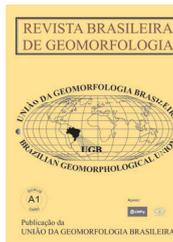


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 19, nº 4 (2018)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i4.1340>



INFLUÊNCIA DO USO DA TERRA EM ÁREAS RURAIS E URBANAS NA PRODUÇÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO E TURBIDEZ NA BACIA DO RIO CAPIVARI, LAPA-PR

INFLUENCE OF LAND USE IN RURAL AND URBAN AREAS ON THE PRODUCTION AND TRANSPORT OF SUSPENDED SEDIMENTS IN THE DRAINAGE BASIN OF THE CAPIVARI RIVER, LAPA-PR

Tereza Cristina Polato Hoffmann

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná
Rua Coronel Francisco dos Santos 100, Curitiba, Paraná. CEP: 81531-980. Brasil
E-mail: terezacph@gmail.com*

Fabiano Antonio de Oliveira

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná
Rua Coronel Francisco dos Santos 100, Curitiba, Paraná. CEP: 81531-980. Brasil
E-mail: foliveira@ufpr.br*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
30/07/2018
Aceito (Accepted):
03/09/2018

Palavras-chave:

Sedimentos em Suspensão; Turbidez; Uso da Terra. Áreas Rurais e urbanas; Bacia Hidrográfica do Rio Capivari; Lapa/PR.

Keywords:

Suspended Sediment; Turbidity; Land Use; Rural and Urban Areas; Drainage Basin of the Capivari River; Lapa/Paraná.

Resumo:

Este artigo tem como foco a compreensão da influência do uso da terra em ambiente rural e urbano na produção e transporte de sedimentos em suspensão na porção superior da bacia hidrográfica do rio Capivari, município da Lapa/PR, no período de julho/2015 a agosto/2016. Foram realizadas quinze coletas de amostra de sedimentos em suspensão no período em onze pontos distribuídos ao longo da rede hidrográfica. O processo de quantificação da concentração de sedimentos em suspensão foi realizado em laboratório e consiste na filtragem da água em membrana de éster de celulose de porosidade de 0,2µm, sendo que a diferença entre o peso final e o inicial desta é a quantidade de sedimentos em suspensão presente num determinado volume d'água. Simultaneamente, foram realizadas as medições dos níveis de turbidez das amostras de água. Os resultados do mapeamento do uso da terra apontaram a influência da atividade agropecuária na bacia, bem como a importância das edificações e vias na porção urbana e das áreas de vegetação natural localizadas principalmente na porção rural e ao longo da rede hidrográfica, o que demonstra a heterogeneidade do uso da terra na área de estudo e consequentemente da susceptibilidade à produção de sedimentos. Os resultados de carga sedimentar em suspensão e turbidez obtidos evidenciaram a relevância das estradas como vias de conexão entre as vertentes e os canais fluviais, intensificando o processo de transporte de sedimentos. A área de contribuição do arroio Boqueirão, afluente do rio Capivari, de uso predominantemente rural e agrícola, apresentou maior resultado de carga sedimentar em suspensão e turbidez em relação à área de contribuição direta do rio Capivari, com influência urbana e rural, porém com mais áreas de vegetação natural e ripária do que a primeira, o que evidencia o quão importante são o uso da terra e as intervenções antrópicas nos

resultados de carga sedimentar e turbidez, bem como a importância da vegetação natural para proteção aos processos erosivos. Portanto, apesar da porção urbana da área de estudo apresentar potencial de produção de sedimentos, a porção rural desta apresentou os maiores resultados de carga sedimentar em suspensão e turbidez.

Abstract:

The focus of this paper is the understanding of the influence of land use in rural and urban environment on the production and transport of suspended sediments in the upper portion of the drainage basin of the Capivari River, located in the city of Lapa, Paraná, Brazil, from July 2015 to August 2016. Fifteen suspended sediment samplings were performed during the study period at eleven points distributed throughout the watershed network. The suspended sediment concentration was quantified in the laboratory and consisted of water filtration through a 0.2 μm porous cellulose acetate membrane. The differences between initial weight and final weight is the amount of suspended sediment present in a given volume of water. The turbidity levels of the water samples were also measured. In terms of land use, this study identified the influence of crop and livestock farming activities in the basin, of constructions and roadways in the portion affected by the urban area, and of areas of natural vegetation located primarily in the rural portion of the watershed network, which demonstrates the heterogeneity of land use in the study area and consequently the susceptibility to sediment production. The suspended sediment load and turbidity results obtained herein reflect the relevance of the rural highways and unpaved roads as pathways between river channels and slopes and were found to intensify the process of sediment transport. The area of contribution of the Boqueirão river, a tributary of the Capivari river used for rural and agricultural activities was found to have a higher sediment load and higher turbidity than the area of direct contribution of the Capivari River, with urban and rural influence. However, the area of contribution of the Capivari River has more areas of natural and riparian vegetation than that of the Boqueirão River. These results provide important evidence of the effects of land use and human activity on sediment load and turbidity, as well as the importance of natural vegetation for providing protection from erosive processes. Therefore, though the portion of the drainage basin affected by the urban area considered in this study exhibited the potential for sediment production, the portion affected by the rural area exhibited higher suspended sediment load and turbidity.

Introdução

O processo de ocupação do território brasileiro e de desenvolvimento socioeconômico, tanto em áreas urbanas como em áreas rurais, gerou impactos de diferentes ordens, principalmente no meio natural. Dessa maneira, a ocupação desordenada do território levou à degradação ambiental e, sendo as bacias hidrográficas o palco onde ocorrem as relações humanas, estas são frequentemente impactadas.

As bacias hidrográficas se caracterizam por serem sistemas abertos, onde há constante troca de energia e matéria (CHRISTOFOLETTI, 1999). Esta troca se dá em função dos processos que ali ocorrem e estão interligados entre si. Alguns destes processos são a produção, o transporte e a deposição de sedimentos, os quais se configuram como processos naturais de toda bacia de drenagem e podem sofrer interferências e serem acelerados em razão da ação antrópica (OLIVEIRA, 2007).

A erosão das encostas na bacia hidrográfica é um processo natural decorrente da entrada de energia e matéria principalmente por meio da água da chuva. Os processos erosivos de remoção e transporte de carga detrítica que ocorrem nas vertentes têm relação

direta com o canal fluvial. O uso da terra se configura como um fator acelerador de processos erosivos e conseqüentemente do aumento da produção de sedimentos em bacias hidrográficas.

Em áreas urbanas, o processo de produção e transporte de sedimentos pode ser acelerado devido à ausência de cobertura vegetal, às construções, limpeza e terraplanagem de terrenos para loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias, dentre outras causas (TUCCI e COLLISCHONN, 2000). Além disso, a ocupação desordenada das margens dos rios em grande parte das cidades brasileiras contribui para a degradação dessas áreas, o que aumenta a carga sólida sedimentar nos cursos hídricos.

Em áreas rurais, o processo de produção e transporte de sedimentos também pode ocorrer de forma acelerada devido à substituição de vegetação nativa por áreas cultivadas, bem como às práticas de manejo agrícola utilizadas. Para Tucci e Collischonn (2000), algumas práticas de cultivo dos solos os deixam periodicamente expostos, aumentando assim a produção de sedimentos, além disso, as camadas superficiais dos solos têm sua estrutura constantemente alterada,

tornando-a menos resistente aos processos erosivos.

Este trabalho tem como foco a análise da influência do uso da terra na produção e transporte de sedimentos

em suspensão na porção superior da bacia hidrográfica do rio Capivari, localizada no município da Lapa, estado do Paraná (Figura 1).

