreas prioritárias à recuperação ambiental na bacia hidrográfica do rio Jaguari (MG/SP).

na redução de custos com tratamento de água, tornando economicamente viável o investimento na restauração de áreas degradadas e na manutenção de áreas conservadas da bacia do Jaguari.

Tabela 6: Estimativa da redução na produção de sedimentos para as unidades hidrográficas situadas à jusante do reservatório Jacaré-Jaguari: (Comparação entre os Cenários 1 e 2)

Código	Sub-bacia	Redução na Produção de Sedimentos		
		t.a ⁻¹	t.km ⁻² .a ⁻¹	%
13	JAGR076	2.748,00	61,29	77,74
14	JAGR081	3.914,86	52,32	77,31
15	JAGR149	1.869,87	45,91	76,20
16	JAGR077	1.740,10	65,08	77,72
17	JAGR074	1.492,38	41,95	77,50
18	JAGR079	1.243,66	38,04	74,74
19	JAGR132	2.314,85	51,52	77,07
20	JAGR078	3.604,05	44,16	74,98
21	JAGR075	1.419,06	35,84	73,70
22	JAGR057	5.317,52	69,98	76,25
23	JAGR058	3.802,74	53,38	75,86
24	JAGR115	6.893,84	67,23	77,92
25	JAGR114	3.570,87	79,66	79,47
26	JAGR116	2.355,12	85,10	77,68
27	JAGR134	3.505,44	54,62	79,11
28	JAGR135	1.134,02	51,02	83,33
29	JAGR133	3.493,63	59,93	81,84
30	JAGR070	2.872,82	83,98	80,28
31	JAGR072	747,38	47,82	80,78
32	JAGR071	1.846,96	83,16	79,18
Total		55.887,19	58,18	77,76

Deve-se salientar que os resultados decorrentes das estimativas de produção de sedimentos mostraram-se compatíveis quando comparados aos estudos de CAMPAGNOLI (2005), BORGES et al. (2009) e PAULA (2010), nos quais foi empregada a metodologia de estimativa de produção de sedimentos adotada neste trabalho. Os

resultados também apresentaram compatibilidade aos obtidos por SOUZA JUNIOR (2013) que estimou a produção de sedimentos para o sistema Cantareira.

Considerações Finais

Embora a captação do município de Jaguariúna esteja localizada nas proximidades da foz da bacia do rio Jaguari, verificou-se que a recuperação das áreas prioritárias delimitadas na região de Jaguariúna (unidade hidrográfica 32), implicou na queda de 71.873,89 t.a-1 para 70.026,93 t.a-1 na produção de sedimentos, conseqüentemente os sólidos em suspensão reduziram de 102,18 mg/L para 99,56mg/L no rio Jaguari. Contudo, se as ações de recuperação ambiental se voltar para toda a porção da bacia situada à jusante do reservatório Jacareí-Jaguari, o qual atua como importante armadilha de sedimentos, estima-se redução dos sólidos em suspensão de 102,2 mg/L para 22,6 mg/L.

Desta forma, recomenda-se que a conservação de recursos hídricos mediante ações de Infraestrutura Verde, especificamente relacionadas à restauração das áreas delimitadas como prioritárias no presente estudo, sejam estas adotadas como medidas mitigatórias/compensatórias à produção de sedimentos no processo de renovação das licenças ambientais dos empreendimentos existentes na região, bem como no processo de licenciamento ambiental de novos empreendimentos que pretendem se instalar nesta bacia hidrográfica.

Dentre as limitações do método adotado para a delimitação e hierarquização das áreas fornecedoras de sedimentos, seguida da estimativa dessa produção, destaca-se a subjetividade inerente à etapa de ponderação dos elementos do meio físico, algo que demanda clareza nos critérios estabelecidos, visto que não existe consenso na literatura. Outro aspecto limitante à imediata aplicação do roteiro metodológico adotado para o desenvolvimento do presente estudo refere-se à necessidade de se dispor das informações cartográficas padronizadas, em termos de escala e georreferenciamento para a área estudada.

