

GUSTAVO TOLEDO PERETTO

**ESTRADAS RURAIS SEM PAVIMENTAÇÃO COMO ELEMENTO DE
CONECTIVIDADE NA TRANSFERÊNCIA DE SEDIMENTO E ÁGUA EM
CABECEIRAS DE DRENAGENS EM GUARAPUAVA - PR**

Guarapuava, 2014

GUSTAVO TOLEDO PERETTO

**ESTRADAS RURAIS SEM PAVIMENTAÇÃO COMO ELEMENTO DE
CONECTIVIDADE NA TRANSFERÊNCIA DE SEDIMENTO E ÁGUA EM
CABECEIRAS DE DRENAGENS EM GUARAPUAVA - PR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Geografia (Área de Concentração: Dinâmica da Paisagem e dos Espaços Rurais e Urbanos).

Orientador: Prof. Dr. Edivaldo Lopes Thomaz

Guarapuava, 2014

Catálogo na Publicação
Biblioteca Central da Unicentro, Campus Cedeteg

P437e Peretto, Gustavo Toledo
Estradas rurais sem pavimentação como elemento de conectividade na transferência de sedimento e água em cabeceiras de drenagens em Guarapuava - PR / Gustavo Toledo Peretto. -- Guarapuava, 2013
xv, 78 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração em Dinâmica da Paisagem e dos Espaços Rurais e Urbanos, 2013

Orientador: Edivaldo Lopes Thomaz

Banca examinadora: Leandro Redin Vestena, Silvia Méri Carvalho

Bibliografia

1. Geografia. 2. Concentração de sedimento suspenso. 3. Cabeceira de drenagem. 4. Monitoramento. 5. Vazão. I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Geografia.

CDD 625.734

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe: Yvonne de Toledo Peretto

Pelo apoio e compreensão em todos os momentos...

AGRADECIMENTOS

Agradeço minha mãe, pelo apoio e o incentivo a continuar a seguir em frente nos meus objetivos;

A UNICENTRO/ Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Curso de Pós-Graduação em Geografia, e ao secretário do mestrado Alceu Harmatiuk;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro;

Ao professor Edivaldo Lopes Thomaz, por ter me aceitado como orientando, pelo apoio, orientações, compreensão e pela amizade;

Ao meu amigo Thiago Henrique Valério Pereira, por ter me incentivado a prestar e vir a fazer o mestrado na UNICENTRO e por me ter apresentado o professor Edivaldo, que me orientou;

Agradeço ao meu amigo de mestrado, João Anésio Bednarz, pelo apoio e pela ajuda para realizar as instalações dos equipamentos em campo;

Aos colegas de graduação e outros que já se formaram, pela ajuda em campo para instalar os equipamentos e realizar algumas coletas, Edivaldo Geffer, Gustavo Krüger Barreto, Tatiane Wouk e Willian Tosetto;

Aos amigos e familiares que sempre me apoiaram e de uma forma ou de outra contribuíram com este trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo.....	15
Figura 2: Esquema do balanço hidrológico: onde P = Precipitação; E = Evaporação, T = Transpiração; R = escoamento superficial, F = Infiltração, B = Percolação e S = Água subterrânea.....	17
Figura 3: Barranco formado pelo rebaixamento do leito da estrada principal ocasionada por práticas de manutenções que visam à raspagem do leito da estrada e a retirada do material da mesma.....	21
Figura 4: Ângulos das faces de barrancos.....	22
Figura 5: Localização dos pontos monitorados com as calhas, pluviômetros e as estradas rurais.....	28
Figura 6: Croqui da dinâmica da transferência do escoamento superficial nas estradas para os canais fluviais e pontos monitorados, onde a calha 1 é a montante e a calha 2 é a jusante da contribuição do escoamento superficial da estrada secundária (juntamente com a estrada abandonada e carreador em propriedade particular). As calhas 2 e 3 são a montante e a calha 4 a jusante da estrada principal. As setas mostram a direção dos fluxos das águas superficiais e a localização dos pluviômetros.....	29
Figura 7: Equipamentos instalados no ponto 1, A esquerda o Amostrador de Nível Ascendente, mais ao fundo a direita a Régua Fluviométrica de Máxima Vazão e ao fundo a Calha Parshall.....	30
Figura 8: Estrada principal sobrepondo o canal fluvial. Na imagem observa-se que o canal fluvial passa por debaixo da estrada, através de uma manilha e encontra com outro canal fluvial que percorre ao lado da estrada.....	31
Figura 9: Sistema de drenagem na estrada secundária adotados conjuntamente, lombada e bigode e, direção do fluxo do escoamento superficial gerado no leito da estrada.....	32
Figura 10: Estrada principal localizada ao lado do canal fluvial, sem ocorrência de barrancos entre elas.....	33
Figura 11: Localização das áreas de contribuição das estradas e da declividade da bacia.....	35
Figura 12: Localização dos setores das estradas.....	36
Figura 13: A: Clinômetro de mão/visual usado para mensurar a inclinação das estradas. B: Quadro de estimativa para mensurar a porcentagem de terra, seixo e vegetação que compõem o leito das estradas.....	37

Figura 14: Vista lateral e vista da parte superior da Calha Parshall.....	39
Figura 15: Amostrador de Nível Ascendente construído e instalado no canal que se procedeu o monitoramento.....	40
Figura 16: Comportamento da Régua Fluviométrica de Máxima ao pico de cheia.....	43
Figura 17: A - pluviômetro da Estação Hidrossedimentológica do Rio Guabiroba. B – pluviômetro elaborado de garrafa pet, localizado perto da calha 04. C – pluviômetro digital localizado perto da estação hidrossedimentológica do rio Guabiroba.....	44
Figura 18: Setores das estradas que foram feitas as caracterizações.....	48
Figura 19: Formação de sulco no leito da estrada secundária.....	51
Figura 20: Gráficos da contribuição de sedimento suspenso na ascensão da vazão do canal fluvial, proporcionada pela estrada Secundária (ES). (* precipitação do evento).....	56
Figura 21: Gráficos da contribuição de sedimento suspenso na ascensão da vazão do canal fluvial, proporcionada pela estrada Secundária (ES).....	57
Figura 22: Gráficos da contribuição de sedimento suspenso na ascensão da vazão do canal fluvial, proporcionada pela estrada Principal (E. P.).....	59
Figura 23: Gráficos da contribuição de sedimento suspenso na ascensão da vazão do canal fluvial, proporcionada pela estrada Principal (EP).....	60
Figura 24: Comparação (montante e jusante) entre a contribuição de sedimento suspenso da estrada secundária nos dois períodos, estiagem e sucedido de chuva.....	64
Figura 25: Comparação (montante e jusante) entre a contribuição de sedimento suspenso da Estrada Principal nos dois períodos, estiagem e sucedido de chuva..	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Vazões correspondentes ao momento que os sifões dos amostradores fazem as coletas da mistura água/sedimento.....	41
Tabela 2: Exemplo de como se obteve o aumento de vazão durante um evento de chuva proporcionado pelas estradas rurais.....	46
Tabela 3: Exemplo de como se obteve a variação da concentração de sedimento suspenso proporcionado pelas estradas rurais.....	47
Tabela 4: Dados das características físicas da estrada Principal.....	49
Tabela 5: Dados das características físicas da estrada Secundária..	50
Tabela 6: Dados das características físicas da estrada Abandonada.....	52
Tabela 7: Dados das características físicas do carreador em propriedade Particular.....	53
Tabela 8: Estatística descritiva dos dados de sedimento suspenso proporcionado pela estrada secundária em período de estiagem (montante e jusante).....	62
Tabela 9: Estatística descritiva dos dados de sedimento suspenso proporcionado pela estrada secundária em período sucedido de chuva (montante e jusante).....	62
Tabela 10: Estatística descritiva dos dados de sedimento suspenso proporcionado pela estrada principal em período de estiagem (montante e jusante).....	64
Tabela 11: Estatística descritiva dos dados de sedimento suspenso proporcionado pela estrada principal em período sucedido de chuva (montante e jusante).....	65

RESUMO

As estradas rurais sem pavimentação, quando não apresentam sistemas de drenagens eficientes, se tornam elementos de conectividade na transferência de sedimento e água para canais fluviais, ocorrendo variações da concentração de sedimento suspenso e aumento de vazão nos canais durante evento pluvial. Este trabalho avaliou a contribuição de diferentes estradas, estrada principal e estrada secundária, na Concentração de Sedimento Suspenso e Vazão, em canais de segunda e terceira ordem, a montante e a jusante do cruzamento estrada/rio, avaliando o papel das chuvas consecutivas e períodos de estiagem e relacionando os com as características físicas das estradas, para compreender a dinâmica hidrossedimentológica que ocorrem nas mesmas. Os resultados mostraram que as características do leito e o uso da estrada estão relacionados com maior ou menor produção/disponibilidade de sedimento, o qual será transportado durante as precipitações e, que em período de estiagem a estrada produz/disponibiliza quantidades superiores de sedimento que em períodos que ocorre sucessivas chuvas. As estradas rurais presentes na cabeceira de drenagem bacia do Rio Guabiroba, Guarapuava – PR, contribuíram com até 40% de aumento da vazão no canal fluvial durante o período monitorado.

Palavras – chave: Concentração de Sedimento Suspenso; Cabeceira de Drenagem; Monitoramento; Vazão.

ABSTRACT

The unpaved roads, when they do not present efficient drainage systems, become connectivity elements in the transmission of sediment and water to river channels, occurring variations in the suspended-sediment concentration and flow increase in the channels during rainfall event. This study evaluated the contribution of different roads, main road and secondary road, in the Suspended-Sediment Concentration and Flow, in first- and second- order streams, upstream and downstream of the road/river crossing, evaluating the role of the consecutive rainfalls and periods of drought and relating them to the roads physical characteristics, to understand the hydrosedimentological dynamics that occurs in these same roads. The results showed that the characteristics of the bed and the use of the road are related to greater or lesser production/availability of sediment, which will be transported during rainfall, and that in drought period the road produces / provides greater amounts of sediment than in periods which successive rainfalls take place. Rural roads presented at the headwater drainage basin of Guabiroba River, Guarapuava - PR, have contributed to up 40% of increase in flow in the river channel during the monitored period.

Key – words: Suspended-Sediment Concentration; Headwater Drainage; Monitoring; Flow.

SUMÁRIO

Introdução	11
1. Fundamentação teórica	16
1.1 Dinâmica hidrossedimentológica em bacia de drenagem.....	16
1.2 Uso da terra e perda de solo.....	18
1.3 Dinâmica de produção de sedimento em barrancos de estradas rurais sem pavimentação.....	20
1.4 Estradas rurais sem pavimentação como elementos de conectividade e de transferência de sedimento da vertente para o canal fluvial.....	23
1.5 Transporte de sedimento em sistema fluvial.....	25
2. Materiais e métodos	27
2.1 Monitoramento do escoamento superficial e transferência de sedimento.....	27
2.2 Sobreposição estradas/canais fluviais.....	31
2.3 Características das estradas rurais nos pontos monitorados.....	33
2.4 Procedimento de monitoramento do escoamento superficial e a transferência de sedimento das estradas para o canal fluvial.....	38
3. Resultados e Discussões	48
3.1 Caracterização física das estradas rurais sem pavimentação.....	48
3.2 Análise da transferência de sedimento suspenso do leito das estradas para os canais fluviais em função da ascensão da vazão nos canais fluviais.....	55
3.3 Análise de sedimento suspenso proporcionado pela estrada secundária em período de estiagem e antecedido de chuva.....	61
3.4 Análise de sedimento suspenso proporcionado pela estrada principal em período de estiagem e antecedido de chuva.....	64
3.5 Contribuição de sedimento suspenso e aumento de vazão causada pelas estradas.....	67
3.6 Tipos de manejos adotados para conservação/manutenção das estradas rurais sem pavimentação.....	68
Considerações Finais	70
Referências bibliográficas	72

Introdução

Os estudos ambientais visam o entendimento das relações das sociedades com o meio biofísico em que elas estão inseridas, objetivando as análises das sociedades com seus modos de produção, padrões sócio-culturais, consumo e da forma como se apropriam dos recursos naturais. Esses estudos são úteis para atingir diagnósticos ambientais mais apropriados, tornando possíveis elaborações de prognósticos aplicáveis ao planejamento (ROSS, 2003).

Entre esses estudos estão aqueles com foco nas estradas rurais sem pavimentação, tanto a sua relação socioeconômica, como a ambiental. Esta última, por exemplo, estuda seus efeitos nas paisagens rurais como sendo uma das principais formas de conectividade entre vertente e canal fluvial, presente nas bacias de drenagens.

Contudo, ainda são poucos os estudos no Brasil que enfocam a produção, transporte e transferência de sedimento nas estradas rurais sem pavimentação, sendo que as estradas devem ser levadas em conta nos estudos de conservação de mananciais e solo nas bacias hidrográficas rurais, pois as mesmas são uma das principais fontes que produzem e transferem sedimentos nas bacias de drenagem (THOMAZ et al., 2011).

As estradas rurais, em sua maioria, não contêm pavimentação asfáltica, mas desempenham importante papel na organização da economia local: elas são elementos presentes nas paisagens rurais, sendo imprescindíveis para os fluxos de pessoas, mercadorias, automóveis etc. (CUNHA, 2010), o que permite o desenvolvimento das comunidades por elas envolvidas, melhorando a qualidade de vida das populações residentes nesses locais (BAESSO e GONÇALVES, 2003).

As estradas aqui são entendidas como elementos geográficos presentes nas paisagens rurais; são definidas como faixas de terreno com características adequadas para permitir o deslocamento de pessoas e veículos (CUNHA, 2010). Elas devem cumprir com sua função, que é ter condições de trafegabilidade em quaisquer condições climáticas. No entanto, se forem mal planejadas e construídas, elas transformam-se em “canais efêmeros”, apresentando escoamento superficial durante os eventos pluviais, ampliando a conexão vertente/canal, já que sua superfície é de solo compactado e conseqüentemente tem baixa infiltração (THOMAZ et al., 2010, 2011).

Para Berthomier (1961) o tráfego de automóveis, caminhões, caminhonetes, ônibus e tratores são considerados as variáveis que mais representam ameaças de

desgaste do leito das estradas rurais. Juntamente com as ações das intempéries, tais variáveis fazem com que ocorram distúrbios no leito dessas estradas, dificultando seu uso.

A erosão, o transporte e a transferência de sedimentos, ocasionadas por estradas, são consideradas de grande importância em termos de degradação ambiental. No entanto, a perda de solo é somente o primeiro impacto, que influencia e ocasiona outros impactos decorrentes da erosão e da transferência de sedimentos para os cursos d'água – sua destinação final. Isto é, as estradas são facilitadoras para ocorrer transporte de sedimentos, resíduos de agroquímicos, adubos entre outros elementos, os quais irão alterar fisicamente o canal (assoreamento) e as características físicas e químicas das águas (THOMAZ et al., 2010).

As estradas sem pavimentação ganharam a reputação de induzir efeitos adversos sobre os canais fluviais, pois elas aumentam a concentração de sedimento suspenso nos mesmos, sendo responsáveis pela transferência desses sedimentos para os canais fluviais (THOMAZ et al., 2013).

O estudo em questão versa sobre a contribuição do escoamento superficial de estradas rurais em canais fluviais e foi realizado em uma cabeceira de drenagem compreendida na Bacia Hidrográfica do Rio Guabiroba, localizada no município de Guarapuava – PR. Esta bacia tem como um dos principais elementos controladores da dinâmica hidrológica seu uso da terra, considerando que há uma variedade de usos, como agricultura de subsistência e mecanizada, pastagem, reflorestamento, depressões úmidas, estradas, caminhos, entre outros, os quais têm comportamentos peculiares, refletindo na dinâmica hidrogeomorfológica da bacia (THOMAZ, 2005).

A área escolhida para a realização do monitoramento foi uma cabeceira de drenagem, pois são elas que sofrem maior erosão e transporte de sedimentos. É importante destacar que a erosão e o transporte de sedimento vão diminuindo na medida em que as declividades vão decrescendo: do setor superior da bacia (maior) para a média e setor inferior da bacia (menor). Sendo assim, o setor superior da bacia, cabeceira de drenagem, sofre predominantemente a degradação dos solos, enquanto o setor inferior da bacia sofre predominantemente agradação (CARVALHO, 2008).

Thomaz et al. (2010) mostram que no município de Guarapuava, as estradas rurais, caminhos e carreadores foram construídas em diferentes unidades geomorfológicas, e que, quando construídas, não foi considerado a aptidão do terreno para sua construção. Esse descuido dificulta a conservação das estradas,

caminhos e carregadores em terras dissecadas, tornando-as intransitáveis nos períodos chuvosos, pelo fato de começarem a surgir ravinas, atoleiros e depressões sobre os leitos das vias (THOMAZ et al., 2011).

Para Cunha (2011), as estradas rurais carecem de estudos voltados para o planejamento ambiental, pois, apesar de os estudos confirmarem a importância das estradas sem pavimentação tanto no âmbito ambiental como no social, ainda é necessário ampliar o conhecimento sobre os problemas gerados pelas implantações e manutenções das estradas. Segundo Thomaz et al. (2013), as pesquisas realizadas em estradas são mais comumente direcionadas a explicar os efeitos das estradas em paisagens florestais, sendo que a compreensão do papel hidrogeomorfológico das estradas rurais sem pavimentação ainda é necessária, já que elas têm dinâmicas diferentes das estradas em paisagens florestais.

As estradas rurais, especialmente as principais e secundárias, são permanentes, antigas, têm seu leito compactado, têm uma menor produção de sedimento e uma dinâmica hidrogeomorfológica diferente das estradas florestais. As estradas florestais são utilizadas, principalmente, para a retirada da madeira; assim, quando são construídas para se ter acesso aos locais de extração da madeira (LUCE e WEMPLE, 2001), não obedecem ao traçado do relevo e seu leito não é totalmente compactado, tendo uma maior produção de sedimento, já que são estradas recém-abertas. Após a retirada da madeira, as estradas ficam praticamente abandonadas, sem uso, até o próximo ciclo de corte.

Com a carência de estudos nessa área, o presente trabalho vem para contribuir nas discussões do comportamento hidrogeomorfológico das estradas rurais sem pavimentação durante eventos pluviais.

Tem-se, como objetivo geral, analisar a contribuição do escoamento superficial em estradas rurais, sem pavimentação e, a transferência de sedimento suspenso para os canais fluviais durante eventos pluviométricos.

Como objetivos específicos, este trabalho busca avaliar o papel de chuvas consecutivas e períodos de estiagem na produção e transferência de sedimento de estradas rurais para canais fluviais; relacionar as características físicas das estradas com a produção de escoamento superficial e sedimento; e compreender o papel das estradas rurais como elementos de conexão e transferência de sedimento e água para canais fluviais.

A área de estudo é uma cabeceira de drenagem (figura 1) com rios de primeira, segunda e terceira ordem. Seu alinhamento é predominantemente Sul–Norte, localizada no baixo curso da margem esquerda do Rio Guabiroba, totalizando 3,5 Km². A bacia está inserida em uma unidade em que são predominantes os solos Litólicos Álicos (Neossolos Litólicos) e Cambissolos Álicos, tendo o horizonte A proeminente em ambos, com textura argilosa e fase pedregosa, o relevo é forte ondulado a montanhoso, tendo declividade superior a 40%, somando essas características à bacia hidrográfica apresenta suscetibilidade à erosão (EMBRAPA, 2006).

A cabeceira de drenagem em estudo está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Guabiroba, que possui uma área aproximada de 23,7 Km² e a hierarquia fluvial é de quarta ordem (THOMAZ et al, 2011), ela pertence a Bacia Hidrográfica do Rio das Pedras e faz divisa ao Sul com a Bacia Hidrográfica dos Rios Iratim – Bananas. A bacia está predominantemente alinhada no sentido Leste–Oeste, localizada no município de Guarapuava – PR (THOMAZ et al, 2010).

O município de Guarapuava, que está compreendido entre as latitudes 25° 23' Sul e longitude 51°27' Oeste (Figura 1), têm uma área municipal aproximadamente de 3.120 Km², situado na bacia sedimentar do Paraná, estando compreendida entre o segundo e terceiro planalto paranaense, na unidade de rochas básicas da Formação Serra Geral (MINEROPAR, 2006).

O clima de Guarapuava é classificado em subtropical mesotérmico – úmido (Cfb), sem estações secas, com verões frescos e invernos moderados (MAACK, 1981). As temperaturas durante o ano caracterizam-se em temperaturas mais altas no verão, decaindo no outono e acentuando em períodos mais frios no inverno, de junho a agosto. Na primavera, as temperaturas voltam a subir gradualmente, resultando em temperatura média anual entorno de 16 a 17,5°C. As geadas no município de Guarapuava ocorrem 72% no inverno, principalmente em julho (38%), tendo um total de 13 a 15 eventos anuais (THOMAZ e VESTENA, 2003).