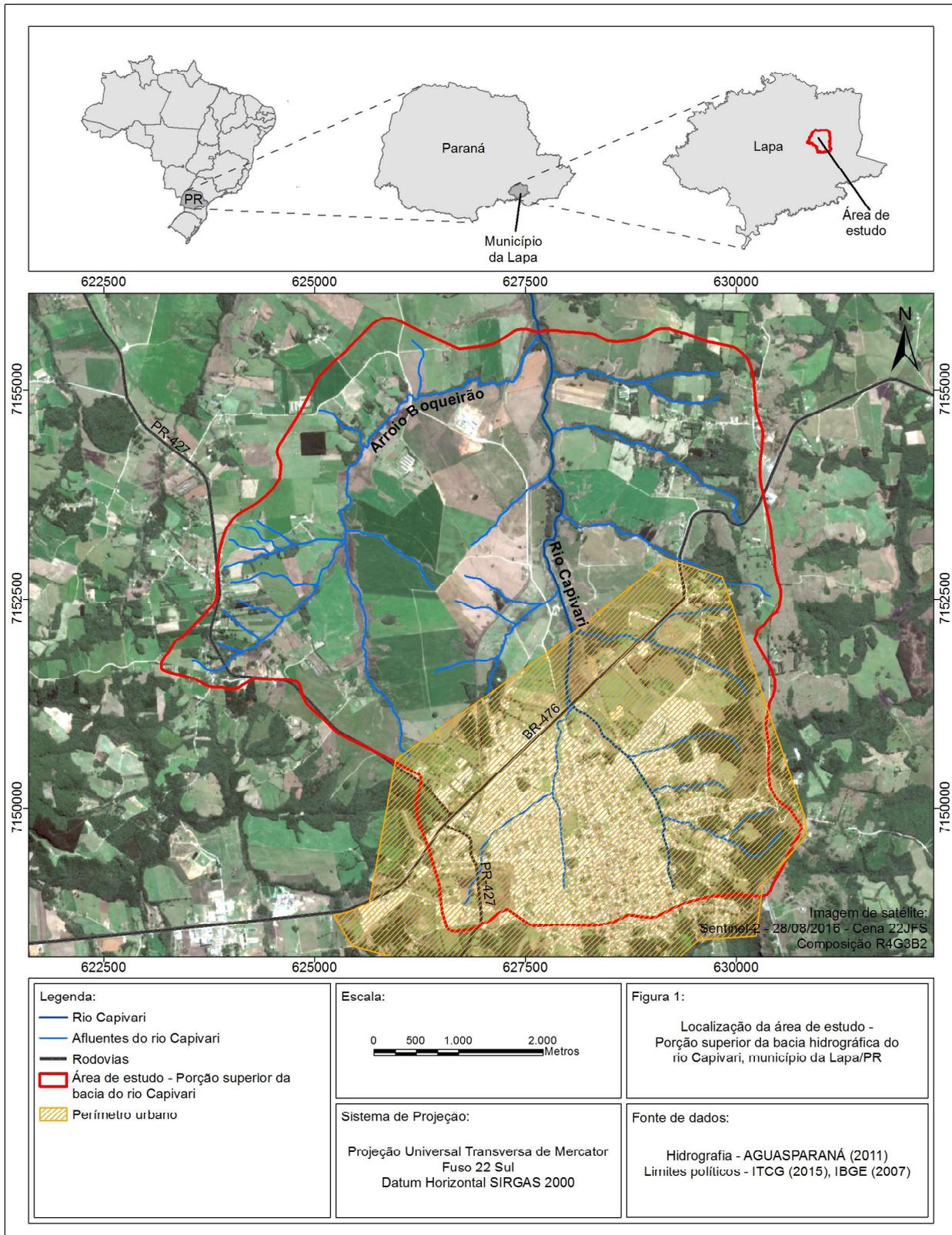


Figura 1 – Localização da área de estudo – Porção superior da bacia hidrográfica do rio Capivari, município da Lapa/PR. Fonte: Os autores (2018)

O uso desta porção da bacia é misto, uma vez que 36,5% está localizada em área urbana e 63,5% em área rural. Suas principais nascentes estão situadas na porção urbana, o que confere ao rio um estado de degradação devido à ausência de cobertura vegetal e ao lançamento direto de efluentes domésticos. Na área rural, o uso é predominantemente agrícola e se observa, em muitos locais, a ausência da vegetação ripária, a qual tem a função de proteção do curso hídrico.

Dessa maneira, o objetivo do trabalho é relacionar a carga sedimentar em suspensão e o nível de turbidez do canal fluvial em pontos específicos da rede hidrográfica na área de estudo, no período de julho de 2015 a agosto de 2016, com o uso da terra na bacia, identificando assim os potenciais de produção de sedimentos da porção urbana e da porção rural.

Procedimentos Metodológicos E Operacionais

Para a caracterização do uso da terra na porção superior da bacia hidrográfica do rio Capivari, no período de julho de 2015 a agosto de 2016, foram realizados mapeamentos condizentes com a escala de 1:50.000. Para tal, foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2, as quais possuem resolução espacial de 10 metros. Para o mapeamento do uso da terra foi utilizado a cena 22JFS de 28/08/2016, com a composição R4G3B2, e realizada classificação visual.

Em função das características agrícolas da região da Lapa, as quais se caracterizam por rodízio de culturas devido a sazonalidade, as classes de cultivo agrícola e pastagem foram unificadas nesta pesquisa. Optou-se por esta simplificação pois em muitos terrenos de uso agrícola da área de estudo são produzidas culturas temporárias no verão (principalmente soja e milho) e no inverno as mesmas áreas são utilizadas para pastagem.

A quantificação da concentração de sedimentos em suspensão foi realizada mensalmente e eventualmente em eventos de precipitação pluviométrica elevada. A periodicidade mensal da coleta de amostras de água foi estabelecida com o objetivo de se padronizar uma frequência temporal para a obtenção dos resultados. Desta maneira, durante o período de julho/2015 a junho/2016, foi realizada a quantificação de um total de 15 amostras de água. Foram selecionados 11 pontos de coleta ao longo da área de estudo (Figura 2). Tais pontos foram escolhidos considerando as características da rede hidrográfica da bacia, o uso da terra e a possibilidade de acesso a eles.

O tempo médio necessário para a coleta de amostra de água nos 11 pontos foi de aproximadamente 2 horas

entre o primeiro ponto e o último. Nas coletas de campo, houve o cuidado de inserir o coletor de água até próximo ao leito do canal, numa profundidade, portanto, não muito próxima à superfície. Além disso, devido ao acesso restrito na maioria dos pontos, nos quais não havia pontes e a coleta de amostras de água tinha de ser feita a partir da margem do canal, houve a necessidade de se adaptar um coletor de amostra (Figura 3 A). Conforme Carvalho (1994), as amostras devem ser coletadas em garrafas devidamente identificadas. Para evitar a proliferação de algas, optou-se por utilizar garrafas da cor preta, facilitando assim o armazenamento destas até o momento da análise em laboratório.

As análises foram realizadas no Laboratório de Engenharia Ambiental (LABEAM) do Departamento de Hidráulica e Saneamento (DHS) da Universidade Federal do Paraná. O processo de quantificação da concentração de sedimentos em suspensão foi baseado em Oliveira (2007), o qual por sua vez adotou a técnica adaptada a partir das propostas de Melo, Summerhayes e Toner (1975) e Carvalho (1994). A técnica consiste na filtração da água em uma membrana de éster de celulose de porosidade de 0,2µm, que permite a retenção de sedimentos até a fração de argila fina. A diferença entre o peso final e o inicial desta é a quantidade de sedimentos em suspensão presente num determinado volume d'água filtrado.

O processo em laboratório se inicia com a pesagem das membranas mantidas por 12 horas na estufa aquecida a uma temperatura de 60°C (Figura 3 B) e antes da filtração, para se obter o peso inicial destas (P_1). A membrana já pesada é então inserida num suporte onde o volume determinado de água e sedimentos, após ser homogeneizado por agitação, é aplicado para dar início ao processo de filtração, o qual é acelerado por meio da bomba a vácuo (Figura 3 C).

Depois da filtração (Figura 3 D), as membranas são introduzidas novamente na estufa para secagem por um período de 12 horas à temperatura de 60°C. Após esfriarem em um dessecador com sílica, para preservá-las da umidade do ar, as membranas são pesadas numa balança de precisão para se obter seu peso final (P_2) (Figura 3 E).