Entretanto, dentre os aspectos positivos do método adotado, deve-se destacar a combinação do baixo custo e o reduzido intervalo de tempo (três meses) necessário para sua aplicação, aliados à viabilidade de sua utilização em grandes extensões territoriais, para as quais não se dispõe de uma rede de monitoramento, com longas séries temporais de dados hidrossedimentológicos, a exemplo do que ocorre na bacia hidrográfica do rio Jaguariúna.

Agradecimentos

À The Nature Conservancy (TNC) por financiar o presente estudo e ao PCJ pelo fornecimento de bases cartográficas.

Referências:

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Ícone, SP, 355 p., 1990.

BORGES, R. O.; SILVA, R. A. A.; CAMPAGNOLI, F.; CASTRO, S. S. Mapeamento da evolução da produção de sedimentos no setor sul da Alta Bacia do Rio Araguaia. In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 8. São Paulo, 2009. Anais do VIII Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 2009. CD-ROM.

BRASIL. Lei Federal n. 4771/65, de 15 de setembro de 1965, alterada pela Medida Provisória nº 2.166 – 67, de 24 de agosto de 2001. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Código Florestal Brasileiro. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2001.

BRASIL. Lei Federal n. 12.727/12, de 17 de outubro de 2012. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Código Florestal Brasileiro. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2012.

CAMPAGNOLI, F. A aplicação do assoreamento na definição de geoindicadores ambientais em áreas urbanas: exemplo na bacia do Alto Tietê, SP. São Paulo, 2002, 192f. Tese (Doutorado em Geologia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CAMPAGNOLI, F. The Brazilian lands: rates os potencial production of sediments. In: Sediment Budgets Symposium, 7. Foz do Iguaçu, PR, Brazil 2005. Anais of VII IAHS Scientific Assembly. 2005. CD-ROM.

CAMPAGNOLI, F. The production of the sediment from South American: propose of mapping of the erosion rates based on geological and geomorphological aspects. Revista Brasileira de Geomorfologia. Uberlândia: UFU. ano 7, n.1, 2006, p. 3-8.

Eduardo Vedor de Paula; João Guimarães; Diogo Rossi Ibaixe, Estimativa da produção de sedimentos e análise de cenários das áreas prioritárias à recuperação ambiental na bacia hidrográfica do rio Jaguari (MG/SP).

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W. Guia de avaliação do assoreamento de reservatórios. 1 Ed. Brasília: Dupligráfica Editora Ltda. 2000, v.1. 140p.

CHAVES, H. M. L; BRAGA JR., B.; DOMINGUES, A. F.; SANTOS, D. G. Quantificação dos custos e benefícios do “Programa do Produtor de Água”/ANA: I. Teoria. Revista da ABRH. 2004.

CORRÊA, C. M. C.; DEDECEK, R. A. Erosão real e estimada através da RUSLE em estradas de uso florestais, em condições de relevo plano a suave ondulado. Revista Floresta. Curitiba, v.39, n.2. 2009. p.381-391.

CPTI (Cooperativa de Serviços e Pesquisas Tecnológicas e Industriais). Balanço e modelagem de nutrientes e sedimentos nas bacias hidrográficas do Sistema Cantareira de abastecimento de água de São Paulo. Relatório Final – Volume 1. 2011.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDES FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento Remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE. 2001.

DE MARIA, I. C.; LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo e fator C para sistemas de manejo da cultura do milho. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, v 21(2):263-270, 1997.

DERPSCH, R. Sustainable agriculture, in Saturnino & Landers (eds.): The environment and zero tillage. APDC-FAO, Brasilia, p. 31-53, 2002.

DINIZ, N. C. Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental. São Paulo, 1998. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EDUSP). 2vol.