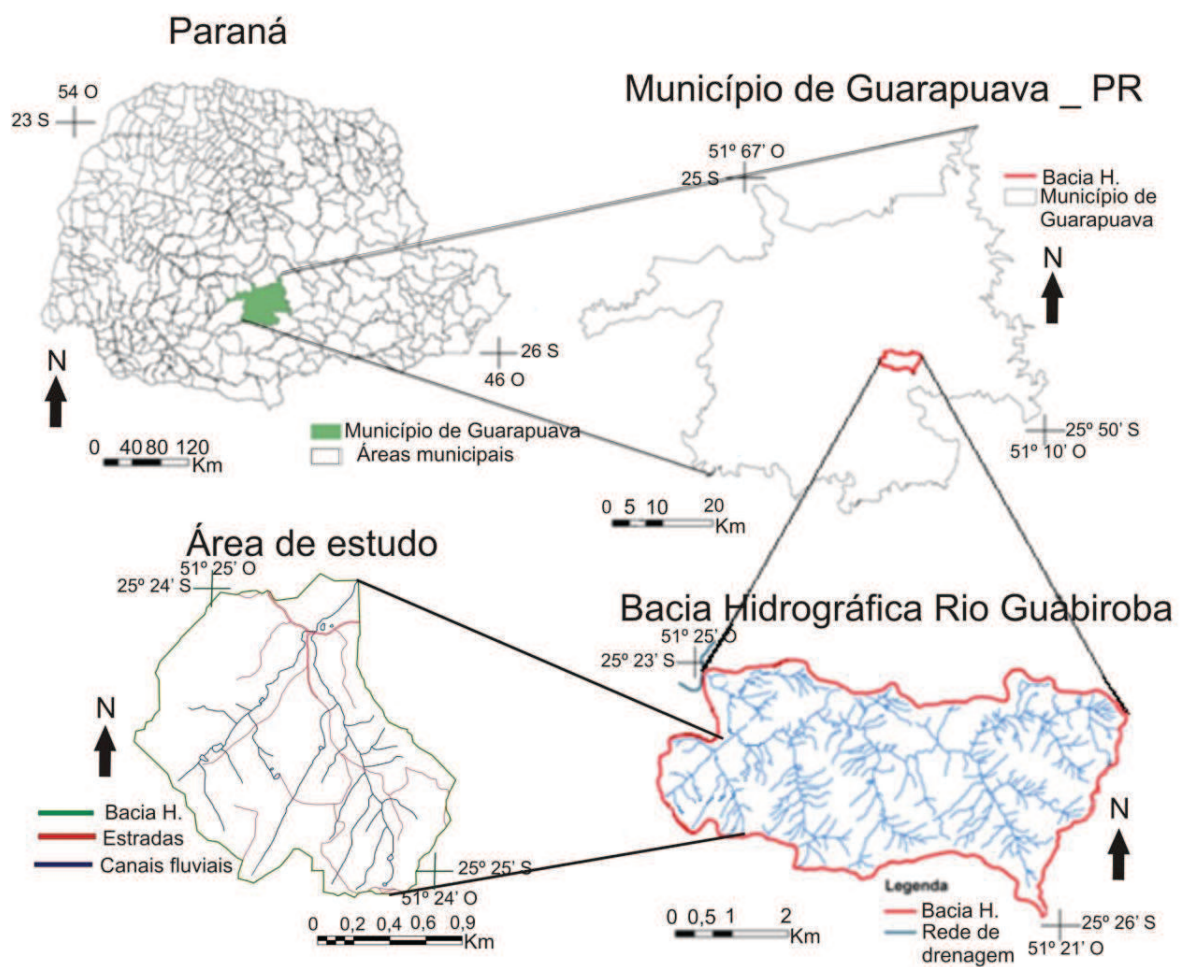


Figura 1: Localização da área de estudo
 Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

1. Fundamentação Teórica

1.1 Dinâmica hidrossedimentológica em bacia de drenagem

Bacia Hidrográfica é definida como sendo toda área que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para um curso d'água ou para um sistema de curso de água conectado e que converge, diretamente ou indiretamente, para um ponto comum, chamado de exutório (BERTONI E LOMBARDI NETO, 1990; VESTENA, 2008). Os fluxos de matéria e energia, na bacia hidrográfica, são regidos principalmente pela dinâmica da água, a qual interage com vários outros fatores na bacia hidrográfica, como solo, rocha, relevo, usos do solo, flora, fauna, entre outros (VESTENA, 2008).

Para Netto (1995) a água tem papel fundamental na modelagem do relevo terrestre (paisagem), pois ela controla tanto a formação como o comportamento mecânico dos mantos de solos e rochas.

As caracterizações das dimensões das bacias hidrográficas se tornam indispensáveis, pois são essas características que irão influenciar a resposta em seu exutório, pois, quando se trabalha com o recorte espacial, bacia hidrográfica, deve-se levar em consideração as diversas respostas hidrogeomorfológicas. Em se tratando de cabeceiras de drenagens, as respostas produzidas por elas são rápidas e curtas, o que acaba causando certas dificuldades em monitorar seus processos hidrossedimentológicos (ANTONELI e DOUHI, 2010).

Para que as pequenas bacias hidrográficas possam ser consideradas uma cabeceira de drenagem elas necessitam apresentar uniformidade da precipitação em sua are e conter rios, no máximo, de terceira ordem, mas com cursos d'água inferiores a três metros de largura (GOLDENFUM, 2003). As pequenas bacias hidrográficas são de grande utilidade em pesquisas que visam um melhor entendimento dos processos atuantes, físicos, químicos e biológicos, os quais intervêm no ciclo hidrológico. Elas podem ser consideradas bacias experimentais, representativas ou bacias elementares (GOLDENFUM, 2003).

Portanto, a bacia hidrográfica é uma unidade territorial ideal para se fazer o planejamento e manejo dos recursos hídricos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990). Segundo Vestena (2008) podemos considerá-la como uma unidade hidrossedimentológica, pois a mesma é um sistema aberto, onde ocorre o balanço hidrológico e sedimentológico, já que a mesma recebe (entrada) e perde (saída) energia.

Na figura 2, pode-se observar o esquema do balanço hidrológico em uma bacia hidrográfica, na qual se têm: entrada de energia, na forma de precipitação; saídas de energias, nas formas de evaporação/transpiração (evapotranspiração); deflúvio; armazenamento através de fluxo de água subterrânea; interceptação; infiltração; percolação; armazenamento no solo, subsolo e em depressões; além do ciclo hidrológico, o qual faz a “renovação” da água, evaporando, condensando e precipitando na bacia.

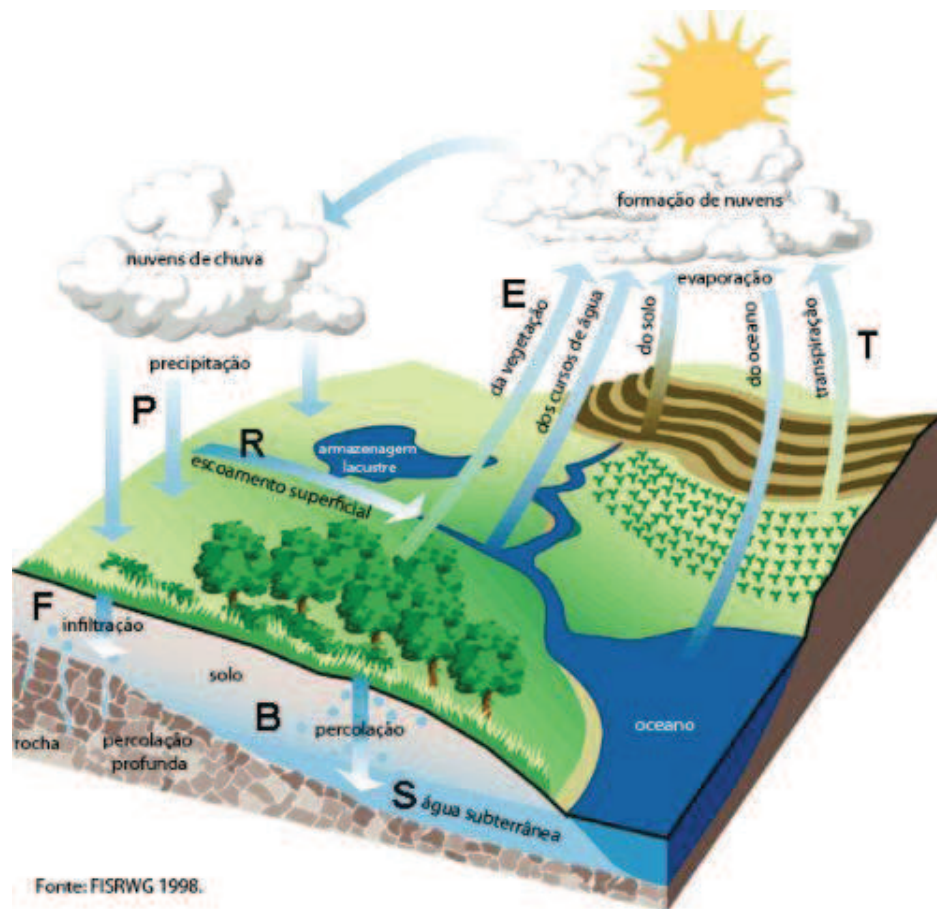


Figura 2: Esquema do balanço hidrológico: onde P = Precipitação; E = Evaporação, T = Transpiração; R = Escoamento superficial, F = Infiltração, B = Percolação e S = Água subterrânea.

Fonte: Fisrwg, (1998).

Bordas e Semmelmann (1997) destacam que o ciclo hidrossedimentológico está intimamente ligado ao ciclo hidrológico, sendo dependente deste, envolvendo o destacamento, deslocamento, transporte e o depósito das partículas sólidas. Uma das diferenças entre o ciclo hidrossedimentológico e o ciclo hidrológico é que no ciclo hidrossedimentológico os sedimentos não retornam ao meio de onde vieram.

O ciclo hidrossedimentológico inicia-se com o destaque das partículas, através do impacto da gota de chuva no solo, que faz com que as partículas se desprendam do solo, ficando soltas na superfície, disponíveis para serem transportadas. Essa erosão pode ser intensificada à medida que o solo possua menor proteção vegetal, maior declividade do relevo, o tipo de uso da terra (plantio sem práticas conservacionistas), entre outros fatores (CARVALHO, 2008).

O processo erosivo inicia-se com a ação do efeito *splash* ou salpicamento na vertente, preparando as partículas do solo para serem transportadas pelo escoamento superficial. Nesta fase ocorre a ruptura dos agregados, fracionando-os em tamanhos menores e transportando-os pela própria ação do salpicamento. O deslocamento de partícula se dá em todas as direções da vertente (GUERRA, 2005).

Essas partículas soltas causam o entupimento dos poros superficiais do solo, ocasionando a selagem desse solo, diminuindo-lhe a porosidade, diminuindo a infiltração, e começando a se formar poças (*ponds*) em pequenas depressões do solo, as quais se interligam dando início ao processo de escoamento superficial, que a princípio é difuso (GUERRA, 2005).

O fluxo difuso, conhecido como escoamento em lençol (*sheetflow*) ou fluxo laminar, provoca a erosão em lençol ou erosão laminar (GUERRA, 2005), no qual erode somente a parte superficial do solo, de maneira que uma fina lâmina d'água percorre o terreno, “lavando” a superfície do solo, levando consigo as partículas soltas presentes no mesmo.

À medida que este fluxo tem continuidade, ele pode passar a ser um fluxo linear (*flowline*) ocasionando a concentração do mesmo em pequenos canais não bem definidos. Se houver continuidade pode-se iniciar a formação de microravinas (*micro-rills*), o que, segundo Guerra (2005), é o terceiro estágio da evolução do escoamento superficial no processo de formação de ravinas: onde a água passa a escoar concentrada em canais bem definidos, podendo evoluir para ravinas e até mesmo voçorocas.

A erosão é ocasionada naturalmente nas bacias hidrográficas, mas, nos últimos anos, tem se observado que o ser humano tem grande participação como agente acelerador dos processos modificadores e de desequilíbrio das paisagens (CUNHA e GUERRA, 2000).

1.2 Uso da terra e perda de solo

O uso da terra é o fator preponderante pelo qual as paisagens são alteradas pela ação humana. Essas alterações provocam importantes mudanças na resposta hidrológica das superfícies degradadas, que acabam por alterar um conjunto diversificado de processos biogeoquímicos (RAMOS-SCHARRÓN, 2010).

Contudo, a erosão do solo nos diferentes usos da terra na bacia de drenagem tem respostas diferenciadas. Thomaz et al (2011) mostram a necessidade da quantificação da contribuição, relativa e absoluta, das distintas fontes de produção de sedimento existentes nas bacias de drenagem. Alguns estudos realizados no Brasil sob diferentes ambientes mostram a variabilidade nas perdas de solo. O padrão de perda de solo é maior em áreas mecanizadas, com culturas temporárias do que em áreas que tem cobertura permanente, como capoeira, pastagem e florestas (THOMAZ, 2005).

Evans (1998) mostra que as perdas de solo em pastagens são inferiores a 1 t/ha/ano, corroborando a esta afirmação Lepsch (2010) avaliou a variabilidade da perda de solo de acordo com o uso da terra, sendo que a pastagem teve perda de 0,7 t/ha/ano; cafezal 1,1 t/ha/ano; mata 0,004 t/ha/ano e algodoal 38 t/ha/ano. Já Bertoni e Lombardi Neto (1990), avaliaram a variabilidade da perda de solo para as mesmas culturas, obtendo os valores para pastagem 0,4 t/ha/ano; cafezal 0,9 t/ha/ano; mata 0,004 t/ha/ano e algodoal 26,6 t/ha/ano. E para as culturas anuais, obteve as seguintes perdas de solos, feijão 38,1 t/ha/ano; cana de açúcar 12,4 t/ha/ano e milho com 12 t/ha/ano.

Entretanto, nas bacias de drenagem não são somente as áreas agrícolas que são fontes de sedimentos, há também outras formas de uso, como as estradas rurais sem pavimentação, principalmente as que não têm disciplinamento do escoamento superficial (dissipação de energia) e que tenham barrancos sem proteção vegetal, tornando-se grandes produtoras de sedimento. Os sedimentos produzidos e disponibilizados nas estradas são transportados e transferidos para córregos ou para dispositivos de drenagens, durante eventos pluviais. Ramos-Scharrón e MacDonald (2007) estimaram a produção de sedimento para estradas não pavimentadas de St. John, Ilhas Virgens dos EUA, que recebiam manutenção a cada dois anos. As taxas de produção de sedimento para estradas com declividade de 2%, eram de 57 Mg/ha/ano, e 580 Mg/ha/ano para estradas com declividade de 21%. Comparada as taxas de produção de sedimento das estradas abandonadas, cerca de 15 anos, foram 40% menores do que as estradas que receberam manutenções recentes e, apenas 12 Mg/ha/ano para estradas com declividade de 15%.

Portanto, as estradas rurais sem pavimentação são consideradas umas das principais fontes de sedimento em bacias de drenagens, caracterizando-se por serem elementos de conexão entre as vertentes e os canais fluviais. Somada à rede de drenagem natural, as estradas aumentam significativamente a densidade de drenagem da bacia, a qual facilita a transferência dos sedimentos para os cursos d'água. Assim, as estradas necessitam ser consideradas nos estudos de conservação de mananciais e de solo nas bacias de drenagens rurais, pois as mesmas podem ser as principais fontes de sedimento nas bacias de drenagem (THOMAZ et al., 2011).

1.3 Dinâmica de produção de sedimento em barrancos de estradas rurais sem pavimentação

Para as construções ou manutenções de estradas, são feitos nivelamentos periódicos, que são realizados por máquinas motoniveladoras, as quais têm lâmina para fazer a raspagem da superfície da estrada, eliminando buracos e entre outras deformações que os leitos das mesmas apresentam.

É fato que, quando se passa a lâmina da motoniveladora na estrada, a mesma retira uma fina camada do leito da estrada. Esta prática contínua de manutenção faz com que haja um rebaixamento do leito das estradas, e o material proveniente dessa raspagem é deixado ao lado da estrada, comportando-se como barrancos, ou é levado para outros locais (bota fora), deixando as estradas encaixadas no terreno, tomando forma de calha, a qual irá dificultar o escoamento das águas para os sistemas de drenagem. Com essa contínua retirada de material e, conseqüentemente, o rebaixamento do leito das estradas, começam a se formar/aumentar os barrancos em suas laterais (figura 3) (DEMARCHI et al., 2003; ODA et al., 2007).

Para Demarchi et al. (2003) o leito das estradas deve estar o mais próximo à superfície do terreno. Para isso, deve-se fazer a quebra do barranco das entradas, ou seja, retirar o material proveniente dos barrancos e depositá-lo no leito das mesmas, para soerguê-las (bota dentro). Esse processo, juntamente com sistemas de drenagem eficientes, faz com que aumente a durabilidade das estradas, diminuindo a produção de sedimento em seu leito e eliminando seus barrancos, já que os barrancos são potencialmente produtores constantes de sedimento (THOMAZ et al., 2010).



Figura 3: Barranco formado pelo rebaixamento do leito da estrada principal ocasionada por práticas de manutenções que visam à raspagem do leito da estrada e a retirada de material da mesma (bota fora). Data: 05/06/2013.

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

A formação e o aumento da altura dos barrancos nas laterais das estradas rurais sem pavimentação fazem com que os mesmos forneçam materiais finos e grosseiros, depositados no leito das estradas, e disponíveis para o transporte durante eventos pluviais. A forma pela qual os sedimentos são produzidos nos barrancos e disponibilizados para o transporte no leito das estradas se dá pelas características dos barrancos, isto é, quando apresentam ausência de vegetação, tornando as suas superfícies e suas faces desnudas e desprotegidas, esses barrancos são mais suscetíveis à erosão (HOLANDA et al., 2007).

Os ângulos das faces dos barrancos irão ditar uma menor ou maior produção de sedimento, já que o fator declividade fará com que tenham maior ou menor perda de material devido à força gravitacional. Ou seja, um barranco com ângulo menor que 90° (ângulo agudo), tem sua face mais exposta às intempéries (precipitação, vento, insolação), enquanto um barranco que tiver um ângulo maior que 90° (ângulo obtuso) tenderá a não receber influência direta das intempéries, mas poderá culminar em desmoronamento, movimento de massa, ocorrendo queda livre de blocos ou fragmentos

de solo por ação da gravidade (figura 4) (SOUSA e CUNHA, 2007; HOLANDA et al., 2007, THOMAZ et al., 2011). Além disso, há a influência da altura, pois quanto mais altos forem os barrancos, maior será sua área e, portanto, maior será a tendência de produção de sedimento.

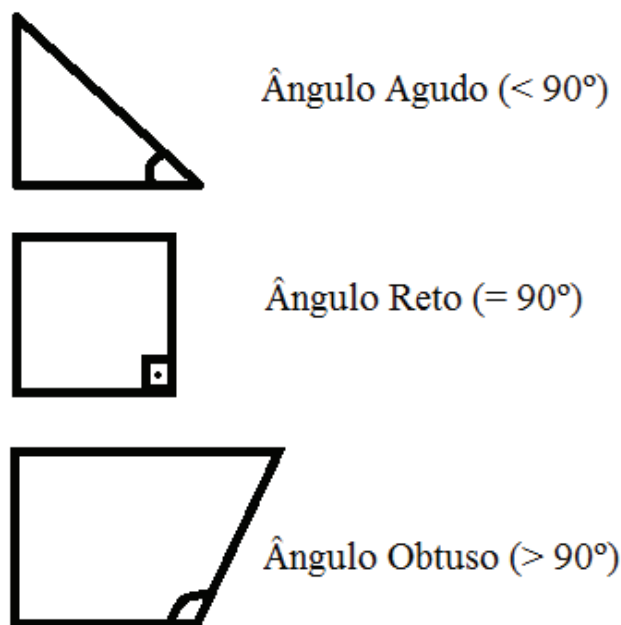


Figura 4: Ângulos das faces de barrancos.
Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

As intempéries dizem respeito, principalmente, à precipitação, a qual terá variações de acordo com a magnitude do evento climático, onde a ação mecânica das gotas da chuva irá provocar o efeito do salpico nos barrancos, fazendo com que se mobilizem materiais finos colocando a disposição no leito das estradas (THOMAZ et al., 2010, 2011). A insolação e a ação dos ventos fazem com que as faces dos barrancos percam umidade mais rapidamente, ocorrendo oscilação da umidade (umedecimento e ressecamento), ocasionando erosão por expansão/contração, a qual acarretará no colapso dos materiais sob o efeito da gravidade (HOLANDA et al., 2007; THOMAZ et al., 2011).

Esses materiais quando sofrem colapso, seja por gravidade, ação das gotas da chuva e/ou movimento de massa, vão ficar depositados no leito das estradas, estando disponíveis para serem transportados durante eventos pluviais que gerem escoamento nos leitos das estradas, sendo, assim, carregados para dispositivos de drenagens ou tendo como destinação os canais fluviais. Dessa forma, as estradas podem gerar sedimentos a

partir de suas diferentes estruturas, ou seja, a produção de sedimento pode ser proveniente dos barrancos e da escavação do próprio leito pelo escoamento superficial.