Em função da indisponibilidade de mufla no início da etapa de coleta de campo e quantificação em laboratório, as membranas filtradas não passaram pelo processo de queima de matéria orgânica. Dessa maneira, neste trabalho foi considerada como carga sedimentar em suspensão tanto o sedimento na fração orgânica quanto na fração mineral. A diferenciação foi realizada de forma qualitativa, uma vez que membranas com maior teor de matéria orgânica apresentam coloração mais escura.

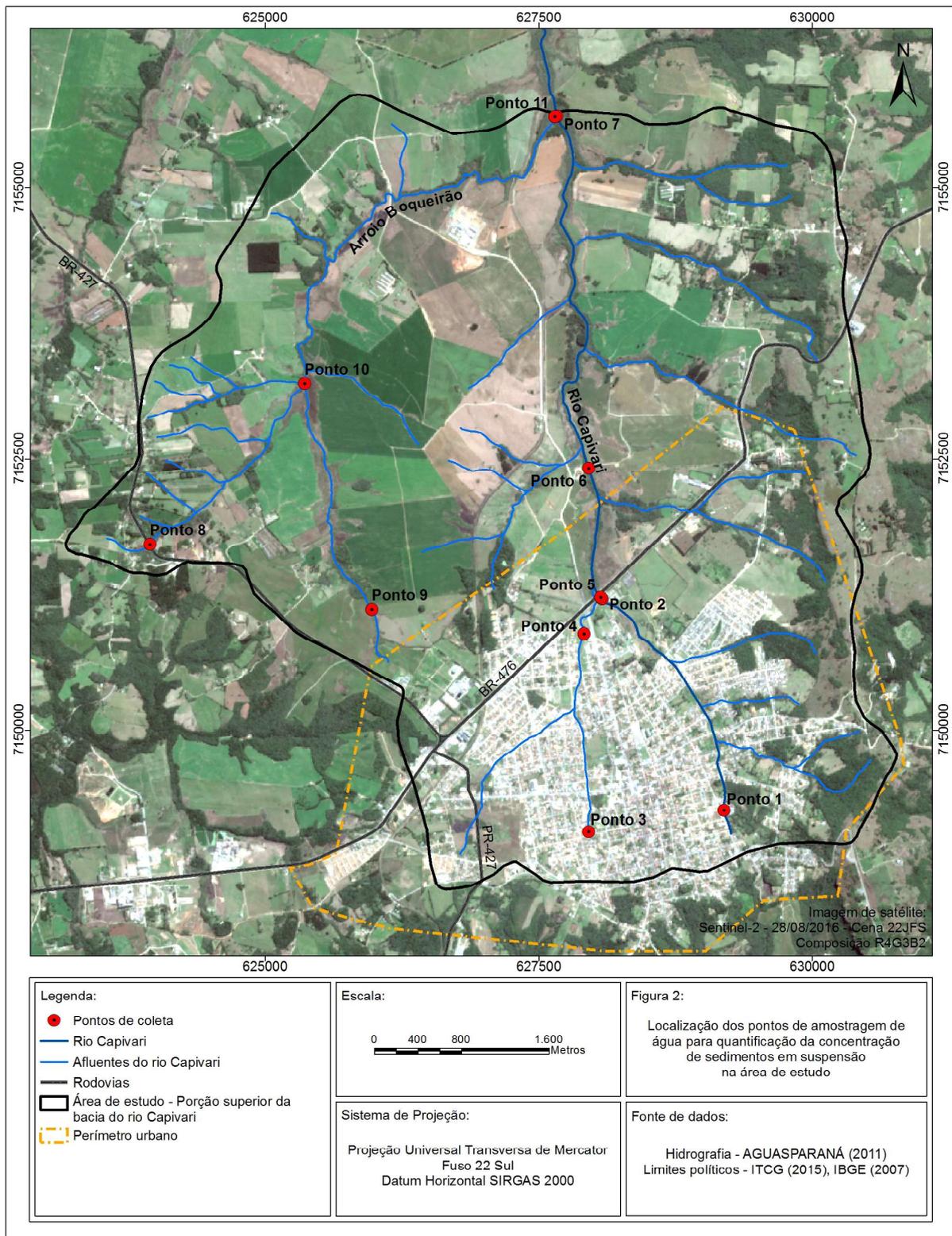


Figura 2 - Localização dos pontos de amostragem de água para quantificação da concentração de sedimentos em suspensão na área de estudo
Fonte: Os autores (2018)

Simultaneamente ao processo de quantificação da concentração de sedimentos em suspensão, foram realizadas as medições dos níveis de turbidez das amostras

coletadas, utilizando para tal o equipamento turbidímetro Hach 2100Q (Figura 3 F). Com o objetivo de aumentar a precisão dos resultados foram realizadas um total de 5

medições para cada amostra e em seguida foi feita a média destas 5 medições para se obter o resultado final do nível de turbidez. A turbidez neste aparelho é medida entre 0,01 e 1000 NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*).

Em seguida, os dados devidamente anotados em laboratório foram transferidos para planilha digital,

onde também foram feitos os cálculos para conversão de unidades. Dessa maneira, o dado coletado efetivamente medido em g/ml foi transformado para mg/l. Para a análise e a correlação da quantificação de sedimentos em suspensão e nível de turbidez foram produzidos gráficos que demonstram a variabilidade dos resultados.



Figura 3 – Equipamentos utilizados para quantificação de sedimentos em suspensão. Fonte: Os autores (2018)

Para a correlação estatística entre os dados de carga sedimentar em suspensão e nível de turbidez, foi realizado o cálculo do coeficiente de correlação linear de Pearson (r). Segundo Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009), o coeficiente de correlação Pearson é uma medida de associação linear entre variáveis e oscila de $r = -1$ a $r = 1$, sendo que, quanto mais próximo de zero o coeficiente, menor a relação linear entre si das variáveis, e, quanto mais próximo de 1 (independente do sinal), maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis.

A correlação com o uso da terra foi feita através de análise da variabilidade espacial dos resultados de carga sedimentar em suspensão e turbidez considerando o uso da terra na porção urbana e na porção rural da área de estudo, conforme o perímetro urbano vigente (LAPA, 2013).

Cabe apontar que o Plano Diretor do município da Lapa foi aprovado em 2003 e em 2009 houve uma alteração na delimitação do perímetro urbano do município. Em 2013 houve a revisão do Plano Diretor com a proposta de uma nova delimitação do perímetro urbano e zoneamento do município (LAPA, 2013), porém, até o momento, o mesmo ainda não foi aprovado na Câmara Municipal, o que torna vigente atualmente a delimitação de 2009.

Para o detalhamento da correlação do uso da terra e carga sedimentar, as áreas de contribuição de cada ponto de coleta foram delimitadas e numa tabela foi apresentado o percentual de cada classe de uso nas onze áreas de contribuição. Dessa forma, a análise espacial possibilitou o detalhamento da influência do uso da terra em cada área de contribuição no resultado de carga sedimentar dos respectivos pontos de coleta.

Uso da Terra na Área de Estudo

Embora uma porção da área de estudo esteja localizada em área urbana (36,5%), a porção situada na área rural da bacia é mais abrangente (63,5%), bem como as atividades que ocorrem neste espaço (Figura 4 e Figura 5).

Na porção urbana da bacia se destacam as edificações (26,6%) e as vias de acesso pavimentadas (6,9%) e não pavimentadas (4,0%). As vias de acesso em bacias hidrográficas atuam como conexões com a rede de drenagem, facilitando o transporte de sedimentos. Na porção urbana da área de estudo pode haver produção e transporte de sedimentos tanto em vias pavimentadas como não pavimentadas, de maneira que os condutos

para escoamento pluvial têm importante contribuição no transporte dos sedimentos produzidos nas vertentes para a rede hidrográfica.