FILIZOLA, N. O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Amazônia Brasileira. 1 Ed. Brasília: ANEEL, 1999. v.1. 63p.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Manual de classificação da vegetação brasileira. Série Manuais Técnicos em Geociências. n. 1. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). Diagnóstico e Monitoramento do assoreamento dos reservatórios da Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo, 2000. Relatório Parcial 2.

LEITE, P. F. As diferentes unidades fitoecológicas da região Sul do Brasil. Curitiba, 1994. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

Eduardo Vedor de Paula; João Guimarães; Diogo Rossi Ibaixe, Estimativa da produção de sedimentos e análise de cenários das áreas prioritárias à recuperação ambiental na bacia hidrográfica do rio Jaguari (MG/SP).

LEPRUN, J. C. Manejo e Conservação de solos do Nordeste. Relatório de fim de Convênio de Manejo e Conservação do Solo do Nordeste Brasileiro (1982-83). Sudene-Orstom. Recife, 271 p., 1983.

LIMA, J. E. F. W.; SANTOS, P. M. C.; CARVALHO, N. O.; SILVA, E. M. Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na bacia Araguaia-Tocantins. Brasília: EMBRAPA Cerrados; ANA; ANEEL, 2004. 116p. Relatório Técnico. CD-ROM.

MARGOLIS, E.; SILVA, A.B.; JAQUES, F. O. Determinação dos fatores da EUPS para as condições de Caruaru (PE). R. Bras. Ci. Solo, Campinas, V. 9 (2):165-169, 1985.

NOWATZKI, A.; SANTOS, L. J. C.; PAULA, E. V. Utilização do SIG na delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APP's) na bacia do rio Sagrado (Morretes-PR). Sociedade & Natureza. Uberlândia. v.22. n.1. 2010. p.121-134.

OLIVEIRA. J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida. Campinas/Rio de Janeiro: Instituto Agrônomo/Embrapa, 1999.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Programa Floresta Atlântica. Mapeamento da Floresta Atlântica do Estado do Paraná. Curitiba: SEMA. Relatório Final. 2002. CD-ROM.

PAULA, E. V. Análise do Processo de Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina: Uma Abordagem Geopedológica. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PAULA, E. V.; CUNICO, C. Delimitação das áreas prioritárias à recuperação ambiental na bacia hidrográfica do Rio Pequeno (Antonina/PR). In: BOLDRINI, E. B.; SORAES, C. R.; PAULA, E. V.(Orgs.). Dragagens Portuárias no Brasil: Engenharia, Tecnologias e Meio Ambiente. Antonina: ADEMADAN; UNIBEM; Secretaria de Ciência e Tecnologia para Inclusão Social (MCT). 2008. 296p.

PAULA, E. V.; SANTOS, L. J. C.; UBER, J. A. Análise da Suscetibilidade Geopedológica à Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina/PR. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA. v. especial VIII SINAGEO, n.2, p.134-147. (doc. 4.25).

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. Ciência e Ambiente. Santa Maria, n.24. 2002 p.75-92.

SOUSA JUNIOR, W. C. Pagamento por Serviços Ecossistêmicos: sedimentos e nutrientes sistemas de abastecimento da RMSP. Relatório Técnico. São Paulo: SMA, 2013.

TARBOTON, D. G.; BRAS, R. L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. Hydrological Processes. n.5, 1991, p.81-100.

Eduardo Vedor de Paula; João Guimarães; Diogo Rossi Ibaixe, Estimativa da produção de sedimentos e análise de cenários das áreas prioritárias à recuperação ambiental na bacia hidrográfica do rio Jaguari (MG/SP).

THOMAZ, E. L.; PEREIRA, A. A. Estrada rural não pavimentada como fonte de escoamento superficial e sedimento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. Uberlândia. v.14, n.1, 2013, p. 13-21.

TNC (The Nature Conservancy). *Recuperação Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari/SP: Plano de Negócios*. Curitiba: BRIIX (Brazil's Impact Investment Exchange), 2014. 44p.