1.4 Estradas rurais sem pavimentação como elementos de conectividade e de transferência de sedimento da vertente para o canal fluvial

As estradas rurais são elementos importantes das paisagens rurais, capazes de assumir outros fluxos que não de pessoas, produtos e veículos, elas podem assumir os fluxos de água e de sedimento durante eventos pluviais (THOMAZ et al., 2010). As estradas interferem no movimento das águas e dos sedimentos na bacia de drenagem, favorecem o escoamento superficial e a produção e transporte de sedimentos e, principalmente na ampliação da conexão entre a vertente e o canal fluvial. Sendo assim, elas podem interceptar fluxos superficiais e subsuperficiais, este último, quando apresentam leitos aprofundados. As estradas alteram o escoamento, taxa de erosão e o coeficiente de infiltração da bacia hidrográfica, aumentando a carga sedimentar e conseqüentemente a turbidez das águas superficiais, alterando a drenagem das águas e sedimentos na bacia (LUCE e WEMPLE, 2001; RAMOS-SCHARRÓN e MACDONALD, 2007; THOMAZ et al., 2010, THOMAZ et al., 2013).

Ramos-Scharrón e Macdonald (2007) mostram que a erosão ocasionada no leito de estradas abandonadas (previamente erodidas) é menor que nas estradas recém niveladas ou restauradas, pois ocorre a lavagem dos materiais finos, permanecendo sobre a superfície os materiais mais grosseiros (seixos, grânulos e matacões), mesmo reduzindo a disponibilidade de material no leito da estrada, os barrancos podem ser fornecedores de sedimentos finos.

Fu et al. (2010) mostram que nem toda atividade de manutenção realizada nas estradas causa o aumento da produção de sedimento, pois as estradas bem conservadas, com adequados sistemas de drenagem, não aumentam sua produção de sedimento após terem recebido manutenções.

Os fatores que contribuem para a produção, transporte e transferência de sedimento nas estradas rurais sem pavimentação são as ações das intempéries, o tráfego, a declividade, os dispositivos de disciplinamento das águas superficiais, a manutenção ou a falta dela no leito e nos barrancos das estradas, as características hidráulicas e dos materiais da superfície (FU et al., 2010), os quais agem concomitantemente.

A ação das intempéries diz respeito, principalmente, à intensidade da precipitação e duração, pois é ela que fornece água para o escoamento superficial no leito das estradas. A erosão se inicia pelo efeito do salpico, principalmente nos barrancos, sendo rapidamente eliminada após o início do escoamento superficial (RAMOS-SCHARRÓN e MACDONALD, 2005), pois a fina camada de água do escoamento superficial reduz o efeito erosivo das gotas de chuva. Para Fu et al. (2010) o salpico é a fonte primária causadora de erosão durante o evento pluvial.

Os fluxos formados nos leitos das estradas durante eventos pluviais são capazes de transportar materiais finos, como silte e argila e, materiais grosseiros, como grânulos e seixos (THOMAZ et al., 2010).

A compactação do leito das estradas faz com que diminua a disponibilidade de sedimento, em contrapartida o tráfego, principalmente em períodos de chuva, faz com que o material da estrada se mobilize e o coloque a disposição do transporte (LIMA, 2004). A combinação do tráfego e o acúmulo de água no leito da estrada fazem com que o leito da mesma se danifique, surgindo depressões e trilhamentos, que acabam por produzir sedimentos (FU et al., 2010). Se os trilhamentos e depressões não são reparados, a tendência é que aumente os buracos e conseqüentemente a produção de sedimento.

Se a estrada não apresentar dispositivos de drenagem das águas em seu leito, as mesmas podem começar a formar ravinas. Isso ocorre da seguinte forma: o início do escoamento superficial é difuso, laminar, sendo capaz de transportar somente material em suspensão, o qual está disponível no leito das estradas; conforme vai ganhando volume e, conseqüentemente, velocidade, o escoamento começa a se concentrar em pequenos canais não bem definidos, passando a ser um fluxo linear, capaz de transportar sedimentos com granulometria maiores; se o mesmo der continuidade, o fluxo pode assumir a forma de ravinas, onde passa a ser concentrado em canais bem definidos e com grande capacidade de erodir o leito das estradas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

Chegando a este último estágio, o escoamento gerado no leito da estrada contém um grande volume d'água e de sedimento suspenso e de fundo, o qual será destinado, principalmente, para dispositivos de controle de escoamento superficial no leito das estradas, ou para dentro dos cursos d'água.

Segundo Thomaz et al. (2010), as estradas que transpõem os rios, fazem com que as águas escoadas em seu leito cheguem rapidamente aos canais de drenagem,

aumentando rapidamente a vazão. Assim, as estradas são elementos de conexão direta entre a vertente e o canal fluvial, influenciando no balanço de sedimento da bacia.

1.5 Transporte de sedimento em sistema fluvial

Os sedimentos advindos do escoamento das estradas, ao entrarem nos canais fluviais, irão ser transportados ou depositados de acordo com suas características físicas (tamanho, forma e densidade) e as forças exercidas pelo escoamento sobre eles. Quando as forças estão reduzidas às condições em que não consigam mais transportar as partículas, chegando a atingir a velocidade crítica - sendo esta a menor velocidade para que a partícula mantenha-se em movimento -, isto indica a diminuição da competência do canal fluvial em transportar as partículas, depositando-as, podendo ser permanentes (assoreamentos) ou transitórias; em condições contrárias, “déficit” de sedimento em suspensão, o canal tenderá a erodir suas margens, buscando sempre seu estado de equilíbrio no sistema fluvial (CHRISTOFOLETTI, 1981; CARVALHO, 2008; CUNHA, 2007).

Os sedimentos transportados até os canais apresentam granulometrias distintas, os quais sofreram um processo de transporte de acordo com o seu tamanho, peso e forma, e em função do escoamento no canal, podendo ser turbulento e laminar, uniformes e não-uniformes, estáveis e instáveis, variando a velocidade da corrente, dos obstáculos no leito do canal e entre outras variáveis que estão inter-relacionadas, como a temperatura d'água, forma do canal, declividade do talvegue, entre outros. Essas forças e características físicas dos canais manterão as partículas em suspensão ou no fundo do canal, podendo estas estar saltando do leito para o escoamento, deslizando ou rolando ao longo do leito do canal (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Os canais fluviais transportam os sedimentos das seguintes formas: carga sólida em suspensão, carga sólida saltante e carga sólida de arrasto, de acordo com a granulometria das partículas (tamanho e forma) e das características da corrente do canal (turbulência e forças hidrodinâmicas exercidas sobre as partículas) (CUNHA, 2007). Quando as estradas conectam com os rios, a carga sólida em suspensão é a principal carga alterada, pois esta carga é facilmente levada para os canais, já que ela é predominantemente maior que a carga de fundo, no alto curso, variando de 90% a 95% de toda a carga transportada pelo rio. Quando a declividade do canal fluvial vai diminuindo, a carga de fundo tende a aumentar, mas ainda predomina a carga de

sedimento suspenso, variando de 60% a 90% de toda carga transportada pelo canal fluvial (CARVALHO, 2008).

A carga sólida em suspensão é constituída das partículas finas, silte e argila, as quais estão sendo suportadas pelas componentes verticais da velocidade do fluxo turbulento no canal, sendo transportadas pelas componentes horizontais da velocidade, que são suficientemente pequenas para permanecerem em suspensão, descendo e ascendendo na corrente acima do leito (CARVALHO, 2008).

A carga sólida em suspensão pode estar em dois estados: carga dissolvida e carga particulada. A carga dissolvida é oriunda da dissolução dos solos e rochas, já que a água da chuva tem abundância de substâncias dissolvidas, providas da atmosfera, podendo chegar a contribuir em até 20% da carga dissolvida. Já a carga particulada é a responsável pela morfodinâmica do sistema fluvial, pois pelos processos de erosão e deposição constrói as morfologias fluviais (LELI et al., 2010). Sendo assim, a capacidade de transporte em suspensão será alterada pela própria carga de sedimento que está em circulação (BORDAS e SEMMELMANN, 1997).

Para se colocar uma partícula em suspensão o canal fluvial necessita de forças relativamente altas, já o transporte dessa partícula necessita de forças relativamente de fraca intensidade. Sendo assim, as partículas que estão em suspensão participam das características físicas da água, sendo transportadas quase na mesma velocidade que a corrente. Isto é, as partículas que estão em suspensão estão sujeitas à ação da velocidade da corrente na direção horizontal e a de seu próprio peso, sendo assim, sua concentração terá um mínimo na superfície e um máximo perto do leito, variando a granulometria. As areias que estão em suspensão - partículas grosseiras - têm uma variação crescente da superfície para o leito; já as partículas finas - silte e argila - se distribuem aproximadamente uniforme na vertical (CHRISTOFOLETTI, 1981; CARVALHO, 2008).

Sendo assim, observamos que a complexidade do sistema hidrossedimentológico em bacia de drenagem aumenta à medida que a ação humana produz outras formas de conectores, como as estradas rurais sem pavimentação. Diante disso, após o entendimento teórico desses elementos, buscamos procedimentos que julgamos condizentes com os procedimentos levantados pela literatura para avaliar os impactos das estradas rurais nos processos de conectividade e transferência de sedimento e água para os canais fluviais.

2. Materiais e métodos

2.1 Monitoramento do escoamento superficial e transferência de sedimento

O monitoramento da contribuição do escoamento superficial em estradas rurais na vazão e no transporte de sedimento suspenso em cabeceiras de drenagens iniciou-se no dia 19/09/2012 e se estendeu até o dia 29/09/2013. Neste período foram registrados 30 eventos pluviais. O monitoramento consistiu na realização de registro de sedimento suspenso e vazão a montante e a jusante de cruzamentos de estradas com os rios; a montante, as coletas eram feitas sem a contribuição das estradas e a jusante com a contribuição das estradas. Esse procedimento procurou delimitar o efeito direto da estrada na transferência de sedimento e no possível aumento de vazão.

O monitoramento teve como foco a contribuição do escoamento superficial proveniente de quatro áreas de contribuição das estradas: estrada principal, estrada secundária, estrada abandonada e carreador em propriedade particular. Destas, duas estradas têm entrada direta de água/sedimento nos canais (estrada principal e secundária); já as outras duas estradas têm influência indireta (estrada abandonada e carreador em propriedade particular), pois as mesmas não transferem a água/sedimento diretamente aos canais, elas se conectam à outra estrada, que posteriormente liga-se diretamente com o canal (figura 5).

A estrada principal segue paralelamente ao canal fluvial, onde a água do leito flui para dentro do canal fluvial sem nenhum obstáculo. Além disso, esta estrada cruza com os dois rios monitorados, fazendo a transferência de água/sedimento no seu cruzamento com os canais fluviais (Figura 6).

A estrada secundária, que tem a contribuição do escoamento superficial das estradas abandonada e do carreador em propriedade particular, se dá por meio de dois dispositivos de sistema de drenagem adotados conjuntamente, que são a lombada¹ e o bigode² (figura 6). Essas duas estruturas físicas direcionam a convergência total da água e sedimento para o canal fluvial.

¹ As lombadas são elevações construídas transversalmente em toda a largura da estrada (BAESSO E GONÇALVES, 2013).

² Os bigodes são pequenos dispositivos que têm como objetivo conduzir as águas das sarjetas e lombadas para um canal fluvial, caixa de retenção ou outros dispositivos de drenagem (BAESSO E GONÇALVES, 2003).

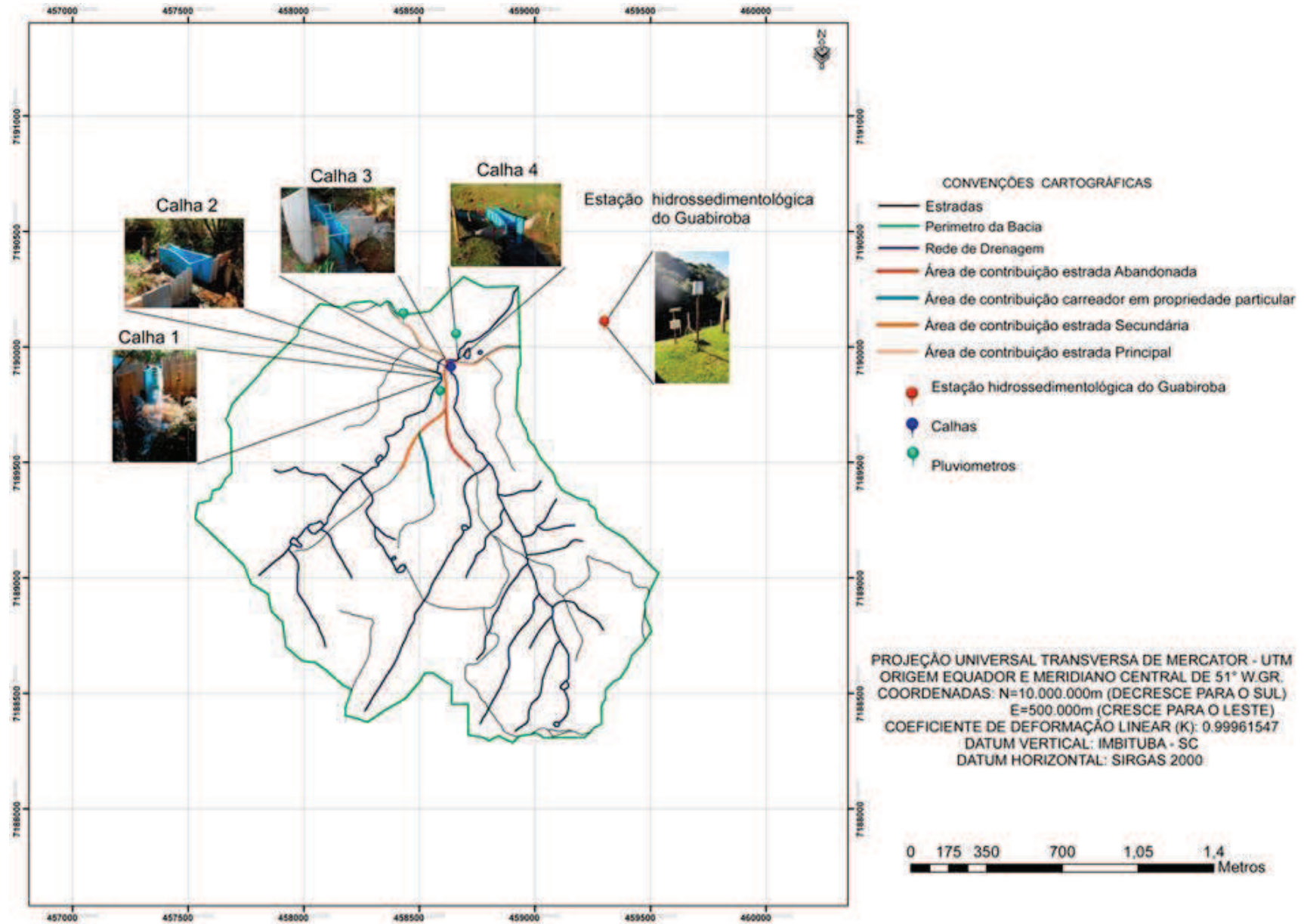
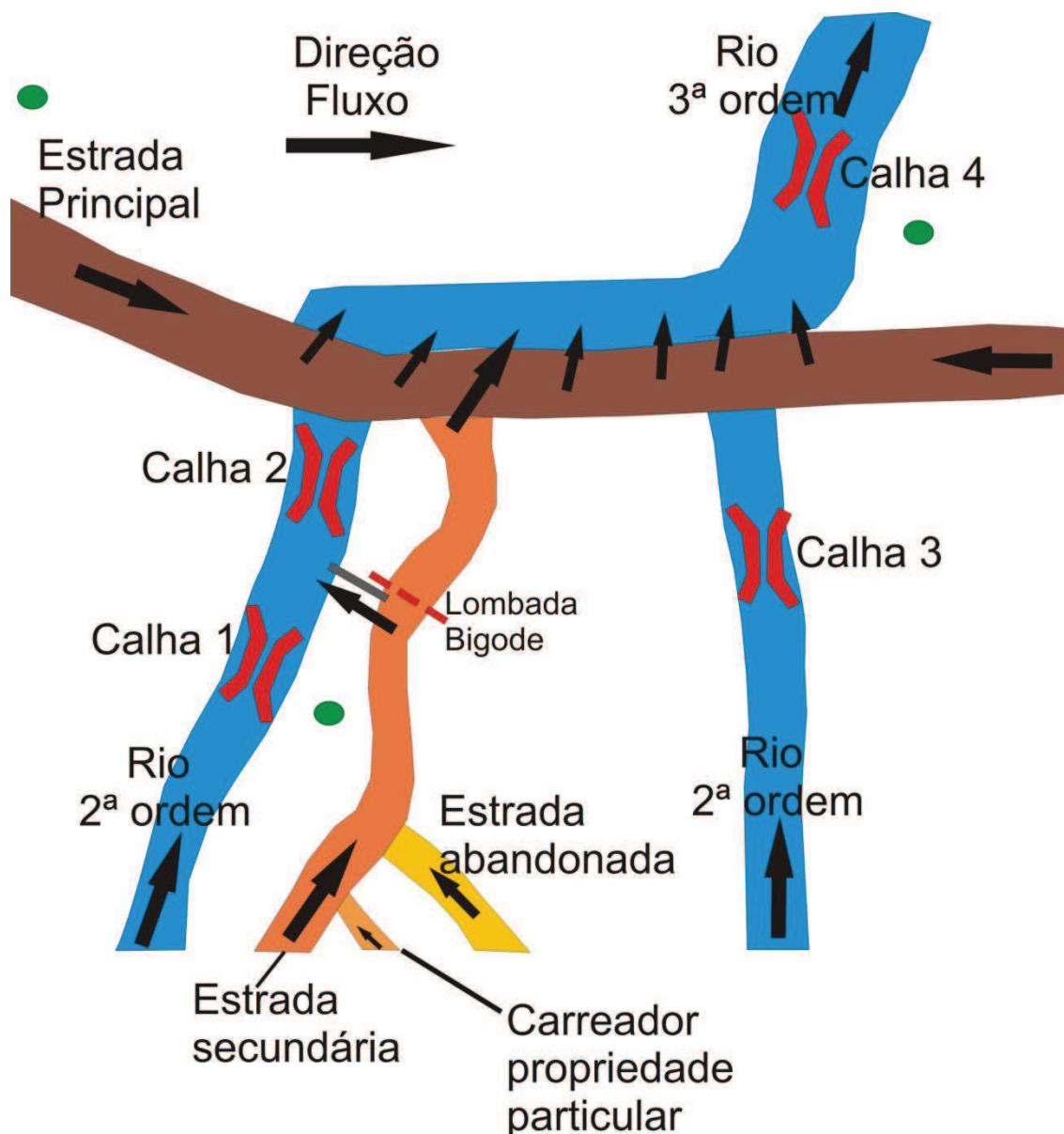


Figura 5: Localização dos pontos monitorados com as calhas, pluviômetros e as estradas rurais.
 Fonte: Elaboração: Rafael de Castro, Organização: Gustavo Toledo Peretto, 2013



● Pluviômetros

Figura 6: Croqui da dinâmica da transferência do escoamento superficial nas estradas para os canais fluviais e pontos monitorados, onde a calha 1 é a montante e a calha 2 é a jusante da contribuição do escoamento superficial da estrada secundária (juntamente com a estrada abandonada e carreador em propriedade particular). As calhas 2 e 3 são a montante e a calha 4 a jusante da estrada principal. As setas mostram a direção dos fluxos das águas superficiais e os pontos verdes a localização dos pluviômetros.

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

Como pode ser visto no croqui (Figura 6), consiste a calha 1 a montante da estrada secundária (MES) e a calha 2 a jusante da estrada secundária (JES), juntamente com a contribuição da estrada abandonada e do carreador em propriedade particular. Este ponto monitorado será tratado como sendo o ponto em que a estrada secundária faz a transferência da mistura água/sedimento do seu leito para o canal fluvial (Figuras 5 e 6).

As calhas 2 e 3 são a montante da estrada principal (MEP) e a calha 4 é a jusante da estrada principal (JEP). Este ponto monitorado será tratado como sendo o ponto em que a estrada principal faz a transferência da mistura água/sedimento do seu leito para o canal fluvial (Figuras 5 e 6).

Em cada uma das calhas (calhas 1, 2, 3 e 4) foram instalados três equipamentos destinados à coleta dos dados. O primeiro foi uma calha para a medição da vazão (Calha Parshall), outro para a captação das amostras de água/sedimento (Amostrador de Nível Ascendente) e outro para auxiliar a medição da vazão em picos de cheia quando o observador não estivesse presente (régua fluviométrica de máxima vazão) (Figura 7). Foram utilizados os dados do pluviógrafo de uma estação hidrossedimentológica localizada no Rio Guabiroba e foram instalados três pluviômetros próximos aos locais de monitoramento e outro próximo a estação hidrossedimentológica, já citada, totalizando quatro pluviômetros e um pluviógrafo.