Em razão da delimitação do perímetro urbano abranger áreas com características rurais, a porção urbana da área de estudo apresenta um percentual significativo de usos com características rurais, como áreas de cultura e pastagem (29,6%). As áreas de vegetação natural florestal também são significativas (15,2%), sendo esta classe presente predominantemente na porção leste da área de estudo.

Na porção urbana também são representativas as áreas permeáveis antropizadas (11,3%), caracterizadas por áreas de vegetação gramada, áreas de vegetação de capoeira e de vegetação ruderal (vegetação formada por espécies adaptadas a ambientes alterados pela ação antrópica). São características dessas áreas o alto grau de interferência antrópica e em algumas situações a degradação da vegetação. No entanto, em relação à produção de sedimentos, são áreas que garantem aos solos uma proteção à remoção detrítica, uma vez que favorecem a infiltração da água em função de uma maior cobertura vegetal em relação a áreas com edificações e vias.

Na porção rural, predominam as áreas de cultivo agrícola e pastagem (71,8%), sendo, portanto, a agricultura a atividade econômica mais expressiva da área de estudo em termos de área ocupada. Por envolver diretamente o manejo do solo, a agricultura também é a atividade que tem maior relevância na área de estudo em relação à produção de material detrítico nas vertentes e transporte aos canais fluviais. Nas áreas de pastagem, os fatores que podem acelerar os processos erosivos são o pisoteio do gado, compactando e reduzindo a capacidade de infiltração da água, a formação de sulcos e ravinas em razão do escoamento superficial, assim como o acesso direto do gado aos canais fluviais, o que ocorre na maioria das propriedades da região e facilita a processo de erosão da margem fluvial.

As regiões de vegetação natural florestal da área de estudo (13,0% do total rural) têm importante função de proteção dos canais fluviais. Nota-se, no entanto, que, na maioria das propriedades, a metragem mínima requisitada pela legislação ambiental brasileira não é respeitada, havendo porções onde os canais fluviais não contam com vegetação ripária ou estas são muito pequenas.

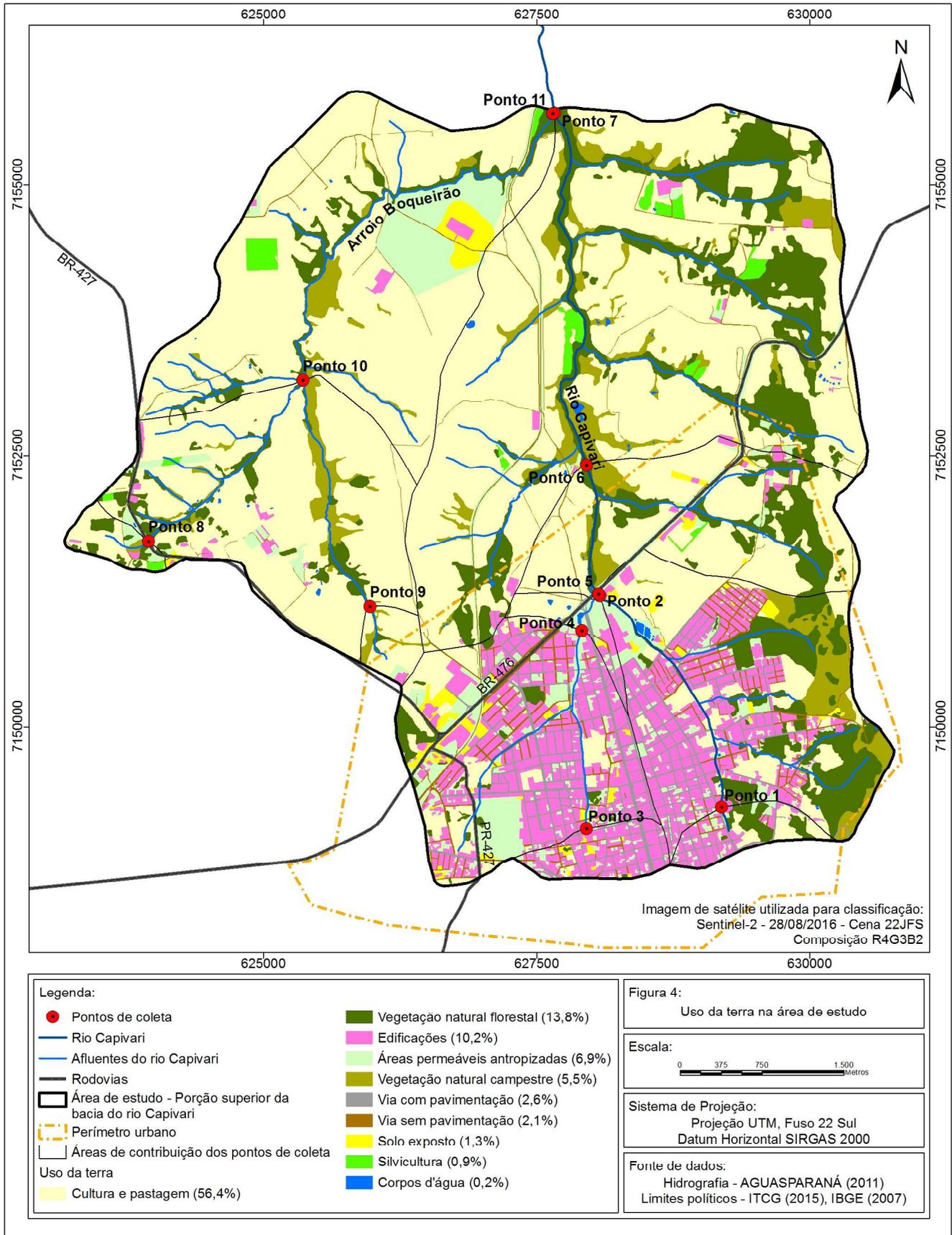


Figura 4 – Uso da terra na área de estudo. Fonte: Os autores (2018)

Uso da terra	Urbano		Rural		Total	
	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)
Cultura e pastagem	408,18	29,6	1.721,81	71,8	2.129,99	56,5
Vegetação natural florestal	209,06	15,2	311,41	13,0	520,47	13,8
Edificações	365,06	26,6	19,31	0,8	384,37	10,2
Áreas permeáveis antropizadas	155,84	11,3	106,38	4,4	262,22	6,9
Vegetação natural campestre	53,72	3,9	152,91	6,4	206,63	5,5
Via com pavimentação	94,52	6,9	5,11	0,2	99,63	2,6
Via sem pavimentação	55,26	4,0	25,01	1,0	80,27	2,1
Solo exposto	30,87	2,2	19,00	0,8	49,87	1,3
Silvicultura	1,21	0,1	32,39	1,4	33,60	0,9
Corpos d'água	3,11	0,2	4,75	0,2	7,86	0,2
Total	1.376,83	100,0	2.398,08	100,0	3.774,91	100,0

Figura 5 – Classes de uso da terra na área de estudo. Fonte: Os autores (2018)

As áreas de vegetação natural florestal estão presentes em maior representatividade na porção leste da área de estudo, tanto na porção urbana como na porção rural, onde o relevo declivoso, o afloramento de rochas e os solos rasos e pedregosos não são propícios ao cultivo agrícola e à expansão urbana. Além disso, nesta porção, incide parte da Área de Preservação Ambiental Estadual da Escarpa Devoniana, a qual estabelece algumas restrições ao uso e ocupação do território, o que contribui para a maior existência de vegetação natural.

Outra classe de uso da terra são as áreas de vegetação natural campestres (5,5% do total da área de estudo), as quais se diferenciam das pastagens, uma vez que preservam as características da formação fitogeográfica de campos naturais.

As vias pavimentadas e não pavimentadas da porção rural da área de estudo (1,2%) são importantes conectoras entre as vertentes e os canais fluviais. Além disso, as vias não pavimentadas ou estradas rurais ainda têm grande potencial de fornecer sedimentos à rede de drenagem, em razão do desprendimento de material detrítico das rochas que são utilizadas para a manutenção das estradas e do processo erosivo nas margens destas, nas áreas de barrancos. Portanto, para Antonelli (2011) e Wemple (1998) elas atuam como fonte na produção de sedimentos.