Figura 7: Equipamentos instalados no ponto 1, A esquerda o Amostrador de Nível Ascendente, mais ao fundo a direita a Régua Fluviométrica de Máxima Vazão e ao fundo a Calha Parshall. Data: 23/08/2012.

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

Diante da dificuldade em realizar os monitoramentos de vazão máxima e chuvas noturnas, utilizou-se para auxiliar nas mensurações a régua fluviométrica de máxima e o Amostrador de Nível Ascendente (ANA). A régua registra a altura máxima alcançada pela lamina d'água e o amostrador coleta as amostras em determinadas vazões marcadas pela calha, já que os sifões dos amostradores foram posicionados nas alturas de algumas vazões da calha. Assim, obtêm-se a vazão através do nível em que a água chegou ao amostrador juntamente com o registrado pela régua (PAIVA et al., 2001).

2.2 Sobreposição estradas/canais fluviais

As estradas sobrepõem-se aos canais fluviais nas formas de pontes (Figura 8), sistemas de drenagens que destinam o escoamento superficial para os canais fluviais (Figura 9) ou por se localizarem ao lado dos canais (Figura 10). As estradas, durante os eventos pluviais, vão se comportar como canais efêmeros, onde o escoamento superficial se iniciará no leito das mesmas, transportando água/sedimento, conectando-a aos canais fluviais, sendo esta a destinação do escoamento gerado nas estradas, tendo uma continuação do seu transporte no sistema fluvial.



Figura 8: Estrada principal sobrepondo o canal fluvial. Na imagem observa-se que o canal fluvial passa por debaixo da estrada, através de uma manilha e encontra com outro canal fluvial que percorre ao lado da estrada. Data: 09/12/2013.

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

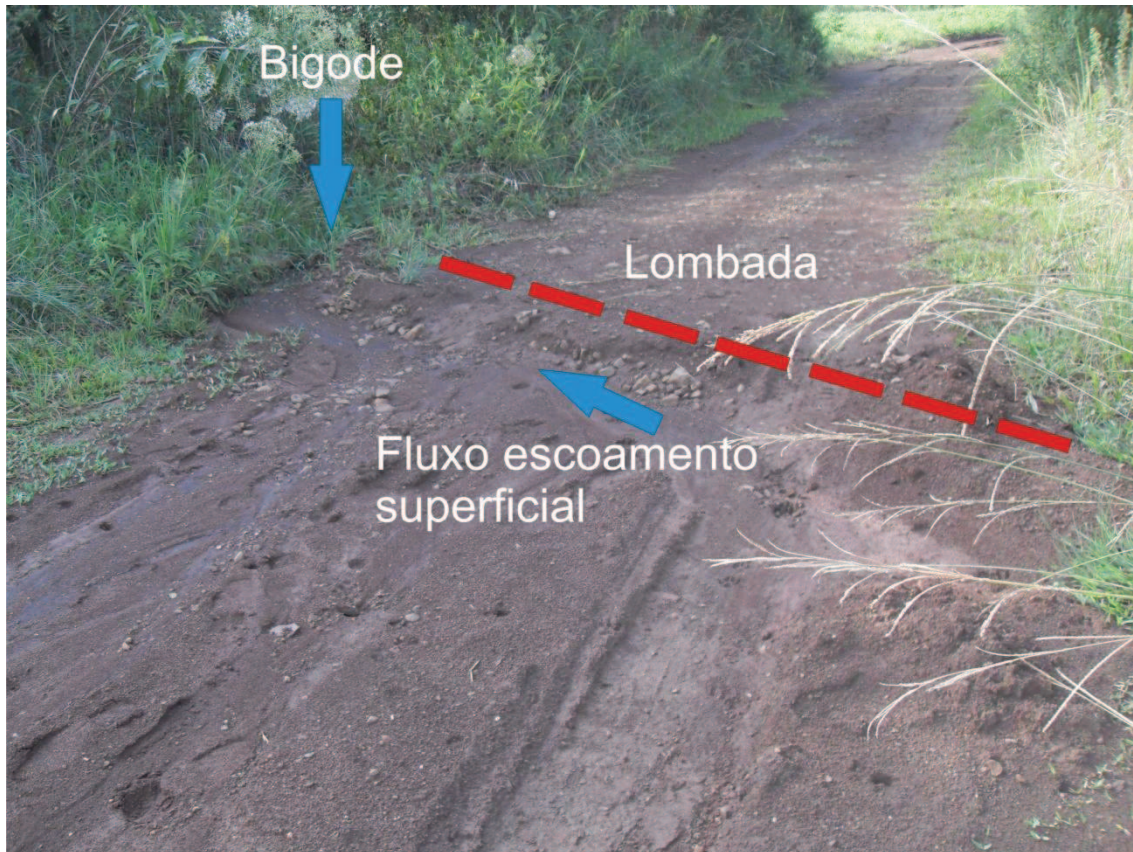


Figura 9: Sistema de drenagem na estrada secundária adotados conjuntamente, lombada e bigode e, direção do fluxo do escoamento superficial gerado no leito da estrada. Data: 09/12/2013.

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.



Figura 10: Estrada principal localizada ao lado do canal fluvial, sem ocorrência de barrancos entre elas. Data: 09/12/2013.

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

2.3 Características das estradas rurais nos pontos monitorados

A caracterização das estradas foi feita a partir da medição da largura das mesmas, medição das alturas dos barrancos e seus comprimentos, verificação da presença ou não de cobertura vegetal sobre os barrancos, se os barrancos eram retilíneos ou em ângulos, positivo ou negativo, a medição (comprimento, largura e profundidade) de ravinas presentes no leito das estradas, estimativa da composição do leito das estradas (porcentagem de cascalho, terra e/ou vegetação), área de contribuição do escoamento superficial nas estradas e a declividade das mesmas.

A delimitação da área de contribuição do escoamento superficial no leito das estradas foi feita por meio de observações durante eventos pluviais. Foram realizados caminhamentos acompanhando o escoamento superficial até a sua origem (divisor de águas) no ponto mais alto das estradas.

Como as estradas não mantêm uma uniformidade (declividade, largura, composição do leito etc.), elas foram divididas em setores que apresentavam

homogeneidade. Um dos fatores levados em consideração para a divisão das estradas foi a declividade (Figura 11). Portanto, a estrada principal ficou dividida em três setores, a secundária em quatro setores, a abandonada em dois setores e o carreador em propriedade particular em um único setor (Figura 12).

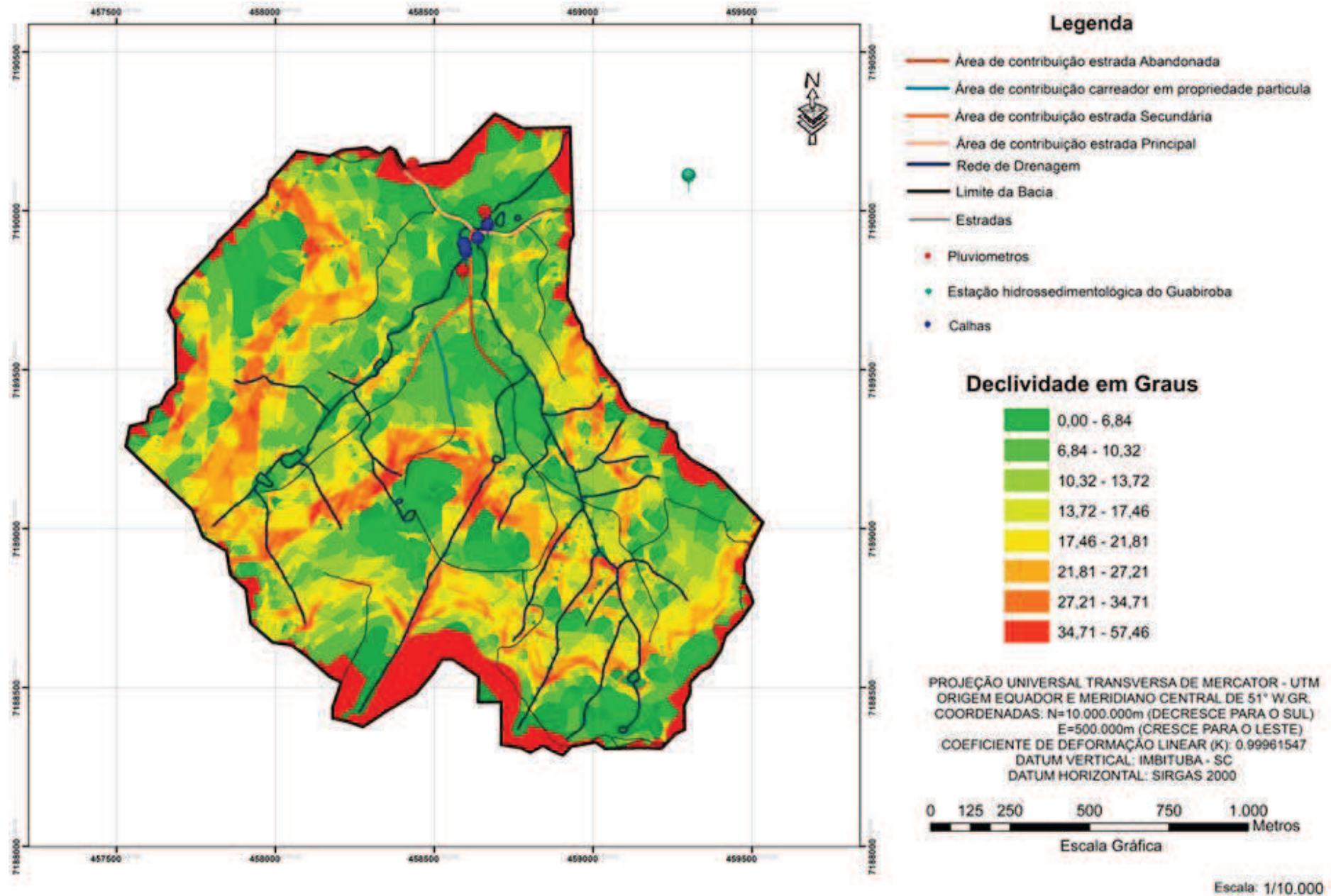


Figura 11: Localização das áreas de contribuição das estradas e da declividade da bacia.

Fonte: Elaboração: Rafael de Castro, Organização: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

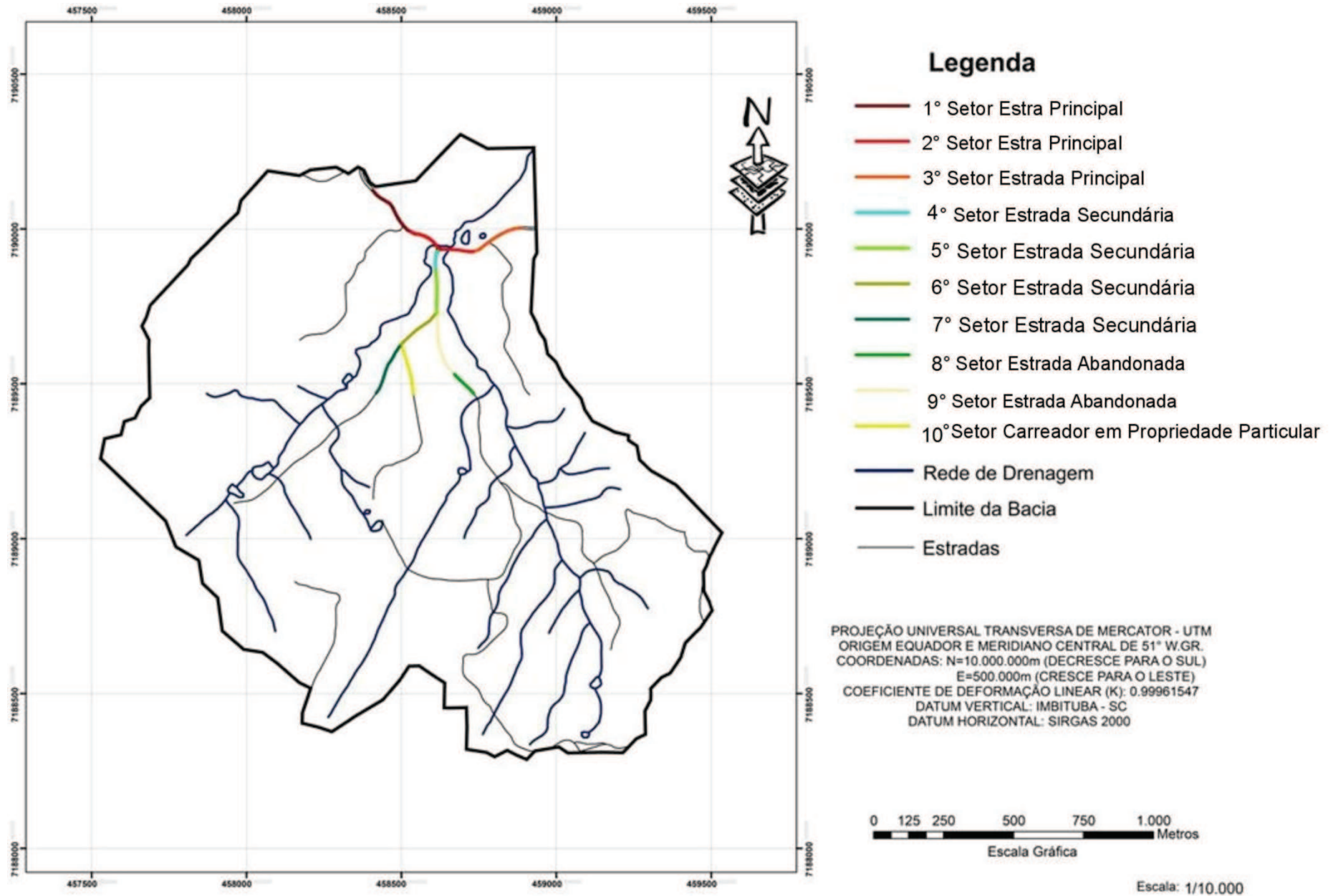


Figura 12: Setorização das estradas.

Fonte: Elaboração: Rafael de Castro, Organização: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

Para a mensuração das inclinações das estradas usou-se um clinômetro de mão (Figura 13A), e trena de 20 m. Foram feitas medidas a cada 20 metros nas estradas, posteriormente foram calculadas as médias das medidas das inclinações das estradas para cada setor.

Os procedimentos do levantamento de dados referentes à caracterização das estradas foram feitos da seguinte maneira: media-se a largura da estrada, altura e comprimento dos barrancos, o que caracterizava uma seção. Para fazer as próximas medidas, media-se 15 m à frente da seção anterior e iniciava-se uma nova seção, medindo-se a largura da estrada, altura dos barrancos e seus comprimentos. E assim sucessivamente, até chegar ao final da área de contribuição das estradas.

Durante a mensuração da altura dos barrancos, foi estimada a cobertura vegetal e o grau de inclinação do mesmo. As feições erosivas no leito da estrada também foram medidas (comprimento, largura e profundidade).

Para se estimar a cobertura superficial do leito das estradas, foi utilizado um quadro (Figura 13B), com dimensões de 25x25 cm, com linhas paralelas e transversais de 1x1 cm. O gabarito era jogado aleatoriamente sobre o leito da estrada e fazia-se a contagem da área recoberta com cada tipo de material: terra, seixo (cascalho) e vegetação. A partir de regra de três simples estimavam-se quais eram as porcentagens de cobertura do leito das estradas. Foram feitas cinco repetições em cada setor da estrada.



Figura 13: A: Clinômetro de mão/visual usado para mensurar a inclinação das estradas. B: Quadro de estimativa para mensurar a porcentagem de terra, seixo e vegetação que compõem o leito das estradas.

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

2.4 Procedimento de monitoramento do escoamento superficial e a transferência de sedimento das estradas para o canal fluvial

O monitoramento se deu da seguinte forma: foram feitas medições, tanto de vazão como de sedimento suspenso, a montante e a jusante da influência estrada/rio, dois pontos a montante e dois pontos a jusante. Para a medição da vazão, utilizou-se calhas Parshall, totalizando quatro calhas. Com cada calha utilizou-se um Amostrador de Nível Ascendente (ANA), o qual faz as coletas da mistura água/sedimento enquanto o rio ascende pelo acréscimo de água/sedimento proporcionada pela estrada. Também foram realizadas coletas manuais, estas quando o observador estava presente durante os eventos pluviais. E, para auxiliar na medição de vazões noturnas ou em que o observador não estava presente, foi usada juntamente com as calhas uma régua fluviométrica.

Para a obtenção da pluviosidade, foram utilizados os dados do pluviômetro da estação hidrossedimentológica do rio Guabiroba, localizada aproximadamente 200m da cabeceira de drenagem em estudo. Foram confeccionados dois pluviômetros de garrafas *pet* instalados próximos aos pontos de monitoramento e utilizaram-se mais dois pluviômetros digitais, sendo um instalado nas proximidades da área de monitoramento e o outro nas proximidades da estação hidrossedimentológica do rio Guabiroba. Com os dados dos cinco pluviômetros fez-se a média das precipitações registradas por eles.

Após as coletas, as amostras eram levadas para o laboratório para as devidas análises de concentração de sedimento suspenso. As análises deram-se por dois procedimentos: quando a concentração de sedimento suspenso era alta (superior a capacidade de leitura do equipamento, turbidímetro), as amostras eram secas por evaporação em estufa; e quando as concentrações de sedimento suspenso eram baixas, as amostras eram mensuradas por meio de um turbidímetro. Após obter-se o resultado de turbidez, em sedimento suspenso, por meio de uma equação convertia-se tal resultado em gramas litro.

Os equipamentos de medição de vazão utilizados nos canais fluviais foram as calhas Parshall, que se trata de um dispositivo de medição de vazão na forma de um canal aberto com dimensões padronizadas. A água é forçada por uma garganta estreita, sendo que o nível da água a montante da garganta é o indicativo da vazão a ser medida,

através de um medidor de nível externo com escala graduada (INCONTROL S/A, 2008).

A dinâmica do funcionamento da calha é o seguinte: em sua entrada há um trecho convergente (0 – 1), um trecho contraído em declive na seção constante (1 – 2), e na saída um trecho divergente em aclave (2 – 3). O trecho convergente, também chamado de crista, produz um nível, no líquido medido, que está diretamente relacionado com a vazão. Com auxílio de um medidor de nível externo (H_Q) adequado (Figura 14), podemos obter leituras de vazão (INCONTROL S/A, 2008).

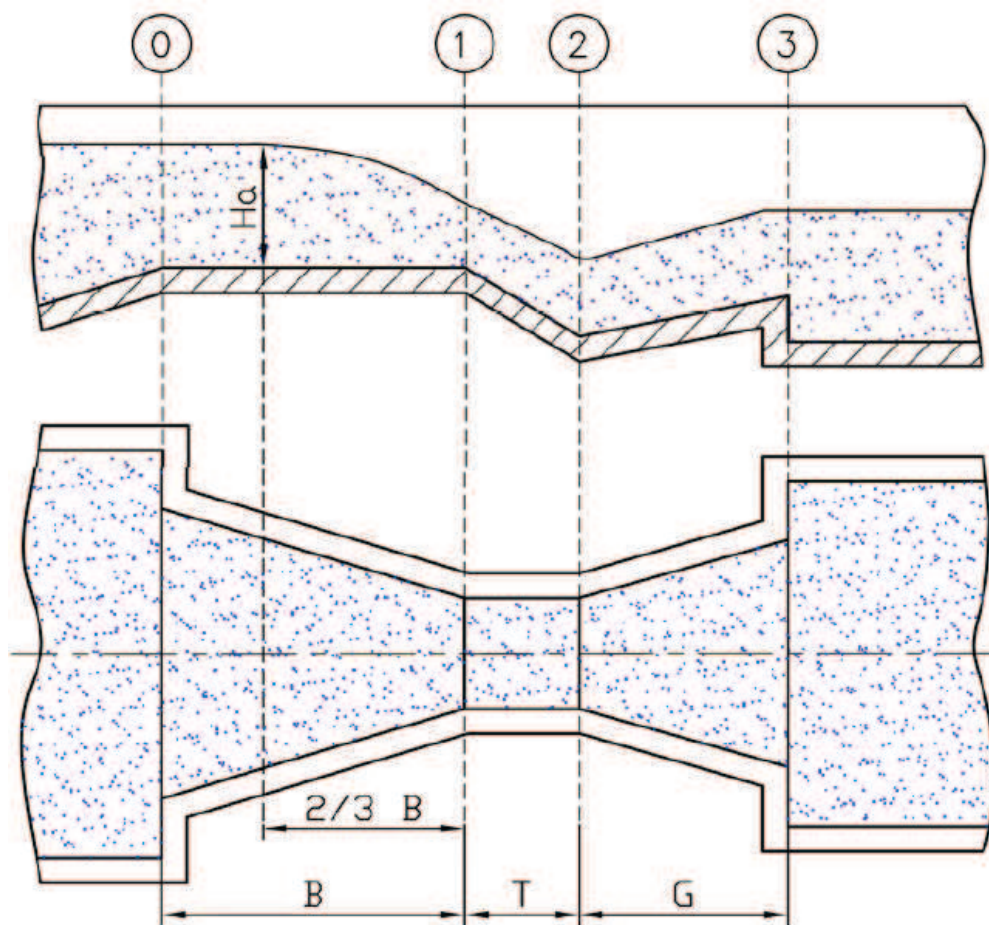


Figura 14: Vista lateral e parte superior da Calha Parshall.
Fonte: INCONTROL S/A, 2008.