A análise da proporção das classes de uso da terra conforme as áreas de contribuição dos pontos de coleta (Figura 6) mostra que, de maneira geral, as áreas de contribuição dos Pontos 1 a 7, referentes à bacia do rio Capivari, possuem mais características urbanizadas do que os Pontos 8 a 11, referentes à bacia do arroio

Boqueirão, de características rurais.

Ao se comparar os dois pontos de cabeceira de drenagem da porção urbana da área de estudo (Pontos 1 e 3), é possível visualizar que o Ponto 3 possui características mais urbanizadas que o Ponto 1, uma vez que as áreas de edificação e vias são mais representativas. No Ponto 1 há uma importante presença de classes de uso da terra com características não urbanizadas, como cultura, pastagem e vegetação natural florestal. As áreas permeáveis antropizadas possuem representatividade semelhante para os dois pontos.

Dessa maneira, as áreas de contribuição dos pontos a jusante destes, Pontos 2 e 4 (ambos de médio curso), têm características semelhantes. Na área de contribuição do Ponto 2, há menor representatividade de edificações e vias do que na área de contribuição do Ponto 4, fazendo com que este tenha características mais urbanizadas do que o primeiro. Além disso, na área de contribuição do Ponto 2 há uma importante representatividade de classes como vegetação natural florestal e vegetação natural campestre, o que não ocorre na área de contribuição do Ponto 4.

Em consequência disto, após a confluência dos dois canais de cabeceira da porção urbana, a área de contribuição do Ponto 5 (médio curso) possui uma importante representatividade de classes de características urbanizadas, como edificações e vias. Existe representatividade de classes como vegetação natural florestal, vegetação natural campestre e áreas permeáveis antropizadas, ao passo que classes de características rurais como culturas e pastagens são pouco representativas nesta área de contribuição.

Uso da terra	Pontos de coleta										
	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)	6 (%)	7 (%)	8 (%)	9 (%)	10 (%)	11 (%)
Cultura e pastagem	22,5	21,1	2,1	13,0	18,1	29,2	47,5	53,6	77,3	77,0	75,4
Vegetação natural florestal	21,3	20,8	0,8	3,8	12,5	14,6	16,8	20,4	4,2	8,8	7,4
Edificações	30,5	28,5	60,7	42,9	34,5	26,8	14,4	2,3	2,8	1,7	1,2
Áreas permeáveis antropizadas	11,6	8,3	12,2	18,7	13,6	11,2	6,8	11,3	3,6	3,2	7,2
Vegetação natural campestre	-	8,6	-	-	4,5	4,5	5,7	4,1	11,9	7,2	5,0
Via com pavimentação	12,1	6,7	16,5	11,6	9,0	7,0	3,8	0,9	-	0,6	0,3
Via sem pavimentação	2,0	4,2	4,3	5,9	4,9	4,1	2,7	2,5	0,2	0,5	0,8
Solo exposto	-	1,5	3,3	4,1	2,6	2,3	1,2	0,4	-	0,2	1,5
Silvicultura	-	-	-	-	-	0,1	0,8	4,5	-	0,6	1,1
Corpos d'água	-	0,3	0,1	-	0,3	0,2	0,3	-	-	0,2	0,1
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Área de contribuição (ha)	50	532	55	460	1.024	1.344	2.567	32	32	519	1.208

Figura 6 – Proporção das classes de uso da terra nas áreas de contribuição dos pontos de coleta. Fonte: Os autores (2018)

Na área de contribuição do Ponto 6 (médio curso), classes com características urbanizadas, como edificações e vias, perdem importância (37,9%), uma vez que, mesmo estando praticamente toda dentro do perímetro urbano, há introdução de áreas de características rurais, como áreas de cultivo agrícola e pastagens, as quais juntas representam 29,2% da área de contribuição do Ponto 6. Há ainda um incremento nas áreas de vegetação natural florestal e campestre (19,1%).

A área de contribuição do Ponto 7 (bacia do rio Capivari) segue a mesma dinâmica da área do Ponto 6, ou seja, há uma redução da representatividade das classes de características urbanizadas (20,9%) e aumento da representatividade das classes rurais, como de cultivo agrícola e pastagens (47,5%). Há ainda o aumento da representatividade das classes de vegetação natural florestal e campestre (22,5%).

Em relação à área de contribuição do arroio Boqueirão, ao se comparar os dois pontos de cabeceira desta área, ou seja, os Pontos 8 e 9, é possível visualizar que o Ponto 8 possui uma maior representatividade das classes de vegetação natural florestal e campestre (24,5%) do que o Ponto 9 (16,1%). As classes de características agrícolas, como culturas e pastagens representam 53,6% no Ponto 8 e 77,3% no Ponto 9. Apesar do Ponto 9 estar parcialmente localizado dentro do perímetro urbano, possui características rurais, portanto tanto no Ponto 9 como no Ponto 8, classes como edificações e vias possuem mínima representatividade.

A área de contribuição do Ponto 10 (médio curso)

possui características predominantemente agrícolas, com 77,0% de representatividade da classe de cultura e pastagem. As classes de vegetação natural florestal e vegetação natural campestre correspondem a 16,0% na área de contribuição do Ponto 10.

A bacia do arroio Boqueirão, representada pela área de contribuição do Ponto 11 (baixo curso), possui características semelhantes à área de contribuição do Ponto 10, com 75,4% de representatividade da classe de cultura e pastagem. Já as áreas de vegetação natural florestal e campestre representam 12,4%. Nesta porção há ainda um incremento das áreas permeáveis antropizadas, que correspondem a 7,2% da bacia.

Portanto, ao se comparar a bacia que drena diretamente para o rio Capivari (área de contribuição do Ponto 7) com a bacia do arroio Boqueirão (área de contribuição do Ponto 11), as classes de características agrícolas são menos representativas na primeira bacia (47,5%) do que na segunda bacia (75,4%). Em contrapartida, as classes de características urbanizadas são mais representativas na bacia do rio Capivari (20,9%) do que na bacia do arroio Boqueirão (2,3%).

Carga Sedimentar em Suspensão e Turbidez nas Porções Urbanas e Rurais

A variabilidade nos resultados de carga sedimentar em suspensão e turbidez entre os pontos de coleta evidencia que há disparidades não somente devido às características das redes de drenagem, mas também em razão dos fatores

ambientais existentes na área de contribuição destes pontos e do uso da terra, o que proporciona graus diferenciados de proteção ou susceptibilidade do solo aos processos erosivos. Na Figura 7 é possível visualizar a média de carga sedimentar em suspensão e nível de turbidez dos onze pontos de coleta.

Os resultados analisados também evidenciam a correlação entre a carga sedimentar em suspensão e o nível de turbidez das amostras de água para quantificação de sedimentos. O coeficiente de correlação estatística entre os dois atributos é de $r = 0,951$ (95,1%), resultado este semelhante aos encontrados por Morris e Fan (1997).

Com relação aos pontos de coleta localizados na cabeceira dos cursos hídricos, o Ponto 1 apresentou uma média de carga sedimentar e turbidez abaixo do Ponto 3. Este resultado pode ser explicado pelo uso da terra na área de contribuição do primeiro ponto, onde 44,6% das classes são de característica urbana (edificações e vias), ao passo que no Ponto 3 a contribuição destas classes é de 81,5%. Além disso, a área de contribuição do Ponto 1 conta com 21,3% de vegetação natural florestal, a qual tem função de proteção do solo e da margem dos canais aos processos erosivos, contra apenas 0,8% de representatividade desta classe no Ponto 3.