As calhas são fabricadas em fibra de vidro, duas delas têm garganta de 6'' (polegadas), calhas 1 e 3, com vazão mínima de 5 m³/h (metros cúbicos horas) e vazão máxima de 400 m³/h (metros cúbicos horas), e as outras duas calhas com garganta de 9'' (polegadas), calhas 2 e 4, com vazão mínima de 10 m³/h (metros cúbicos horas) e vazão máxima de 925 m³/h (metros cúbicos horas).

Optou-se por utilizar as calhas Parshall, pois, segundo Martins e Paiva (2003), é mais conveniente ter um equipamento de medição de vazão pré-calibrado. Assim, esse tipo de calha é adequado para a leitura de vazões em cabeceiras de drenagens.

Para realizar as coletas de Concentração de Sedimento Suspenso foi utilizado o Amostrador de Nível Ascendente (ANA), o qual é um modo de coleta de sedimento indireta, pois ele é fixo dentro do rio, não necessitando o operador estar presente para a realização das coletas. O amostrador consiste em garrafas de 500 ml, as quais são colocadas uma acima da outra, na vertical, apoiadas em um suporte, com espaçamento entre elas. Nas garrafas são utilizados sifões para permitir a entrada de água e de respiros para permitir a saída de ar, ambos são em sentido contracorrente, para evitar a recirculação da mistura água/sedimento quando o sifão e o respiro estiverem submersos (BELLINASO, 2002) (Figura 15).



Figura 15: Amostrador de Nível Ascendente (ANA) construído e instalado no canal que se procedeu o monitoramento.

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2012.

Os sifões de cada garrafa foram alinhados a determinadas vazões correspondentes das calhas, para que quando o canal atingisse determinada vazão, o

amostrador fizesse a coleta. Cada amostrador é composto de cinco garrafas, e as alturas das vazões que os sifões fizeram as coletas estão representadas na tabela 1.

Tabela 1: Vazões correspondentes ao momento que os sifões dos amostradores fazem as coletas da mistura água/sedimento.

	ANA 1	ANA 2	ANA 3	ANA 4
Garrafa 1	50m ³ /h	50m ³ /h	50m ³ /h	150m ³ /h
Garrafa 2	150m ³ /h	150m ³ /h	150m ³ /h	250m ³ /h
Garrafa 3	200m ³ /h	200m ³ /h	200m ³ /h	400m ³ /h
Garrafa 4	300m ³ /h	300m ³ /h	300m ³ /h	650m ³ /h
Garrafa 5	400m ³ /h	400m ³ /h	400m ³ /h	925m ³ /h

Nota: ANA (Amostrador de Nível Ascendente)

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2012.

Os amostradores com seus respectivos números são referentes aos seus pontos. Os amostradores 1, 2 e 3 fazem as coletas com as mesmas vazões, pois no ponto 1 e 3 as calhas que medem as vazões tem a garganta de 6” (polegadas), com máxima vazão de 400 m³/h; apesar de a calha 2 ter a garganta de 9” (polegadas), com vazão máxima de 925m³/h, optou-se por manter as mesmas alturas das vazões, pois esta calha está próxima da calha do ponto 1. A calha do ponto 4 também tem garganta de 9” e vazão máxima de 925m³/h, por estar longe das demais e o canal fluvial passar a ser de terceira ordem, foi feita com a altura total de sua régua medidora.

Por ser um amostrador de nível ascendente, ele só fará as coletas quando o nível do rio estiver ascendendo durante um evento pluvial, fazendo com que este equipamento colete somente o material fino transportado pelo rio durante sua onda de cheia, “*flash flood*”, os quais estão instalados estrategicamente para que no momento em que a enxurrada da estrada aumenta a vazão do canal, o mesmo colete o material proveniente das estradas.

Após as coletas, as garrafas são retiradas dos amostradores e identificadas. A substituição das garrafas só ocorre quando os sifões das mesmas estiverem acima do espelho d’água, para que quando o nível do rio ascender seja possível fazer as respectivas coletas. Portanto, nem todas as coletas se iniciaram nas primeiras garrafas, algumas coletas se iniciaram na segunda ou até mesmo na terceira garrafa, pelo fato da lamina d’água estar encobrindo as primeiras garrafas.

Para auxiliar nas medições de vazão utilizou-se a régua fluviométrica de máxima, que é um equipamento com dispositivos para a coleta de água fixada na vertical, o qual capta o nível máximo que a lâmina d'água atinge. A régua fluviométrica é confeccionada em uma estaca de madeira com mangueiras coletoras (tubos) acopladas a ela uma acima da outra, com uma régua graduada junto a ela. Ela registra a cota máxima atingida pelo nível do rio através dos tubos, os quais têm 0,7 centímetros de diâmetro por três centímetros de comprimento. Cada receptáculo capta a água do pico de cheia, indicando assim o nível máximo que a lâmina d'água atingiu (ANTONELI e DOUHI, 2010).

Durante um evento chuvoso que aumente o nível da água dos rios (aumento de vazão), os dispositivos coletores vão ficar submersos e, quando a lâmina d'água voltar aos níveis normais, esses coletores vão reter água (Figura 16). Assim, ao considerar a altura em que a lâmina d'água alcançou comparando com a régua graduada das calhas, é possível estimar qual foi a máxima vazão atingida pelo canal durante o evento chuvoso (ANTONELI e DOUHI, 2010).

A régua serve para deixar registrada a cota máxima alcançada pela lâmina d'água quando o observador não estiver presente para registrar a vazão máxima alcançada pelo canal. As réguas foram instaladas à montante das calhas Parshall, alinhada a régua graduada medidora de vazão de cada calha.

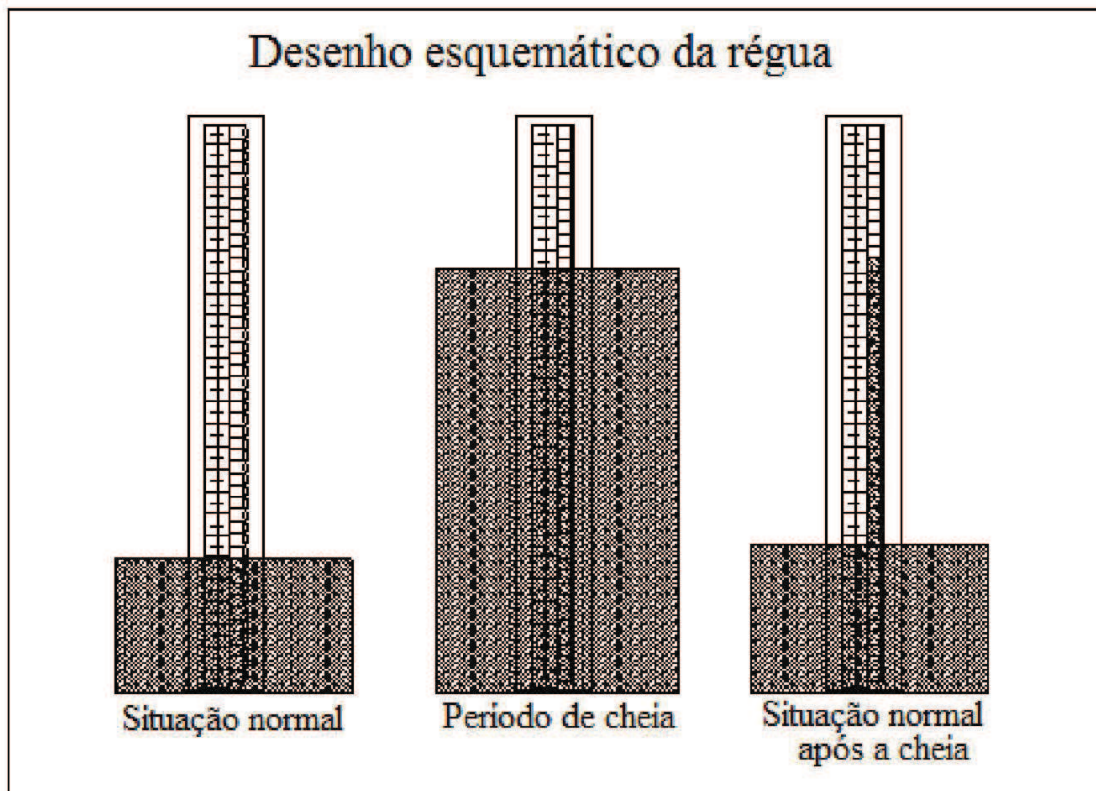


Figura 16: Comportamento da Régua Flúviométrica de Máxima ao pico de cheia.
Fonte: Antoneli, 2004.

Para a medição da pluviosidade utilizou-se pluviômetros, que são instrumentos cilíndricos dos quais captam a água da chuva que precipita sobre a área do anel superior do aparelho (NETTO, 1995). Alguns pluviômetros são digitais e registram as precipitações diretamente em milímetros, já outros necessitam de auxílio de provetas graduadas para se fazer a leitura da água acumulada no interior do aparelho e empregar a equação matemática para a obtenção da quantidade precipitada em milímetros.

A precipitação foi monitorada por meio de cinco pluviômetros instalados na área de estudo. Um dos pluviômetros utilizado foi o da Estação hidrossedimentológica do Rio Guabiroba (Figura 17). Os pluviômetros digitais são da marca Monsun – Funk-Regenmesser, modelo 4760, eles armazenam os dados das precipitações em um *datalogger*.

Os dois pluviômetros confeccionados em garrafas *pet* eram esvaziados após cada chuva, e eram feitas as leituras da água retida dentro dos mesmos através de uma proveta graduada, e era empregada a equação matemática (Equação 1).

$$(1) \quad P = 10 \frac{V}{A}$$

Onde:

P = precipitação em mm;

V = volume de água acumulada dentro do pluviômetro em ml;

A = área de captura do aparelho em cm²;

10 = para se obter a precipitação em mm.

Um pluviômetro foi instalado perto das calhas 1 e 2 e o outro perto da calha 4 (Figuras 6 e 17), optou-se por esses pluviômetros de garrafas *pet*, por seu baixo custo, pois os mesmos foram instalados em áreas abertas estando vulneráveis a vandalismos e perdas.

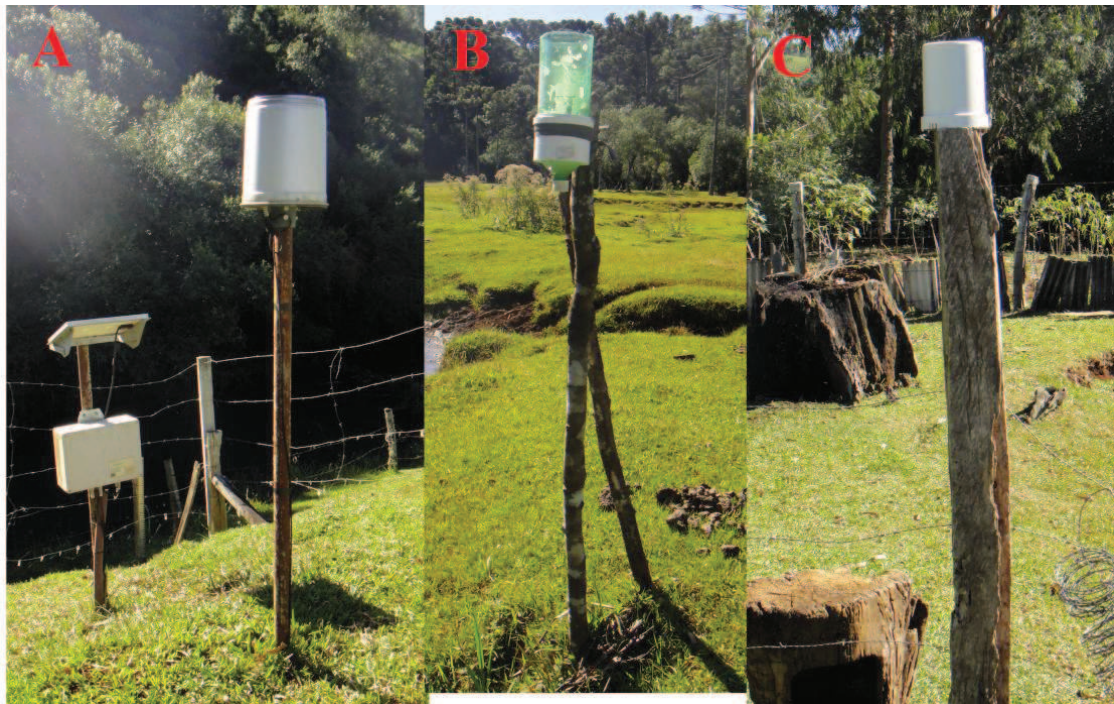


Figura 17: A - pluviômetro da Estação Hidrossedimentológica do Rio Guabiroba. B – pluviômetro elaborado de garrafa *pet*, localizado perto da calha 04. C – pluviômetro digital localizado perto da estação hidrossedimentológica do rio Guabiroba.

Após serem realizadas as coletas, tanto do amostrador de nível ascendente como as coletas manuais, as mesmas eram levadas para o laboratório, para a quantificação do sedimento suspenso. A estimativa do sedimento suspenso presente nas amostras foram realizadas pelo método de evaporação ou pela leitura da turbidez das amostras

utilizando-se de um turbidímetro. O equipamento faz a leitura em FTU (*Formazine Turbidity Unit*), posteriormente com a equação (Equação 2).

$$(2) \quad Y = 0.0004x + 0.0446$$

Onde:

Y = quantidade em gramas por litro de sedimento em suspensão;

x = valor dado no turbidímetro.

Optou-se por utilizar esses dois métodos, pois as amostras variavam muito na quantidade de sedimento suspenso. Usou-se o turbidímetro quando as amostras tinham pouco sedimento suspenso, não ultrapassando 0.44 g/l, pois o turbidímetro só faz as leituras da turbidez até 999 FTU, o qual corresponde a 0.44 g/l. Para as amostras que eram superiores a esta, utilizou-se o método de evaporação. Para a leitura no turbidímetro, as garrafas eram agitadas para que seu conteúdo ficasse homogêneo, retirando 10 ml da amostra e colocado em um tubete para que o aparelho pudesse fazer a leitura da turbidez contida na amostra. Foram realizadas três repetições para cada amostra e feita uma média final; posteriormente era aplicada a equação para obter o sedimento suspenso em g/l.

O processo de evaporação das amostras se procedeu agitando o conteúdo de cada garrafa, para homogeneizar as amostras, e colocado 400 ml das amostras em recipientes, previamente pesados em balança analítica, levados para estufa a uma temperatura de 105 °C, até a secagem total. Após as amostras estarem secas, as mesmas eram pesadas novamente e subtraía-se o peso seco final ao peso do béquer previamente conhecido, obtendo a quantidade em gramas de sedimento suspenso em 400 ml de água, com uma regra de três simples, obtém-se a quantidade de sedimento suspenso em g/l.

Com as coletas realizadas, os eventos foram separados em: eventos completos (que são os eventos que tiveram todas as garrafas preenchidas com as amostras de água/sedimento); eventos sucedidos por um período de estiagem (eventos sucedidos entre 5 a 15 dias de estiagem); e eventos sucedidos por chuvas (eventos sucedidos entre 1 a 4 dias de chuva). Os eventos foram separados dessa forma para a compreensão da dinâmica do comportamento hidrossedimentológico acerca da transferência e disponibilidade de sedimento nos leitos das estradas.

Para os eventos completos foram feitos gráficos do aumento de vazão durante um evento de chuva e da variação da concentração de sedimento suspenso.

Foi realizada estatística descritiva nos dados dos eventos sucedidos de um período de estiagem e de chuva e a porcentagem de aumento ou não, tanto da vazão como do sedimento em suspensão para os dois períodos (estiagem e chuva).

Por fim, foi feita a análise da porcentagem de contribuição das estradas rurais em relação à vazão e ao sedimento suspenso, usando todos os eventos monitorados. Para tanto, foram abordadas todas as variáveis encontradas no campo, como umidade antecedente (eventos sucedidos de estiagem e chuva) e eventos em que os Amostradores de Nível Ascendente fizeram todas as coletas (eventos completos), tendo a dinâmica de vazão e de sedimento suspenso durante os eventos.

O cálculo do aumento de vazão durante um evento de chuva e da variação da concentração de sedimento suspenso é exemplificado a seguir:

Com o dado da vazão da calha 1 (MES) e da calha 2 (JES), subtrai-se um pelo outro e obtêm-se o aumento da vazão proporcionada pela ES. Com os dados de vazão das calhas 2 e 3 (MEP) e da calha 4 (JEP), soma-se as vazões das calhas 2 e 3 e subtrai-se pela vazão da calha 4, obtendo o aumento da vazão proporcionada pela EP (Tabela 2).

Tabela 2: Exemplo de como se obteve o aumento de vazão durante um evento de chuva proporcionado pelas estradas rurais.

	Q (m ³ /h)	Aumento Q (m ³ /h)
Calha 1	230	ES:
Calha 2	260	30
Calha 2+3	260+250=510	EP:
Calha 4	600	90

Nota: Q: vazão; ES: estrada secundária; EP: estrada principal.

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

Para o cálculo da variação da concentração de sedimento suspenso durante um evento de chuva, foi, primeiramente, somado as coletas feitas pelos amostradores na calha 1 (MES) e as coletas da calha 2 (JES); em seguida, foi subtraído o resultado da soma da calha 2 (JES) do resultado da soma da calha 1 (MES), obtendo o valor da contribuição da ES e, foi feita a porcentagem dessa contribuição. Para o cálculo da contribuição de sedimento suspenso proporcionado pela EP, foi feita a soma das coletas

dos amostradores 2 e 3 (MEP) separadamente e, feita a média das duas coletas, subtraindo com a soma feita do amostrador da calha 4 (JEP), obtendo a contribuição da EP na variação da concentração de sedimento suspenso no canal fluvial (Tabela 3).

Tabela 3: Exemplo de como se obteve a variação da concentração de sedimento suspenso proporcionado pelas estradas rurais.

	1ª Coleta (g/l)	2ª Coleta (g/l)	3ª Coleta (g/l)	4ª Coleta (g/l)	Soma (g/l)	Subtração (g/l)
Calha 1	0,05	0,06	0,05	0,05	0,21	Contribuição CSS ES: 1,53
Calha 2	0,35	0,85	0,30	0,24	1,74	
Calha 3	0,05	0,07	0,06	0,07	0,25 (média calha 2 e 3 = 1)	Contribuição CSS EP: 0,02
Calha 4	0,30	0,33	0,21	0,18	1,02	

Nota: CSS: concentração de sedimento suspenso; ES: estrada secundária; EP: estrada principal.

3 Resultados e Discussões

3.1 Caracterização física das estradas rurais sem pavimentação

Os dados coletados das caracterizações de cada setor das estradas são especificados a seguir (Figura 18) (Tabela 4):

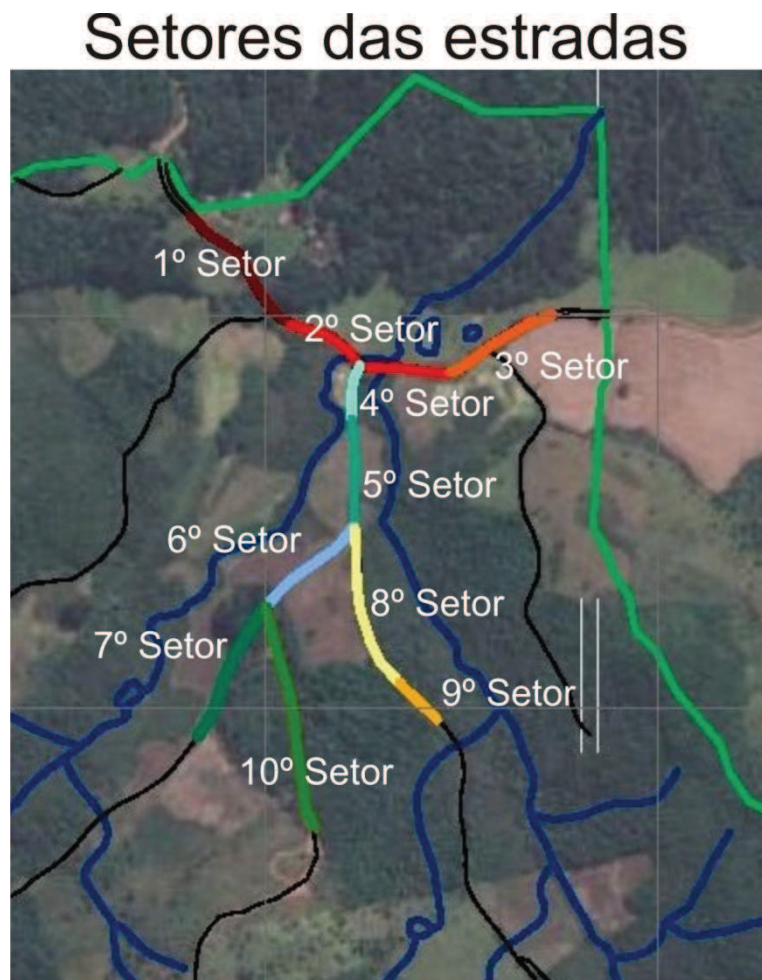


Figura 18: Setores das estradas que foram feitas as caracterizações.
Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

Tabela 4: Dados das características físicas da estrada Principal.

Estrada Principal:			
	1º setor	2º setor	3º setor
Largura média (m)	3,85 ± 0,53 (n = 15)	4,30 ± 0,44 (n = 18)	4,53 ± 0,34 (n = 10)
Comprimento (m)	225	270	131
Barranco direito média de altura (m)	0,31	0,13	1,73
Barranco esquerdo média de altura (m)	0,94	0,25	0,61
Declividade em graus	2,1°	0,8°	1,8°
Estimativa da cobertura do leito da estrada superfície de terra	62%	82%	65%
seixos	38%	18%	35%

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

A estrada principal foi dividida em três setores, pois ela se diferenciava tanto nas alturas de barrancos quanto na declividade. O primeiro setor foi delimitado da área de contribuição desta, em direção à área de estudo, totalizando 225 m, onde a estrada passa a ser uma pendente com declividade de 2,1°. A média da largura da estrada neste setor é de 3,85 m. O barranco direito tem em média 0,31m e o esquerdo tem 0,94 m. Ambos os lados das estradas têm 66,6% de barranco 100% vegetados e os outros 33,3% são de valetas ou de ausência de barrancos; a estrada não apresenta vegetação no leito (Tabela 4).

Quando a estrada começa a ficar mais retilínea (declividade 0,8°), pelo fato de estar perto dos cursos d'água em questão, inicia-se o segundo setor, o qual tem 270 m de comprimento. A média da largura da estrada aumenta, passando para 4,30 m, e as alturas dos barrancos diminuem, prevalecendo as valetas nesse setor: do lado direito, 94,9% desse setor são valetas e somente 5,6% barrancos. Os barrancos do lado direito da estrada têm, em média, 0,13 m. Já do lado esquerdo, há 83,3% de valetas e 16,7% de barranco, sendo a média de altura dos barrancos de 0,25 m.

O terceiro setor se inicia quando a estrada começa a ter novamente um aumento de inclinação (1,8°), a largura da estrada tende a aumentar (4,53 m) e tem um comprimento de 131 m. Neste setor os barrancos são mais altos, 1,73 m do lado direito,

tendo ausência de valetas e todo vegetado e, do lado esquerdo 0,61 m, o qual tem 60% de valetas e somente 40% dos barrancos com vegetação. A estrada como um todo, de uma área de contribuição à outra, tem 626 m de comprimento sem a presença de vegetação em seu leito, somente superfície de terra e seixos.

Tabela 5: Dados das características físicas da estrada Secundária.

Estrada Secundária:				
	4º setor	5º setor	6º setor	7º setor
Largura média (m)	4,62 ± 0,57 (n = 5)	4,90 ± 0,44 (n = 8)	4,02 ± 0,38 (n = 9)	3,52 ± 0,55 (n = 5)
Comprimento (m)	75	120	135	75
Barranco direito média de altura (m)	0,43	0,52	0,41	0,58
Barranco esquerdo média de altura (m)	0,46	0,58	0,78	0,96
Declividade em graus	1º	2,2º	3,1º	4,7º
Estimativa da cobertura do leito da estrada superfície de terra:				
seixos:	31%	26%	5%	0%
vegetação:	0%	0%	31%	47%

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

A estrada secundária foi dividida em quatro setores (4º, 5º, 6º e 7º), pois ao longo de seu leito apresentava seções com vegetação, diferença de declividade e indo em direção ao final da estrada, a mesma apresentava um estreitamento de sua largura. O comprimento total da estrada, partindo do início e indo até a área de contribuição do escoamento superficial, totalizou 405 m.

O quarto setor foi delimitado do início da estrada secundária, que se dá na estrada principal, até a lombada, que é utilizada como um sistema de drenagem, totalizando 75 m com declividade de 1º. Neste setor os barrancos tiveram uma média de altura: barranco direito, de 0,43 m, tendo vegetação em 60% dos barrancos, ou seja, em 40% dos barrancos não havia vegetação, com ausência de valetas; e barrancos do lado esquerdo tiveram uma média de altura de 0,46 m, e a porcentagem de cobertura se repetiu ao do lado direito (Tabela 5).

O quinto setor se inicia a partir da lombada até a próxima curva, que coincide com o início da estrada abandonada, totalizando 120 m. Nesse setor a estrada fica mais larga (4,90 m) e sua declividade aumenta, passando para 2,2°. A declividade dos barrancos fica um pouco mais alta, sendo a altura mediana do barranco esquerdo 0,52 m e no direito 0,58 m, ambos com vegetação.

Neste setor, apresentam-se sulcos no leito da estrada, onde esta forma erosiva se inicia na margem direita da estrada, cruza o seu leito e dá continuidade pelo lado esquerdo, tendo um comprimento de 18,40 m; sua largura varia de 0,47 m a 0,62 m, onde apresenta uma incisão que varia de 0,11m a 0,21 m no ponto mais baixo (Figura 19).



Figura 19: Formação de sulco no leito da estrada secundária. Data: 05/06/2013.
Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

O sexto setor se inicia na curva, que também é o início da estrada abandonada, indo até a outra curva, que se inicia o carreador em propriedade particular, tendo 135 m

de comprimento, a largura da estrada começa a diminuir, passando para 4,02 m e a declividade aumenta para 3,1°. O barranco direito tem uma diminuição da média de sua altura, 0,41 m, sendo que 44,5% dos barrancos não têm vegetação; o barranco do lado esquerdo aumenta a altura, passando para 0,78 m, todo vegetado. Nesse setor a vegetação no leito da estrada (31%) começa a aparecer e é superior a porcentagem de seixo em seu leito (5%), mas ainda predomina terra (64%) em sua pavimentação.

O sétimo setor inicia-se na curva, próximo a entrada do carreador em propriedade particular e vai até o ponto de contribuição de escoamento superficial da mesma, tendo 75 m de comprimento. A largura diminui novamente, caindo para 3,52 m e a declividade aumenta para 4,7°. As médias das alturas dos barrancos aumentam novamente, barranco direito com 0,58 m, todo vegetado, e o barranco esquerdo com 0,96 m, o qual tem 80% de barranco vegetado. Neste setor a vegetação no leito da estrada é praticamente igual à de terra, sendo que tem 53% de terra e 47% de vegetação. Esta seção da estrada não é muito utilizada, comprovando isto pelo fato da estrada apresentar uma porcentagem “grande” de vegetação em seu leito. A estrada secundária, do seu início até a área de contribuição do escoamento superficial, tem 405 m, a vegetação começa a aparecer no leito da estrada no sexto e sétimo setor, sendo que o sétimo setor não apresentou seixos, somente terra e vegetação em seu leito.

Tabela 6: Dados das características físicas da estrada Abandonada.

Estrada Abandonada:		
	8º setor	9º setor
Largura média (m)	4,26 ± 0,42 (n = 10)	4,28 ± 1,19 (n = 5)
Comprimento (m)	150	60
Barranco direito média de altura (m)	0,33	0,17
Barranco esquerdo média de altura (m)	0,75	0,41
Declividade em graus	8,6°	3,4°
Estimativa da cobertura do leito da estrada superfície de terra:	75%	74%
seixos:	25%	26%

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

A estrada abandonada foi dividida em dois setores (8° e 9°), essa divisão se deu predominantemente pela declividade da mesma, pois a estrada tem 210 m, partindo do seu início até o limite de sua área de contribuição, onde 150 m têm maiores declividades e os outros 60 m são de menores declividades.

Sendo assim, o oitavo setor, tem início na intersecção com a estrada secundária, indo até o final de suas maiores declividade (média de 8,6°), com um comprimento de 150 m; a largura não varia tanto de um setor para o outro (média da largura do oitavo setor: 4,26 m). O barranco direito tem 0,33 m, com 80% deles vegetados, mas este trecho da estrada tem 90% de barrancos, onde temos 10% de valetas. O barranco esquerdo tem 0,75 m, com 70% vegetado, não ocorrendo valetas.

As características do nono setor quase não se diferem do oitavo, somente nas alturas dos barrancos e na declividade, pois a largura da estrada praticamente se mantém a mesma (média da largura do nono setor, 4,28 m), este setor tem 60 m de comprimento e uma declividade de 3,4°. O barranco direito apresenta-se menor, com 0,17 m, onde 80% é vegetado, e o esquerdo com 0,41 m, todo vegetado.

Tabela 7: Dados das características físicas do carreador em propriedade Particular.

Carreador em propriedade Particular:	
	10° setor
Largura média (m)	4,30 ± 0,35 (n = 17)
Comprimento (m)	230
Barranco direito média de altura (m)	0,74
Barranco esquerdo média de altura (m)	0,78
Declividade em graus	8°
Estimativa da cobertura do leito da estrada superfície de terra:	66%
seixos:	21%
vegetação:	13%

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

O carreador em propriedade particular foi classificado em um único setor (10°), por apresentar homogeneidade em todas as suas variáveis (Figura 18). Tendo uma

declividade de 8°, com um comprimento de 230 m, a média da largura da estrada foi de 4,30 m. Os barrancos do lado direito tiveram uma média de 0,74 m, todos vegetados e os do lado esquerdo, teve uma média de 0,78 m, também todo vegetado (Tabela 7).

A contribuição da estrada secundária (ES) é composta pelo 5°, 6° e 7° setor da secundária, 8° e 9° setor da estrada abandonada e o 10° setor do carreador em propriedade particular. A contribuição da estrada principal (EP) é composta pelo 1°, 2° e 3° setor da estrada principal e pelo 4° setor da estrada secundária, já que neste último, o escoamento superficial liga-se a estrada principal, pois a lombada na estrada secundária é o divisor do primeiro para o segundo setor da mesma, a qual retira a mistura água/sedimento do leito da estrada e destina para o canal fluvial (Figura 20).

Com os dados apresentados das caracterizações das estradas rurais sem pavimentação, elaborou-se a análise dos setores das estradas que tinham como contribuição a estrada secundária e a estrada principal, a qual se configurou da seguinte maneira:

A estrada secundária (5°, 6°, 7°, 8°, 9° e 10° setores das estradas) teve uma área de leito de estrada de 3.279,50 m², apresentando em seu leito 67% de terra, 18% de seixos e 15% de vegetação. A área de barranco do lado direito da estrada foi de 395,25 m², onde 35,85 m² não apresentavam vegetação, os barrancos se apresentaram 100% retilíneos (ângulo reto). Os barrancos do lado esquerdo foram de 557,91 m², onde 14,48 m² não apresentavam vegetação, os barrancos apresentaram 84% com ângulo reto, 3% com ângulo agudo e 13% de valetas (ausência de barranco). A amplitude da declividade das estradas foi de 6,4°, variando de 2,2° a 8,6°.

Aponta-se que as estradas secundárias, abandonadas e carreadores em propriedades particulares são construídas em declividades mais acentuadas na bacia de drenagem, as quais quase não possuem sistemas de drenagens, e têm seus leitos encaixados no relevo com barrancos altos, presença de formas erosivas no leito e não são tão compactadas como as estradas principais, devido à presença de vegetação em seu leito.

Já a estrada principal (1°, 2°, 3° e 4° setores das estradas) teve uma área de leito de estrada de 2.967,18 m², apresentando em seu leito 69,5% de terra e 30,5% de seixos. A área de barranco do lado direito da estrada foi de 308,38 m², onde 20 m² não apresentavam vegetação, os barrancos apresentaram 25% com ângulo reto, 21% com ângulo agudo e 54% de valetas (ausência de barranco). E os barrancos do lado esquerdo foram de 220,56 m², onde 21 m² não apresentavam vegetação, os barrancos

apresentaram 26% com ângulo reto, 22% com ângulo agudo e 52% de valetas (ausência de barranco). A amplitude da declividade das estradas foi de 1,3°, variando de 0,8° a 2,1°.

Por ser uma estrada de grande circulação de veículos, possui o leito mais compactado, sistemas de drenagens ao longo de seu leito, como valetas, caixas coletoras de escoamento superficial (Caixas de contenção), baixas declividades, por serem construídas próximas aos vales da bacia de drenagem e, não apresentam vegetação em seu leito.

3.2 Análise da transferência de sedimento suspenso do leito das estradas para os canais fluviais em função da ascensão da vazão nos canais fluviais

Em um primeiro momento foi feita a análise dos eventos completos, os quais somaram oito eventos com precipitação que variaram de 37 a 56 mm, e dois eventos com precipitações de 130 e 137 mm, totalizando 10 eventos completos.

Geraram-se gráficos para cada evento: 10 gráficos com a contribuição da estrada secundária e 10 gráficos com a contribuição da estrada principal. Neles estão representadas as variáveis que correspondem à transferência da mistura água/sedimento proporcionados pelas estradas para os canais fluviais, no decorrer da ascensão da vazão dos mesmos.

A contribuição da estrada secundária na transferência de sedimento para o canal fluvial, utilizando os dados dos eventos completos, pode ser observada nas figuras 20 e 21.

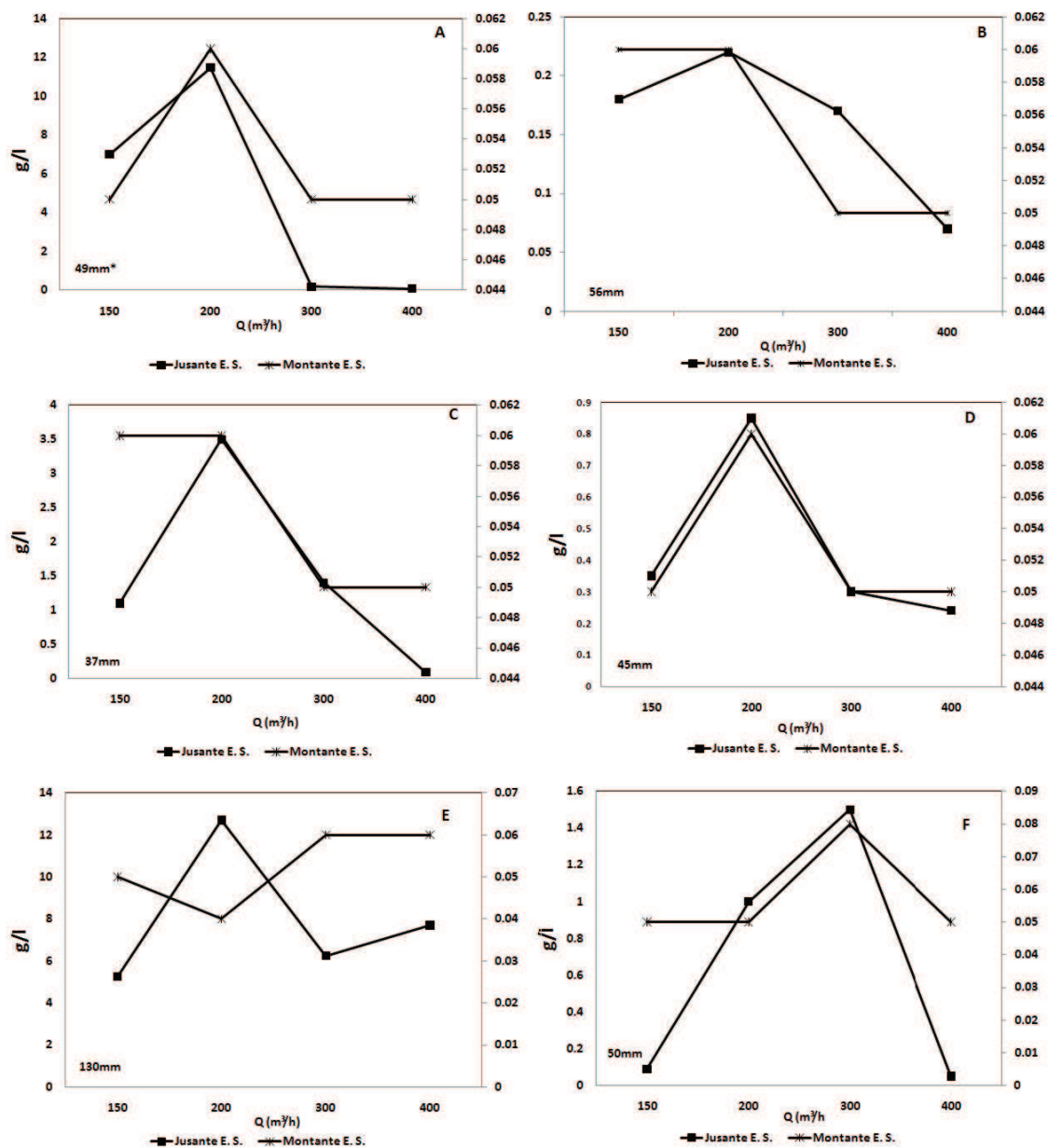


Figura 20: Gráficos da contribuição de sedimento suspenso na ascensão da vazão do canal fluvial, proporcionada pela estrada Secundária (ES). (* precipitação do evento).
 Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

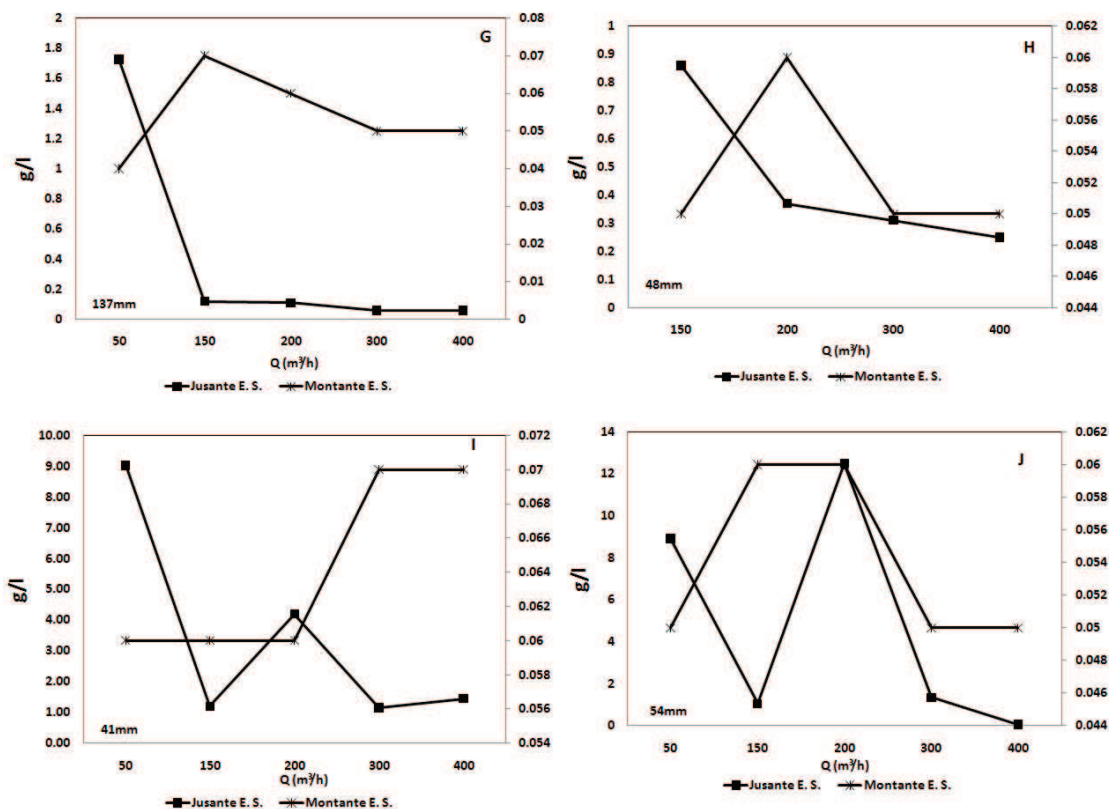


Figura 21: Gráficos da contribuição de sedimento suspenso na ascensão da vazão do canal fluvial, proporcionada pela estrada Secundária (ES).

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

Cinco eventos a jusante tiveram a concentração de sedimento suspenso maior no segundo nível de coleta, onde no início do evento a concentração de sedimento suspenso a jusante é superior que a montante, tendo um pico de concentração no segundo nível de coleta, a qual tende a reduzir conforme a continuação do evento, até a estabilização da concentração de sedimento suspenso com o fim da precipitação e do escoamento superficial na estrada (Figura 21, A, B, C, D e E).