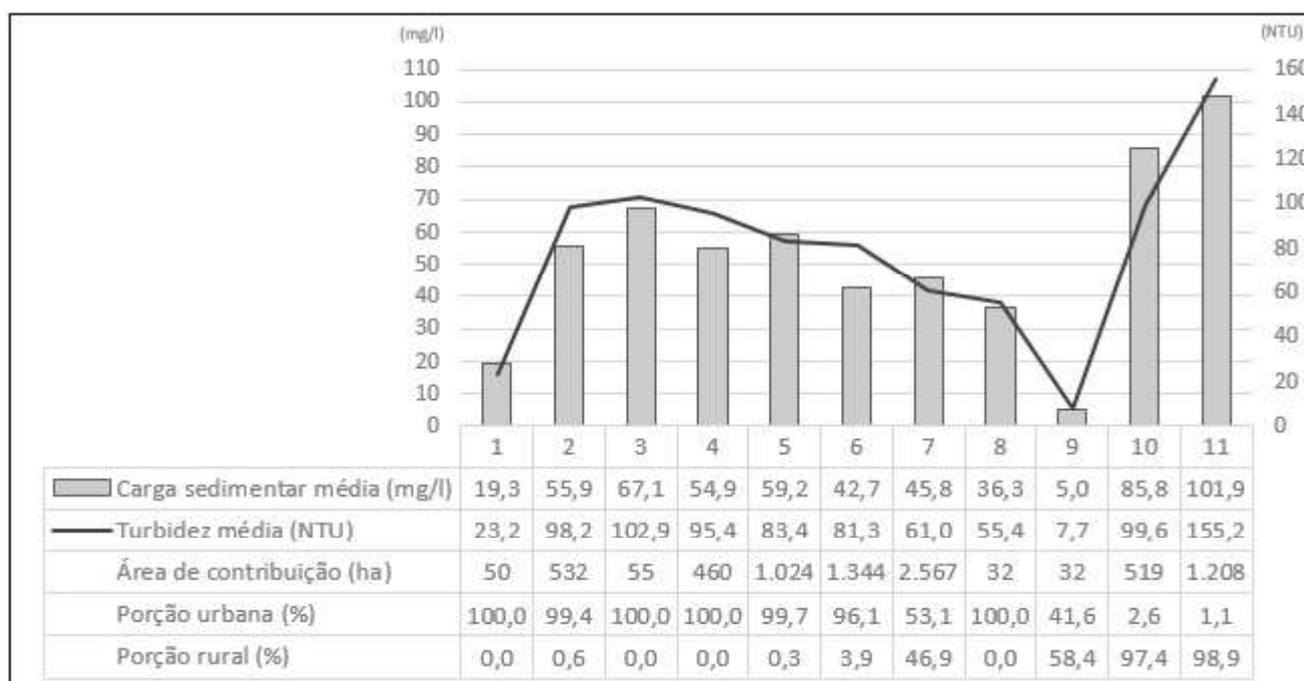


Figura 7 - Média de carga sedimentar em suspensão e turbidez por ponto de coleta. Fonte: Os autores (2018)

Nas cidades, o processo de produção e transporte de sedimentos e as alterações no ciclo hidrossedimentológico podem ocorrer em função das construções de edificações e vias, da presença de solo exposto em terrenos onde ocorre terraplanagem, da presença de condutos para escoamento pluvial, da elevada impermeabilização do solo e da retirada de vegetação das margens dos canais fluviais (TUCCI e COLLISCHONN, 2000; TUCCI, 2003; POLETO, 2007).

O Ponto 3 ainda apresentou um percentual de 3,3% de solo exposto, o que aumenta de forma significativa a susceptibilidade a processos erosivos e produção de sedimentos na bacia hidrográfica, uma vez que o solo

se encontra sem nenhum tipo de proteção, ocasionando assim a remoção de material detritico das vertentes e o transporte aos canais de drenagem.

Nos dois pontos foi identificada a presença de matéria orgânica de lançamento de esgoto de forma direta na rede hidrográfica, porém, no Ponto 3, isto ocorreu com mais frequência do que no Ponto 1. Dessa forma, além do uso da terra identificado e classificado, outros fatores contribuíram para os resultados da carga sedimentar destes pontos.

Quanto aos demais pontos de cabeceira localizados em porções de características rurais, o Ponto 8 apresentou uma média de carga sedimentar maior do

que o Ponto 9, embora o primeiro tenha um percentual de 24,5% de vegetação natural florestal e campestre, classes estas que têm função de proteção aos processos erosivos, e o segundo tenha um percentual de apenas 16,1%. As classes de uso agrícola (culturas e pastagens) são mais representativas no Ponto 9 (77,3%) do que no Ponto 8 (53,6%).

O que explica esta diferença significativa entre a carga sedimentar dos dois pontos é a localização das nascentes dos canais e a presença de vias nas áreas de contribuição. A nascente do trecho do canal do Ponto 8 está localizada numa área de uso agrícola, enquanto a nascente do canal do Ponto 9 está localizada numa área de vegetação natural florestal, e o ponto de coleta, por sua vez, está localizado a aproximadamente 50 metros a jusante desta área, numa porção de vegetação natural campestre (várzea).

Esta localização proporciona uma maior proteção contra processos erosivos, apesar de a área de contribuição do Ponto 9 ter um uso agrícola maior. Resultados semelhantes sobre a importância da vegetação na proteção dos cursos hídricos foram encontrados em outros estudos (D'HAEN, VERSTRAETEN e DEGRYSE, 2012; FOX et al., 2012; SILVEIRA, 2012; USDA, 2016).

Além disso, na área de contribuição do Ponto 8, há mais vias (3,4%), tanto pavimentadas como não pavimentadas, do que na área de contribuição do Ponto 9 (apenas 0,2%). Sendo as vias fluxos de transporte de sedimentos e conectoras entre vertentes e canais fluviais, e possuindo o Ponto 8 duas vias cruzando o canal a montante do ponto da coleta, o resultado maior de carga sedimentar e turbidez deste ponto em relação ao Ponto 9 é justificável. Cunha, Thomaz E Vestena (2013) e Thomaz, Antonelli e Dias (2011) também identificaram a influência das vias na aceleração de processos hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas.

Quanto aos pontos de médio curso, o Ponto 2 apresentou um importante crescimento de carga sedimentar e turbidez em relação ao Ponto 1, o que evidencia uma importante produção de sedimentos ocorrendo nesta área de contribuição, a qual está totalmente localizada no perímetro urbano e possui 39,4% de sua área composta de edificações e vias.

Já entre os Pontos 3 (cabecera) e 4 (médio curso), houve um pequeno decréscimo de carga sedimentar e de turbidez, o que pode ser explicado pela presença de

matéria orgânica, a qual tem a capacidade de depuração na água, fazendo com que ao longo do canal até chegar ao Ponto 4, parte desta já tenha sido diluída. Na área de contribuição do Ponto 4, as edificações e vias perdem representatividade em relação à área do Ponto 3 e outros usos têm um pequeno crescimento, como vegetação natural e uso agrícola.

Após a confluência dos dois trechos urbanos principais, representados pelos Pontos 1 a 4, o Ponto 5 apresentou um pequeno aumento de carga sedimentar em suspensão e turbidez em relação aos pontos a montante, o que pode ter ocorrido em razão do aumento da área de contribuição e pela importante influência da rodovia. Do Ponto 1 (cabecera) até o Ponto 5 (médio curso) houve um aumento de 206,3% na carga sedimentar em suspensão e de 259,6% na turbidez. Já do Ponto 3 (cabecera) para o Ponto 5 houve uma queda de 11,8% da carga sedimentar e de 18,9% na turbidez.

Quanto ao ponto de coleta de médio curso na porção rural (Ponto 10), a taxa de aumento de carga sedimentar em suspensão do Ponto 8 (cabecera) ao Ponto 10 foi de 136,1% e a de turbidez foi de 79,9%. Já a taxa de aumento entre o Ponto 9 (cabecera) e o Ponto 10 foi de 1.616,0% para carga sedimentar e 1.198,3% para turbidez. Portanto, o aumento na produção e transporte de sedimentos na porção rural foi significativamente maior do que na porção urbana.

Dessa maneira, há fortes indícios de que a carga sedimentar do Ponto 10 esteja relacionada com a grande representatividade do uso agrícola na sua área de contribuição (cultura e pastagem) (77,0%). Além disso, as áreas de preservação permanente dos canais fluviais e de seus afluentes não são sempre respeitadas (Figura 4), principalmente no trecho entre os Pontos 8-10, onde diversos afluentes estão localizados em áreas de cultura agrícola e pastagem. Já no trecho entre os Pontos 9-10 há uma maior proteção do canal em função da presença de área de preservação permanente, seja por vegetação natural florestal ou vegetação natural campestre.

Portanto, o principal contribuinte de carga sedimentar da porção urbana é o trecho entre o Ponto 3 e o Ponto 5, onde foram encontrados resultados mais altos do que o trecho entre o Ponto 1 e 5. Já na porção rural, o canal com maior contribuição de carga sedimentar é o trecho entre os Pontos 8 e 10, onde foram constatados resultados mais altos de carga sedimentar em relação ao trecho entre os Pontos 9 e 10.

Do ponto 5 ao Ponto 6 (médio curso) houve um decréscimo na carga sedimentar média em suspensão e na turbidez média. Esta redução pode ocorrer em função de três processos, sendo que o primeiro é a diluição de parte da matéria orgânica da porção urbana até a chegada neste ponto de coleta. O segundo é a reduzida vazão neste trecho, a qual permite a deposição de sedimentos mais grosseiros, conforme apontado por Christofolletti (1981).

O terceiro processo consiste na contribuição do afluente da margem direita do rio Capivari, o qual possui área de preservação na maior parte do seu trecho e é, portanto, um canal que tende a ter uma carga sedimentar mais baixa se comparado a outro que não tenha essa proteção. Assim, ao receber esta contribuição de água do seu afluente, o rio Capivari tem o volume d'água aumentado, ao passo que o volume de sedimentos não aumenta proporcionalmente, o que acaba reduzindo a carga sedimentar em suspensão.

O Ponto 7 (baixo curso) apresentou um leve aumento na carga sedimentar em suspensão em relação ao Ponto 6, no entanto em relação ao Ponto 5 apresentou decréscimo. Portanto, o ponto de coleta de baixo curso na bacia do Capivari não apresentou a maior média de carga sedimentar e turbidez, como ocorreu com a bacia do arroio Boqueirão. Este resultado pode ser explicado pelos mesmos processos ocorridos no Ponto 6, ou seja, a diluição da matéria orgânica da porção urbana, a contribuição dos afluentes e a deposição de sedimentos grosseiros em função da vazão.

Quanto ao ponto de coleta de baixo curso da bacia do arroio Boqueirão (Ponto 11), este apresentou a maior média de carga sedimentar em suspensão e de turbidez na área de estudo no período analisado. Enquanto a média de carga sedimentar do Ponto 7 foi de 45,8 mg/l, a média do Ponto 11 foi de 101,9 mg/l, resultado este ocorrido apesar de a bacia do rio Capivari ser maior do que a bacia do arroio Boqueirão.

Do Ponto 10 (médio curso) ao Ponto 11 houve um aumento de carga sedimentar em suspensão e turbidez menor do que o aumento da cabeceira (Pontos 8 e 9) até o médio curso. No trecho entre os Pontos 10 e 11 há mais área de preservação permanente do curso hídrico do que entre o trecho entre os pontos 8 e 10 (Figura 4), o que pode explicar este resultado.

A disparidade dos resultados entre os pontos 7 e 11 pode ser explicada pela influência do uso da terra.

Na área de contribuição do Ponto 7, há a interferência da porção urbana do município, enquanto a área de contribuição do Ponto 11 possui características predominantemente rurais. Na primeira há uma maior representatividade de classes com características urbanizadas, como edificações e vias (20,9%), enquanto que na segunda essa representatividade é de apenas 2,3%.

Apesar de a área de contribuição do Ponto 7 possuir uma proporção de vias, tanto pavimentadas como não pavimentadas, maior do que a área de contribuição do Ponto 11, na segunda as estradas rurais estão mais próximas aos rios, sendo que, em vários locais, cruzam tanto o arroio Boqueirão como seus afluentes. Já no rio Capivari, a partir do Ponto 6 não há mais estradas rurais que o influenciam e possam fazer a conexão entre vertente e curso hídrico e acelerar o transporte de sedimentos.

Quanto à atividade agrícola, 47,5% da área de contribuição do Ponto 7 é de culturas e pastagens, enquanto na área de contribuição do Ponto 11 essa classe representa 75,4% do total, evidenciando que, na segunda bacia, a atividade agrícola possui uma maior importância do que na primeira.

Dessa maneira, apesar da adoção pela maioria dos produtores rurais de práticas conservacionistas como plantio direto sobre palhada, os resultados mostram que a falta de adesão a outras medidas conservacionistas, como o plantio em nível, pode estar contribuindo para os resultados de carga sedimentar em suspensão obtidos. O plantio realizado desconsiderando as características topográficas das vertentes pode acelerar os processos erosivos uma vez que contribui para o aumento do escoamento superficial.

Merten e Minella (2002) e Minella e Merten (2011) apontaram a influência do manejo inadequado do solo nos processos erosivos. Minella et al. (2015) identificaram taxas de escoamento superficial e perda de água significativamente menores em encostas com plantio direto com práticas mecânicas de controle do escoamento superficial (terraços) em comparação a encostas com plantio direto sem o terraceamento.

A área de contribuição do Ponto 7 possui uma representatividade maior de classes com a função de proteção, como vegetação natural florestal e campestre, sendo que 22,5% da bacia é composta por esses tipos de vegetação, contra somente 12,4% na área de contribuição

do Ponto 11. Além disso, a maior parte do rio Capivari e dos seus afluentes possuem área de preservação permanente nas suas margens, principalmente os afluentes da porção leste da bacia, onde, por sua vez, incide parte da Área de Proteção Ambiental da Escarpa Devoniana, enquanto na área de contribuição do Ponto 11 há trechos onde não há área de preservação permanente ou a largura destas é muito pequena (Figura 4).

Conclusões

Parte da área de estudo está localizada em porção urbana e parte está localizada em porção rural. De maneira geral, as áreas de cultura e pastagem representam 56,5%. As áreas de vegetação natural florestal e campestre representam juntas 19,3% e as edificações e vias representam juntas 14,9%. Na porção urbana a classe de edificações predomina e na porção rural a classe de cultura e pastagem possui maior importância. Dessa forma, as porções urbanas e rurais possuem dinâmicas diferentes de uso da terra repercutindo assim na susceptibilidade a processos erosivos.

As áreas de contribuição do rio Capivari têm uma maior influência de classes de uso urbanizado, como edificações e vias, do que as do arroio Boqueirão. Esta segunda, no entanto, possui uma maior influência das classes de características agrícolas do que a primeira. Quanto à vegetação natural florestal e campestre, a área de contribuição do rio Capivari possui um maior índice de áreas preservadas do que a área de contribuição do arroio Boqueirão, tanto identificadas como remanescentes florestais como vegetação ripária, o que confere uma maior proteção aos canais, mesmo havendo a influência urbana na bacia.

Os resultados de carga sedimentar em suspensão e turbidez obtidos evidenciam a heterogeneidade quanto à produção de sedimentos na área de estudo em razão das grandes variações de uso da terra entre os pontos.

O uso da terra e as características da rede hidrográfica interferiram nos resultados da carga sedimentar em suspensão e turbidez das coletas. Foram identificadas semelhanças e divergências em alguns pontos quanto à dinâmica da produção de sedimentos de acordo com a posição no canal fluvial, como por exemplo os pontos de cabeceira e os pontos de médio e baixo curso.

Foi identificada a influência das estradas rurais em

pontos específicos, principalmente na bacia hidrográfica do arroio Boqueirão, as quais assumem papel de conexão entre vertente/canal fluvial, acelerando assim o processo de transporte de sedimentos. Além disso, outra especificidade identificada foi a influência do lançamento de efluente doméstico na rede de drenagem sem o devido tratamento nos pontos de coleta localizados na porção urbana, o que foi evidenciado pela coloração das membranas filtradas e pelos altos resultados de carga sedimentar em pontos de cabeceira, os quais tendem a apresentar baixa carga sedimentar se protegidos.