Na figura 20, A, B, C, D e E, a concentração de sedimento suspenso na segunda coleta mostra que a carga de lavagem não é a mais representativa, já que ela é inferior ao pico ocorrido na segunda coleta. Mas, as concentrações de sedimento suspenso nas primeiras coletas são basicamente iguais as registradas nas terceiras coletas, com posterior declínio, exaustão dos sedimentos finos.

Em outro evento a concentração de sedimento suspenso é crescente, tendo seu pico no terceiro nível da coleta e uma diminuição na seqüência, chegando à estabilização com o fim da precipitação e o escoamento superficial no leito das estradas (Figura 20, F).

Em contrapartida, dois eventos tiveram os picos maiores de sedimento suspenso na primeira coleta e depois tiveram uma redução da sua concentração ao longo do evento pluvial, mostrando que a carga de lavagem foi a responsável por esse aumento inicial da concentração de sedimento suspenso e depois foi cessando a disponibilidade de sedimento para o transporte ao longo do escoamento superficial no leito das estradas (Figura 21, G e H).

Outros dois eventos tiveram dois picos de sedimento suspenso: um na primeira coleta e outro na terceira coleta, com diminuição da concentração de sedimento suspenso com o fim da precipitação e do escoamento superficial na estrada (Figura 22, I e J).

A concentração de sedimento suspenso nas primeiras coletas mostra a participação da carga de lavagem; e mais um pico de sedimento suspenso na terceira coleta mostra que, mesmo depois do início do escoamento superficial, ainda havia sedimento no leito das estradas para serem transportados. Além disso, pode ter ocorrido aumento do volume e intensidade da chuva influenciando a transferência de sedimento e aumento da vazão (Figura 21, I e J).

Na figura 21, I, a carga de lavagem é superior ao verificado no segundo pico no terceiro nível de coleta, diferentemente da figura 21, J, que o segundo pico, dado no terceiro nível de coleta, é superior a carga de lavagem, dada na primeira coleta.

Na estrada secundária, a maioria da resposta hidrossedimentológica dos eventos completos indicou um pico de sedimento suspenso no segundo nível de coleta ascendente. Contudo, houve também uma participação da carga de lavagem nas primeiras coletas dos eventos.

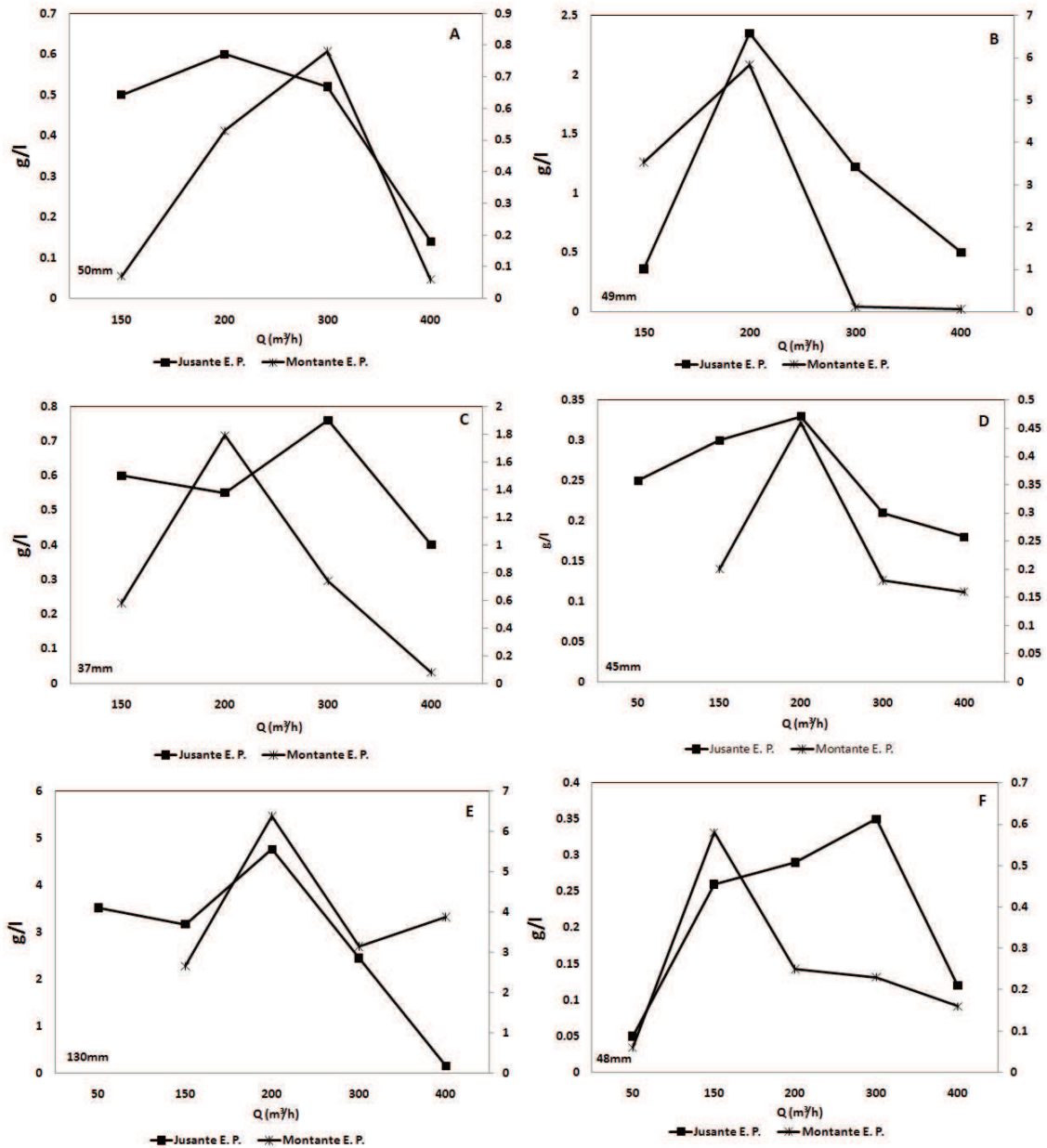


Figura 22: Gráficos da contribuição de sedimento suspenso na ascensão da vazão do canal fluvial, proporcionada pela estrada Principal (E. P.).
Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

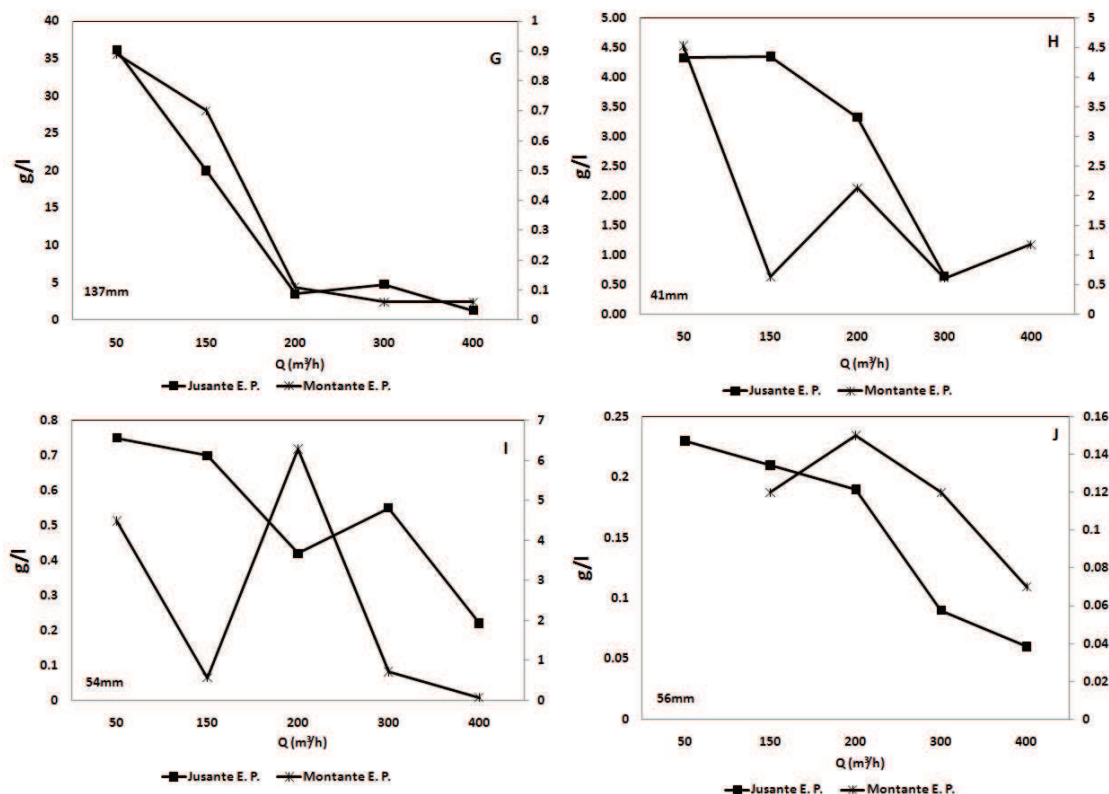


Figura 23: Gráficos da contribuição de sedimento suspenso na ascensão da vazão do canal fluvial, proporcionada pela estrada Principal (EP).

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

Com relação à estrada principal (EP) dois eventos tiveram a concentração de sedimento suspenso na segunda coleta, tendo um declínio de sua concentração ao longo da precipitação, chegando à estabilização com o fim do escoamento superficial no leito da estrada (Figura 22, A e B).

Três eventos tiveram a maior concentração de sedimento suspenso na terceira coleta, posteriormente com a diminuição da concentração com o fim da precipitação e o escoamento superficial na estrada (Figura 22, C, D e E).

Na figura 22, C e E tiveram um pico na primeira coleta, uma diminuição na segunda e um maior pico na terceira coleta, mostrando que a “carga de lavagem teve uma participação nesses eventos”.

Um evento teve o pico de concentração de sedimento suspenso na quarta coleta, o qual também, posteriormente, teve uma redução de sua concentração com o final da precipitação e do escoamento superficial na estrada (Figura 22, F).

Nos três casos (Figura 22, C, D e E), com os seis eventos, a carga de lavagem não teve “tanta representatividade”, apesar de alguns eventos iniciarem suas coletas com uma alta concentração de sedimento suspenso.

Com relação aos eventos que se iniciaram com uma alta concentração de sedimento suspenso, eles indicam o papel da carga de lavagem ocorrida no leito da estrada principal. Os outros quatro eventos mostram que a carga de lavagem gera um pico na concentração de sedimento suspenso no início do escoamento superficial, tendendo a diminuição da concentração ao longo do evento, mostrando um decréscimo na disponibilidade de sedimento para o transporte no leito da estrada ou mesmo redução da precipitação (Figura 23, G, H, I e J).

Na maioria dos eventos, a carga de lavagem da estrada principal foi a mais representativa e/ou ficou próxima do pico de sedimento suspenso ocorrido em outros níveis de coletas que não as primeiras. Isto mostra que a estrada principal contribui com a concentração de sedimento suspenso para o canal fluvial principalmente com a carga de lavagem e com alguns picos no segundo e terceiro nível de coleta ao longo dos eventos. Além disso, ocorre um retardamento da contribuição de sedimento originado na estrada secundária, já que ela está à montante da estrada principal.

3.3 Análise de sedimento suspenso proporcionada pela estrada secundária em período de estiagem e antecedido de chuva

Nos eventos antecedidos de um período de estiagem (entre 5 e 15 dias de estiagem) em que a estrada secundária apresentou variação da concentração de sedimento suspenso, foi aplicada estatística descritiva para análise do efeito dessa condição (Tabela 8).

Tabela 8: Estatística descritiva dos dados de sedimento suspenso proporcionado pela estrada secundária em período de estiagem (montante e jusante).

	Montante ES	Jusante ES
Tamanho da amostra	19	19
Mínimo	0,04	0,15
Máximo	0,32	31,92
Amplitude total	0,28	31,77
Mediana	0,21	1,49
Média	0,17	6,44
Variancia	0,006	93,79
Desvio padrão	0,07	9,68
Erro padrão	0,01	2,22
Coefficiente de variação	46,39%	150,36%

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

A contribuição da estrada secundária na concentração de sedimento suspenso no período de estiagem foi mais variável a jusante. A mediana a montante foi de 0,21 g/l, enquanto a mediana da contribuição da estrada a jusante foi de 1,49 g/l. Essa concentração sete vezes maior a jusante mostra a entrada de sedimento proporcionada pela estrada secundária no canal fluvial.

Conseqüentemente a montante, por não receber contribuição da estrada, teve uma variação menor (46%). Em contrapartida a jusante da estrada, onde esta recebe a contribuição de água/sedimento, teve um coeficiente de variação maior (150%), indicando que os dados são influenciados por valores extremos.

Nos eventos antecedidos de chuvas (entre 1 e 4 dias de chuva), em que a estrada secundária teve contribuição na variação da concentração de sedimento suspenso, foi aplicada estatística descritiva para análise do efeito dessa condição (Tabela 9).

Tabela 9: Estatística descritiva dos dados de sedimento suspenso proporcionado pela estrada secundária em período antecedido de chuva (montante e jusante).

	Montante ES	Jusante ES
Tamanho da amostra	5	5
Mínimo	0,08	0,10
Máximo	0,15	0,93
Amplitude total	0,07	0,83
Mediana	0,10	0,17
Média	0,10	0,41
Varinacia	0,0007	0,15
Desvio padrão	0,02	0,39
Erro padrão	0,01	0,17
Coefficiente de variação	23,97%	96,36%

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

A contribuição da estrada secundária na concentração de sedimento suspenso no período sucedido de chuva foi de que a montante da estrada, a amplitude dos dados foi baixa, 0,07 g/l; e a amplitude dos dados a jusante da contribuição da estrada, foi de 0,83 g/l, mostrando que este último recebe sedimento gerado pela estrada secundária.

Conseqüentemente, a montante, por não receber contribuição da estrada, teve seu desvio padrão baixo, o coeficiente de variação foi inferior a 25%, indicando que seus dados têm uma homogeneidade. Já a jusante da estrada, o coeficiente de variação chegou a mais de 90%, indicando que os dados são influenciados por valores extremos.

Observou-se que no período antecedido de estiagem, a amplitude total dos dados, variância, desvio padrão e o coeficiente de variação foram superiores ao do período sucedido de chuva, indicando que em períodos de estiagem, as estradas secundárias têm mais tempo para produzirem e disponibilizarem sedimentos finos no leito. Assim, o transporte da carga de lavagem é facilitado, pois os sedimentos ficam estocados no leito, estando sujeitos ao transporte durante uma precipitação que gere escoamento superficial.

No período antecedido por chuva, as estradas e barrancos não têm tempo de produzirem e disponibilizarem quantidades de sedimentos finos, pelo fato que a precipitação e escoamento superficial exaurem o material disponível. Assim, pode ocorrer o aumento da vazão sem resultar na variação da concentração de sedimento suspenso.

As porcentagens de sedimento suspenso proporcionado pela estrada secundária, em comparação entre montante e jusante nos dois períodos, foram de 2.974% de sedimento suspenso no período de estiagem e de 343% em período sucedido de chuva (Figura 24).

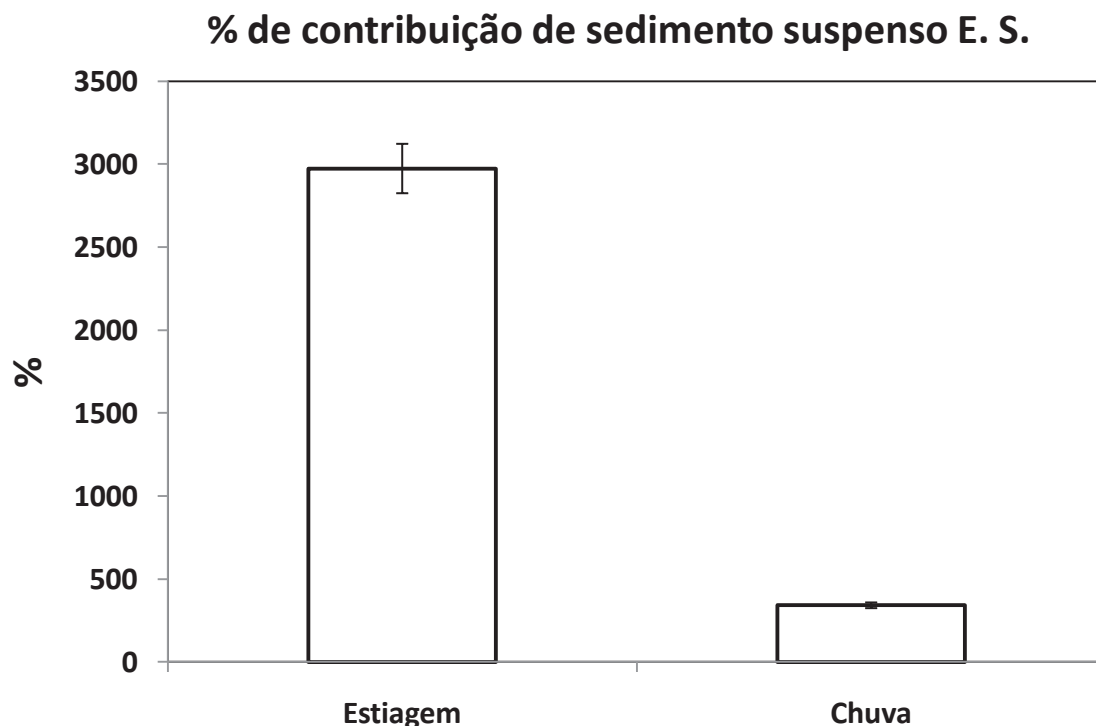


Figura 24: Comparação (montante e jusante) entre a contribuição de sedimento suspenso da estrada secundária nos dois períodos, estiagem e antecedido de chuva.

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

3.4 Análise de sedimento suspenso proporcionada pela estrada principal em período de estiagem e antecidos de chuvas

Nos eventos antecidos de um período de estiagem (entre 5 e 15 dias de estiagem), em que a estrada principal teve variação da concentração de sedimento suspenso, foi aplicada estatística descritiva para análise do efeito dessa condição (Tabela 10).

Tabela 10: Estatística descritiva dos dados de sedimento suspenso proporcionado pela estrada principal em período de estiagem (montante e jusante).

	Montante EP	Jusante EP
Tamanho da amostra	19	19
Mínimo	0,12	0,25
Máximo	16,06	17,05
Amplitude total	15,94	17,05
Mediana	0,99	1,76
Média	3,96	5,86
Variancia	31,61	47,61
Desvio padrão	5,62	6,90
Erro padrão	1,87	2,30
Coefficiente de variação	141,98%	117,62%

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

A contribuição da estrada principal na concentração de sedimento suspenso no período de estiagem indicou que na montante da estrada, a amplitude dos dados foi um pouco abaixo da amplitude a jusante. De tal modo que a contribuição a jusante permanece superior devido ao sedimento proveniente da estrada principal.

O desvio padrão tanto da montante quanto da jusante foram altos, no entanto, a jusante foi superior, confirmado pelo fato da variância ter ficado alta a jusante e mais baixa a montante. É preciso considerar que as coletas realizadas a montante da estrada principal são as coletas a jusante da estrada secundária, de tal modo que a montante da estrada principal o canal fluvial já tem variação da concentração de sedimento suspenso proveniente da estrada secundária.

Nos eventos antecidos de chuvas (entre 1 e 4 dias de chuva), em que a estrada principal teve como contribuição na variação da concentração de sedimento suspenso, foi aplicada estatística descritiva para análise do efeito dessa condição (Tabela 11).

Tabela 11: Estatística descritiva dos dados de sedimento suspenso proporcionado pela estrada principal em período antecido de chuva (montante e jusante).

	Montante EP	Jusante EP
Tamanho da amostra	6	6
Mínimo	0,13	0,13
Máximo	0,57	4,08
Amplitude total	0,44	3,95
Mediana	0,14	0,21
Média	0,29	1,06
Variancia	0,04	2,89
Desvio padrão	0,21	1,70
Erro padrão	0,09	0,76
Coefficiente de variação	75,05%	160,31%

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

A contribuição da estrada principal na concentração de sedimento suspenso no período sucedido de chuva registrou a montante uma amplitude total de 0,44 g/l, já a jusante a amplitude foi mais alta que a montante, 3,95 g/l. A mediana a montante foi de 0,14 g/l, enquanto a mediana da contribuição da estrada a jusante foi de 0,21 g/l. Essa concentração uma vez e meia maior a jusante mostra a entrada de sedimento proporcionada pela estrada principal no canal fluvial.

O desvio padrão a montante da estrada foi baixo, sendo confundida com a média; confirmando este fato, a variância também ficou baixa, indicando que seus dados são iguais à média. Mas, em contrapartida, o coeficiente de variação foi alto, chegando a mais de 75%, indicando que os dados não são homogêneos. A jusante da estrada, onde

esta recebe a contribuição de água/sedimento, teve o coeficiente de variação mais que o dobro do coeficiente de variação a montante, indicando que os dados são influenciados por valores extremos.