A variabilidade nos resultados de carga sedimentar em suspensão e turbidez entre os pontos de coleta evidenciou que existe influência do uso da terra da bacia, além das características da rede de drenagem. Dentre os pontos de coleta de cabeceira (Pontos 1, 3, 8 e 9), foi evidenciada a importância da proteção dos canais fluviais através da vegetação natural, uma vez que os canais que apresentaram maiores faixas de proteção de vegetação ripária (Pontos 1 e 9) apresentaram menor carga sedimentar e turbidez do que os demais de cabeceira. Além disso, foi identificada a influência do lançamento de esgoto nos pontos da porção urbana (1 e 3) e a influência das vias no resultado do Ponto 8.

Quanto aos pontos de médio curso, na porção urbana, houve a redução da carga sedimentar nestes em relação aos pontos a montante, em função da possível diluição da matéria orgânica. Na área rural a tendência foi o aumento da carga sedimentar em direção a jusante, em razão principalmente do uso agrícola na porção rural, além da ausência de vegetação ripária em alguns trechos.

Em relação aos pontos de baixo curso, o Ponto 7 (bacia do rio Capivari) apresentou uma média de carga sedimentar de 47,1 mg/l, enquanto o Ponto 11 (bacia do arroio Boqueirão) apresentou uma média de 103,8 mg/l, diferença esta que pode ser explicada pela influência do uso da terra. A área de contribuição do Ponto 7 possui influência urbana, com maior representatividade de classes como edificações e vias. Já a área de contribuição do Ponto 11 possui características predominantemente rurais, com 75,4% da sua área destinada à atividade agrícola e pecuária. Dessa maneira, apesar da adoção de práticas conservacionistas, há forte evidência de que este tipo de atividade contribuiu de maneira importante para a produção de sedimentos na área de estudo.

A área de contribuição do Ponto 7 possui uma representatividade maior de classes com a função

de proteção dos solos, tais como vegetação natural florestal e campestre, do que a área de contribuição do Ponto 11. Isso ocorre principalmente na porção leste, onde estão presentes os afloramentos do Arenito Lapa, o qual tem uma menor fragilidade à erosão do que as rochas do restante da área de estudo, fator este que pode ter contribuído para os resultados de menor carga sedimentar na área de contribuição do Ponto 7.

Além disso, na área de contribuição do Ponto 11, as estradas rurais estão mais próximas e cruzam os rios em diferentes locais, o que pode ter contribuído para os maiores resultados de carga sedimentar nesta porção. Portanto, apesar da porção urbana da área de estudo apresentar também potencial de produção de sedimentos, a porção rural desta apresentou os maiores resultados de carga sedimentar, o que denota a importância da adoção de outras medidas conservacionistas na atividade agrícola, além do plantio direto.

Dessa forma, as áreas de contribuição que apresentaram maior carga sedimentar em suspensão e turbidez na área de estudo são representadas por classes de uso da terra de características agrícolas.

Os resultados apontaram a importância da vegetação natural florestal e campestre para proteção dos canais fluviais, seja como efeito tampão através de vegetação ripária ou através do efeito de cobertura do solo pelos remanescentes florestais.

As porções urbanas e rurais têm potencial de produção de sedimentos, no entanto na porção rural este processo ocorre com maior intensidade em razão das atividades agrícolas, as quais favorecem de modo mais acentuado os processos erosivos do que as atividades urbanas, caracterizadas por predomínio de áreas impermeáveis.

Portanto, os resultados obtidos mostraram que intervenções antrópicas de caráter urbano e rural existentes na porção superior da bacia hidrográfica do rio Capivari, representadas pelo uso da terra, influenciam de modo distinto a quantidade e concentração de sedimentos em suspensão no canal fluvial, uma vez que os diferentes usos da terra podem acelerar os processos de remoção e transporte de partículas das vertentes.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Universidade Federal

do Paraná pelo apoio técnico e financeiro.

À Luciane Lemos, servidora técnica do Laboratório de Engenharia Ambiental (LABEAM) da Universidade Federal do Paraná, pela disponibilidade e auxílio na etapa de análise laboratorial.

Referências Bibliográficas

ANTONELLI, V. **Dinâmica do uso da terra e produção de sedimentos em diferentes áreas fontes na bacia hidrográfica do arroio Boa Vista – Guarimiranga-PR**. Tese (Doutorado em Geografia). Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2011. 354p.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial: Volume 1 - O canal fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981. 314 p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 236 p.

CUNHA, M. C. da; THOMAZ, E. L.; VESTENA, L. R. Medidas de controle de erosão em estradas rurais na bacia do rio das Pedras, Guarapuava-PR. **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 1, p. 107-118, 2013.

D'HAEN, K.; VERSTRAETEN, G.; DEGRYSE, P. Fingerprinting historical fluvial sediment fluxes. **Progress in Physical Geography**, v. 36, n. 2, p. 154-186, 2012.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. da. Desvendando os Mistérios do

Coefficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

FOX, D. M.; WITZ, E.; BLANC, V.; SOULIÉ, C.; PENALVER-NAVARRO, M.; DERVIEUX, A. A case study of land cover change (1950-2003) and runoff in a Mediterranean catchment. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 810-821, 2012.

LAPA. Prefeitura Municipal da Lapa. **Revisão da Legislação do Plano Diretor Municipal da Lapa**. Lapa: Prefeitura Municipal, 2013.

MELO, U.; SUMMERHAYES, C. P.; TONER, L. G. Metodologia para o estudo do material em suspensão na água do mar. **Boletim Técnico da Petrobrás**, v. 18, n. 3-4, 1975.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura.

- Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002.
- MINELLA, J. P.; MERTEN, G. H. Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão. **Ciência Rural**, v. 41, n. 3, p. 424-432, 2011.
- MINELLA, J. P. G.; BARROS, C. A. P. de.; DIDONE, E. J.; LONDERO, A. L.; RAMON, R.; SCHLESNER, A.; DEUSCHLE, D.; SCHNEIDER, F. J. A.; CANALE, T.; MERTEN, G. H. (2015). Dinâmica da erosão na escala de bacia hidrográfica: Uma experiência de pesquisa no Estado do Rio Grande do Sul. In TIECHER, T. (org.). **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no Sul do Brasil: contextualizando as atividades agropecuárias e os problemas erosivos**. URI, Frederico Westphalen: p. 69-121.
- MORRIS, G. L.; FAN, J. **Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use**. New York: McGraw-Hill, 1997.
- OLIVEIRA, F. A. de. **Estudo do aporte sedimentar em suspensão na Baía da Babitonga sob a ótica da Geomorfologia**. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007. 286 p.
- POLETO, C. **Fontes potenciais e qualidade dos sedimentos fluviais em suspensão em ambiente urbano**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2007. 159 p.
- SILVEIRA, A. L. L. da. (2012). Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4 ed. Editora da UFRGS/ABRH, Porto Alegre: p. 35-51.
- THOMAZ, E. L.; ANTONELI, V.; DIAS, A. Estimativa de proveniência de sedimento em cabeceira de drenagem com alta densidade de estradas rurais não pavimentadas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 2, p. 25-37, 2011.
- TUCCI, C. E. M. (2003). Inundações e drenagem urbana. In TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (org.). **Inundações urbanas na América do Sul**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, Porto Alegre: p. 45-141.
- TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. (2000). Drenagem urbana e controle de erosão. In TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. da M. M. (org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. EDUFRGS, Porto Alegre.
- USDA – Natural Resources Conservation Service. Disponível em: <http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_MEDIA/nrcs143_024824.jpg>. Acesso em 3 set. 2016.
- WEMPLE, B. C. **Investigations of runoff and sediment production from forest roads in western Oregon**. PhD dissertation. Oregon State University, Corvallis, OR, 1998.