A partir dos resultados de sedimento suspenso proporcionado pela estrada principal, tanto no período de estiagem como no período sucedido de chuva, foi observado que no período sucedido de estiagem a amplitude total dos dados, variância e desvio padrão foram superiores ao do período sucedido de chuvas. Isto indica que no período sucedido de estiagem, as estradas e barrancos têm mais tempo para produzirem/disponibilizarem sedimento no leito das estradas, antes que chuvas subseqüentes gerem escoamento superficial no leito das mesmas, causando transporte do sedimento disponível.

No entanto, o coeficiente de variação foi maior a montante em período de estiagem que a jusante para o mesmo período. Fato este que, em período de estiagem, a disponibilidade de sedimentos finos para serem transportados pelo escoamento gerado no leito da estrada principal é maior que nos períodos sucedidos de chuvas, fazendo com que haja uma maior variação na concentração de sedimento suspenso. E as coletas feitas a montante da estrada principal já contém a contribuição da estrada secundária, fazendo com que o coeficiente de variação dos dados fique maior que a jusante.

O sedimento suspenso proporcionado pela estrada principal para o canal fluvial nos dois períodos revela que, no período de estiagem, a estrada principal contribuiu com 246% de sedimento suspenso e no período sucedido de chuva ela contribuiu com 251% de sedimento suspenso, isto é, cerca de 5% de diferença de contribuição de sedimento suspenso. Isto indica que a estrada principal não apresenta uma diferença tão acentuada entre as porcentagens de contribuição de sedimento suspenso para o canal fluvial nos dois períodos (Figura 25).

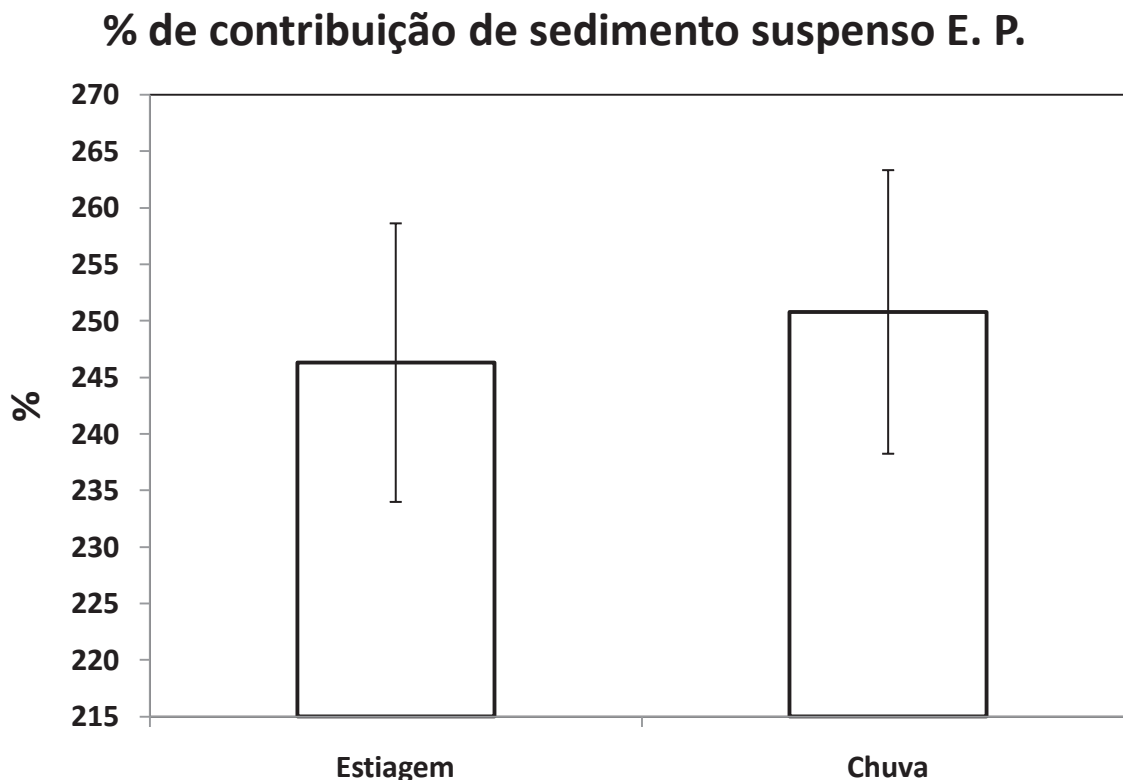


Figura 25: Comparação (montante e jusante) entre a contribuição de sedimento suspenso da Estrada Principal nos dois períodos, estiagem e antecedido de chuva.

Fonte: Gustavo Toledo Peretto, 2013.

3.5 Contribuição de sedimento suspenso e aumento de vazão causada pelas estradas

Quanto à porcentagem de contribuição de sedimento suspenso e aumento de vazão proporcionada pelas estradas, revela-se que a estrada secundária contribuiu com $2.076\% \pm 3831$ de sedimento suspenso para os canais fluviais, a qual tem uma contribuição, por metro quadrado, de $0,63\%$; já a contribuição de vazão para o canal fluvial foi de $31\% \pm 25$.

A alta contribuição de sedimento suspenso e o aumento na vazão do canal fluvial se justificam pelas declividades das estradas, quantidade de barrancos, tipos de leito e o tipo e intensidade do tráfego (o tipo e intensidade do tráfego se justificam pelo grau de uso da estrada, sendo que a estrada principal terá maior tráfego que a estrada secundária). Além disso, essa estrada conecta-se com um canal de segunda ordem, o qual terá uma maior variação da concentração de sedimento suspenso e de vazão proporcionada pela estrada, pelo fato de suas características físicas (Vazão).

A estrada principal contribuiu com $326\% \pm 627$ de sedimento suspenso para os canais fluviais, a qual tem uma contribuição por metro quadrado de 0,11%, e a contribuição de vazão foi de $9\% \pm 5$. No entanto, as estradas rurais podem aumentar a vazão dos canais fluviais em até 40% durante os eventos pluviais.

Essa porcentagem de contribuição de sedimento suspenso e de vazão para o canal fluvial reflete as características físicas da estrada, como baixa declividade, presença de sistemas de drenagens, como valetas, leito compactado, devido ao tráfego, e por essa estrada fazer a conectividade com um rio de terceira ordem.

Contudo, os dados indicaram uma grande contribuição tanto de sedimento suspenso como de vazão proporcionados pelas estradas rurais sem pavimentação em canais fluviais de segunda e terceira ordem, onde as estradas rurais juntamente com seus barrancos são produtores constantes de sedimento. As porcentagens de contribuições de sedimento suspenso e de vazão vão depender das hierarquias das estradas, pois estradas com mais tráfego - geralmente estradas principais - vão ter certa contribuição de acordo com suas características, e estradas com menos tráfegos - geralmente estradas secundárias e afins - terão outro tipo de contribuição, dependendo de suas características físicas.

3.6 Tipos de manejos adotados para conservação/manutenção das estradas rurais sem pavimentação

Estradas rurais sem pavimentação que apresentam sistemas de drenagens adequados têm um aumento de sua vida útil, ao mesmo tempo em que diminuem os processos erosivos em seu leito e fazem a destinação do escoamento superficial para dissipadores de energia. Essas estradas, conseqüentemente, vão barrar a chegada do escoamento superficial nos canais fluviais.

Portanto, o escoamento superficial gerado nas estradas aumenta significativamente a concentração de sedimento suspenso e a vazão nos canais fluviais, fazendo com que aumente o processo de assoreamento e turbidez e facilite a entrada de poluentes, matéria orgânica e resíduos sólidos. Isso prejudica, tanto a vida aquática, quanto a qualidade da água dos canais fluviais.

Para que ocorra a diminuição da contribuição das estradas rurais no aumento de vazão e de variação na concentração de sedimento suspenso, é preciso adotar algumas medidas de conservação e manutenção, tais como o abaulamento transversal e canaletas

laterais. O abaulamento transversal tem como objetivo drenar a água do leito da estrada direcionando-as para as canaletas laterais, fazendo com que a água não empoe e não escoe pelo leito (SANTOS et al., 1895).

Uma vez que a água é direcionada à canaleta lateral, há a necessidade de se diminuir a velocidade e de dissipar sua energia, para que ela seja destinada a sistemas de armazenamento (caixas de contenção). Os dissipadores de energia são pequenas barragens de estacas e pedras, em formato de escadas ou caixas de dissipação (SANTOS et al., 1895). Com a água do escoamento superficial com menos velocidade, ela é, então, destinada para caixas de contenção, infiltração ou acumulação, para que a água fique armazenada e seja forçada a infiltrar no solo, alimentando o fluxo subsuperficial (SANTOS et al., 1895).

As estradas, como elementos de conexão vertente/canal fluvial, têm grande importância no balanço de sedimento da bacia de drenagem, pois, se as mesmas não forem construídas adequadamente ou não receberem manutenções periodicamente, poderão acarretar malefícios para os canais fluviais.

Considerações Finais

A partir da avaliação da contribuição do escoamento superficial nas estradas rurais sem pavimentação no transporte de sedimento e de vazão localizada em uma cabeceira de drenagem com canais fluviais de segunda e terceira ordem na Bacia Hidrográfica do Rio Guabiroba, conclui-se que alguns fatores são determinantes para uma maior ou menor contribuição de sedimento suspenso e de vazão para os canais fluviais. Entre os fatores estão: umidade antecedente, precipitação, o tipo e intensidade do tráfego, presença ou a ausência de sistema de drenagem e os barrancos descobertos ou com cobertura vegetal.

As estradas rurais têm uma maior contribuição de sedimento suspenso para os canais fluviais em períodos antecidos de estiagem, do que em períodos antecidos de precipitação. Portanto, durante a estiagem, o sedimento disponível vai aumentando no leito, sendo transportado rapidamente pelo escoamento superficial. Já em chuvas sucessivas, após a lavagem inicial, o escoamento superficial necessita de energia hidráulica para destacar partículas no leito da estrada.

Os tipos de leito das estradas vão ditar uma maior ou menor compactação e disponibilidade de sedimentos finos para ser transportado durante as precipitações que geram escoamento superficial. Estradas que tenham maior porcentagem de cascalho em seu leito e foram mais compactadas, tenderam a sofrer menos erosão que estradas que apresentam maiores porcentagens de solo e vegetação em seu leito, pois a presença de vegetação no leito da estrada é um indicativo que a estrada não é muito utilizada e apresenta baixa compactação em seu leito.

As estradas com menores declividades, aliadas a sistemas de drenagens, como as estradas principais, contribuem com quantidades inferiores de sedimento suspenso, já que elas têm leito compactado, poucos barrancos e/ou valetas em seus lugares, tendo uma menor produção/disponibilidade de sedimento fino em seu leito.

A contribuição do escoamento superficial no leito das estradas rurais na vazão dos canais fluviais faz com que ocorra um aumento repentino na vazão dos canais (pico de vazão), que é logo cessado com o término da precipitação e do escoamento no leito das estradas. A influência da estrada gera uma resposta mais rápida nos canais fluviais de ordens inferiores, fato este que o canal fluvial de 2ª ordem recebeu contribuição de vazão na ordem de 31% e o canal fluvial de 3ª ordem recebeu contribuição de vazão na ordem de 9% durante os eventos pluviais.

Um dos fatores relevantes para a produção, disponibilidade, transporte e transferência de sedimento para os canais fluviais são os leitos das estradas encaixados no terreno, devido a práticas de manutenções, que fazem com que o leito das estradas rebaixe, aumentando seus barrancos, dificultando a retirada de água precipitada, transformando-as em canais efêmeros durante as precipitações e potencializando, assim, a erosão do leito e o transporte dos sedimentos pelo escoamento superficial.

Pelo fato das estradas serem construídas ao lado dos canais fluviais, onde o escoamento gerado em seu leito vai direto para o canal fluvial pela força da gravidade, sem que haja uma valeta, barranco ou cordão de vegetação para barrar ou destinar esse escoamento superficial para um dispositivo de drenagem, as estradas rurais têm grande facilidade na conectividade estrada/rio e contribuem com sedimento suspenso e vazão aos canais fluviais.

Referências bibliográficas

ANTONELI, V. DOUHI, N. Técnica para estimar vazão e produção de sedimentos em cabeceira de drenagem sem dados históricos. **Rev. Perspectiva Geográfica**, UNIOESTE. 2010.

ANTONELI, V. Influência do uso do solo na avaliação hidro- sedimentológica da Bacia do Arroio Boa Vista – Guamiranga – Pr. **Dissertação** (Mestrado) Universidade Estadual de Maringá. Maringá PR, 147f, 2004.

BAESSO, D. P. GONÇALVES, F. L. R. **Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção**. Florianópolis: DER, 2003. 204 p.

BELLINASSO, T. B. **Monitoramento hidrossedimentométrico e avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica urbana de encosta**. 2002. 300 f. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria – RS.

BERTHOMIER, Jeanne. **As estradas**. Sao Paulo: DIFEL, 1961. 134 p.

BERTONI, J. LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Editora Ícone, São Paulo. 3ª Ed. 1990.

BORDAS, M. P. SEMMELMANN, F. R. **Elementos de engenharia de sedimento**. in: TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª edição. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (ABRH), Porto Alegre. 1997. 943p.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. 2ª edição. Editora interciência Ltda. Rio de Janeiro. 2008. 599p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial: o canal fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981. v. 1.

CUNHA, M. C. Caracterização das estradas rurais não pavimentadas como elementos presentes na paisagem da bacia hidrográfica do Rio das Pedras, Guarapuava - PR. **Rev. GEOMAE**, Campo Mourão, v.1, n.2, p.73 – 91, 2º Sem 2010.

CUNHA, M. C. da, **Avaliação da eficácia das caixas de contenção de sedimento em estradas rurais não pavimentadas na bacia do rio das pedras, Guarapuava-PR**. 2011. p. 132. Dissertação (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia) Dinâmica da Paisagem e dos Espaços Rurais e Urbanos, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava – PR.

CUNHA, S. B. da. GUERRA, A. J. T. **Degradação Ambiental**. In: GUERRA, A. J. T. CUNHA, S. B. da. Geomorfologia e meio ambiente. Editora Bertrand Brasil. 3ª Ed. Rio de Janeiro - RJ. 2000.

CUNHA, S. B. **Geomorfologia Fluvial**. In: GUERRA, A. T. G. e CUNHA, S. B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 7ª Ed. Rio de Janeiro. Bertrand. 2007.

DEMARCHI, L. C. *et al*, **Adequação de Estradas Rurais**. Campinas; CATI- CECOR, 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos-CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 2006. 306 p.

EVANS, R. **The erosional impacts of grazing animals**. Progress in Physical Geography. p.251-268. 1998.

FISRWG – **The Federal Interagency Stream Restoration Working Group**. Stream corridor restoration: principles, processes and practices. Federal agencies of the US gov't, 1998.

FU, B. NEWHAM, L. T. H. RAMOS-SCHARRÓN, C. E. A review of surface erosion and sediment delivery models for unsealed roads. **Environmental Modelling and Software** 25: 1-14. 2010.

GOLDENFUM, J. A. **Pequenas Bacias Hidrográficas: Conceitos Básicos**. In: PAIVA, J. B. D. de. PAIVA, E. M. C. D. de. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre – RS. ABRH, 2003. 628p.

GUERRA, A. J. T. **O início do processo erosivo**. In: GUERRA, A. J. T. SILVA, A. S. da. BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2005. 339 p.

HOLANDA, F. S. R. SANTOS, C. M. dos. CASADO, A. P. B. BANDEIRA, A. A. OLIVEIRA, V. S. de. FONTES, L. C. da S. ROCHA, I. P. da. Análise multitemporal e caracterização dos processos erosivos no baixo São Francisco Sergipano. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. 2007.

INCONTROL S/A, **Manual de operação e instalação**: calha parshall medidor de vazão em canais abertos. Cód: 073AA-025-122M – Rev. B, Novembro / 2008.

LELI, I. T.; STEVAUX, J. C.; NÓBREGA, M. T. de; Produção e transporte de carga suspensa fluvial: teoria e método para rios de médio porte. **Boletim de geografia, Maringá**, v. 28, n. 1, p. 43-58, 2010.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo. Oficina de textos. 2010. 216 p.

LIMA, A. G. **Metodologia para inventário do potencial de produção sedimentar em cruzamentos de estradas com canais fluviais**. In: Mauro Battistelli; Maurício Camargo Filho; Bettina Heerd. (Org.). Proteção e Manejo da Bacia do Rio das Pedras: relato de experiências. Guarapuava: Editora B & D Ltda, 2004, v. 1, p.100-108.

LUCE, C. H; WEPLER, B.C. Introduction to special issue on hydrologic and geomorphic of forest roads. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 26, p.111-113, 2001.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 3a ed. Curitiba-PR: Imprensa oficial, 1981, 440p.

MARTINS, E. S. P. R. PAIVA, J. B. D. de. **Quantidade dos recursos hídricos**. In: PAIVA, J. B. D. de. PAIVA, E. M. C. D. de. Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre - RS: ABRH, 2003. 628 p.

MINEROPAR, **Atlas geomorfológico do Estado do Paraná** - Escala base 1:250.000, modelos reduzidos 1:500.000/ Minerais do Paraná; Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/2_Geral/Geomorfologia/Atlas_Geomorfologico_Parana_2006.pdf>. Acesso em: 02 de Nov. de 2011.

NETTO, A. L. C. **Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia**. In: GUERRA, A. J. T. CUNHA. S. B. da. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Editora Bertrand Brasil. 2ª Ed. Rio de Janeiro - RJ. 1995.

ODA, S. JÚNIOR, J. F. SÓRIA, M. H. A. **Implantação, localização e manutenção de Estradas**. Departamento de transporte-EESC-USP, Universidade de São Paulo, 2007.

PAIVA, E. M. C. D. de, PAIVA, J. B. D. de, COSTAS, M. F. T. SANTOS, F. A. dos. **Concentração de sedimentos em suspensão em uma pequena bacia hidrográfica em urbanização**. In: Congresso brasileiro de engenharia sanitária e ambiental, 21º, 2001, João Pessoa – PB. p. 1 – 11.

RAMOS-SCHARRÓN C. E. Sediment production from unpaved roads in a dry sub-tropical setting- Southwestern Puerto Rico. **Catena** 82(3): 146-158. 2010.

RAMOS-SCHARRÓN, C. E. MACDONALD, L. H. Measurement and prediction of sediment production from unpaved roads, St. John, U.S. Virgin Islands. **Earth Surface Processes and Landforms**, 30(10): 1283-1304. 2005.

RAMOS-SCHARRÓN, C. E. MACDONALD, L. H. Runoff and suspended sediment yields from an unpaved road segment, St. John, U.S. Virgin Islands, **Hydrological Processes**, 21(1): 35-50. 2007.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia Ambiental**. In: CUNHA, S. B. GUERRA, A. J. T. Geomorfologia do Brasil. Editora Bertrand Brasil, 3ª Ed. Rio de Janeiro - RJ. 2003.

SANTOS, A. R. et al, **Estradas Vicinais de Terra. Manual técnico para conservação e recuperação**. Instituto de pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo, AS. São Paulo, 1895.

SOUZA, C. A. CUNHA, S. B. Pantanal de Cáceres – MT: dinâmica das margens do rio Paraguai entre a cidade de Cáceres e a estação ecológica da ilha de Taiamã – MT. **Revista eletrônica da associação dos Geógrafos brasileiros – seção Três Lagoas – MS**. 2007.

THOMAZ, E. L. (a) **Processos hidrogeomorfológicos e o uso da terra em ambiente subtropical – Guarapuava – PR**. São Paulo, 2005, 297 f. Tese (Doutorado em Ciência, área Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

THOMAZ, E. L. & VESTENA, L. R. **Aspectos Climáticos de Guarapuava - PR**. Guarapuava: Editora UNICENTRO, 2003, 106 p.

THOMAZ, E. L. VESTENA, L. R. ANTONELI, V. **Avaliação do aporte de sedimento proveniente de estradas rurais e de seus impactos na descarga sólida fluvial em suspensão, na bacia do rio Guabiroba, Guarapuava – PR**. CNPq Relatório de pesquisa. 2010.

THOMAZ, E. L. ANTONELI, V. DIAS, W. A. Estimativa de proveniência de sedimento em cabeceira de drenagem com alta densidade de estradas rurais não pavimentadas. **RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 25-37, Abr/Jun 2011.

THOMAZ, E. L. VESTENA, L. R. RAMOS-SCHARRÓN, C. E. in review. The effects of unpaved roads on suspended sediment concentration of third- to fifth-order streams – A case study from southern Brazil. **Water and Environment Journal**, 2013.

VESTENA, L. R. **Análise da relação entre a dinâmica de áreas saturadas e o transporte de sedimentos em uma bacia hidrográfica por meio de monitoramento e modelagem**. 2008. 268 f. Tese (Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis– SC.