



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO CEDETEG  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS – SEAA/G  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – PPGG**



**FÁTIMA FURMANOWICZ BRANDALIZE**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**GUARAPUAVA/PR, 2014**

**FÁTIMA FURMANOWICZ BRANDALIZE**

**TRANSFERÊNCIA DE SEDIMENTO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA  
RURAL COM USO DA TERRA DIVERSIFICADO NA REGIÃO CENTRO - SUL  
DO 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, Geomorfologia e Análise Ambiental).

Orientador: Dr. Edivaldo Lopes Thomaz  
Co-orientador: Dr. Valdemir Antoneli

**GUARAPUAVA/PR, 2014**



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE  
 CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO CEDETEG  
 SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS - SEAA/G  
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA - PPGG



### TERMO DE APROVAÇÃO

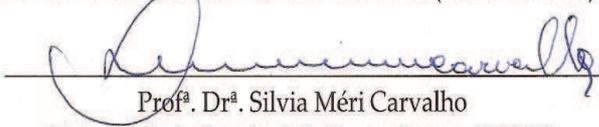
**FÁTIMA FURMANOVICZ BRANDALISE**

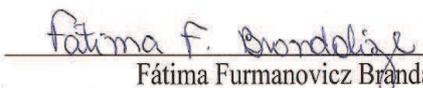
TRANSFERÊNCIA DE SEDIMENTO EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA RURAL COM  
 USO DA TERRA DIVERSIFICADO NA REGIÃO CENTRO-SUL DO PR

Dissertação **APROVADA** em 05/02/2014 como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Geografia, na área de concentração Dinâmica da Paisagem e dos Espaços Rurais e Urbanos, da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), pela seguinte banca examinadora:

  
 Prof. Dr. Edivaldo Lopes Thomaz – presidente  
 Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO)

  
 Prof. Dr. Leandro Redin Vestena,  
 Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO)

  
 Prof.ª Dr.ª Silvia Méri Carvalho  
 Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)

  
 Fátima Furmanovicz Brandalise

Guarapuava (PR), 05 de fevereiro de 2014.

**DEDICO...**

*Ao meu amado esposo, Odair (Nego) e a minha querida mãe, Maria Aparecida, pela compreensão das minhas ausências, mesmo quando presente de corpo e longe no pensamento e, pelo incentivo nas horas mais difíceis, mesmo quando uma lágrima rolava pela saudade de quem aqui já não mais estava (meu pai Sezinando e minha avó Geni).*

*“Todas as vitórias ocultam uma abdicação” (Simone de Beauvior).*

## AGRADECIMENTOS

Não poderia começar diferente, agradeço:

A Deus, por ser minha fonte de ânimo, quando as forças me faltam.

A UNICENTRO e ao Programa de Pós – Graduação em Geografia (PPG) pela oportunidade de cursar minha carreira acadêmica.

Ao professor Edivaldo Lopes Thomaz, meu orientador, por ter acreditado na minha capacidade, mesmo não me conhecendo. Pelo incentivo e orientações para a concretização deste trabalho, resultado de um esforço conjunto.

Ao professor Valdemir Antoneli (Polaco), co-orientador deste trabalho, grande incentivador para que chegasse a este degrau da carreira acadêmica, companheiro desde a minha graduação, quando aceitou ser meu orientador. Pelo auxílio na classificação de solos, juntamente com seu aluno de Iniciação Científica, Cláudio Antonio Kozechen, e por ter cedido o Laboratório de Geomorfologia no Campus de Irati para as análises das amostras, facilitando meu trabalho.

Ao amigo de longa data e companheiro de mestrado, João Anésio Bednarz e à sua família, que durante esta caminhada conheci um pouco mais e aprendi a admirar seus esforços. Pelos muitos risos, mesmos em horas difíceis. Também, pelas trocas de experiências e pelos auxílios em certas tarefas deste trabalho.

Aos professores do PPG que através de suas disciplinas contribuíram de algum modo com este trabalho.

Aos professores Aparecido Ribeiro de Andrade e Leandro Redin Vestena pelas sinceras colaborações para o andamento desta dissertação.

Ao funcionário do PPG, Alceu Harmatiuk, pela disposição em auxiliar sempre que necessário nas questões documentais e burocráticas.

A amizade e companheirismo da amiga Suellen Chemim de Almeida, companheira de idas e vindas no trajeto Irati – Guarapuava, quando se seguiram longas discussões e risos.

Aos colegas de turma que despertaram em mim afeto e admiração Azemir, Claudete, Daniele, Letícia (amiga do peito) e Alessandra.

Ao colega Gustavo Peretto pela troca de experiências sobre o andamento dos trabalhos.

Ao colega Robson pelo auxílio no trabalho de mapeamento da área de estudo.

A Equipe da Escola Esperança Carignano Chuilki pela compreensão em datas que foram necessárias as minhas ausências.

À minha irmã, Verônica e aos meus cunhados, Geraldo, Reginaldo e Sérgio Brandalize pelo auxílio na instalação dos equipamentos.

Ao senhor Francisco Cochinski e sua família por permitir a circulação por suas propriedades, instalação dos equipamentos e auxílio no monitoramento pluviométrico.

A minha mãe por entender meu distanciamento do convívio familiar e pela abdicação de longas conversas.

Ao meu esposo Odair (Nego) que mesmo não estando na carreira acadêmica sempre me incentivou, acompanhou-me durante os trabalhos de campo e coletas de amostras. Compreendeu as minhas ausências, a abdicação dos nossos momentos de lazer, nossas viagens, mas, principalmente, pela calma e paciência frente ao meu nervosismo em certos momentos, visível sem precisar pronunciar palavras. Por me incentivar quando as forças me encaminhavam para desistir, por me lembrar do objetivo a ser alcançado.

Enfim, agradeço a todos já citados e aqueles que por ventura não lembrei neste momento, agradeço de coração o incentivo, o auxílio ou simplesmente a amizade. Aos que me conhecem sabem que não sou de falar muito, mas num singelo OBRIGADA, agradeço imensamente, a todos. E, se o melhor não foi feito, ao menos foi tentado!

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se faltasse uma gota” (Madre Teresa de Calcutá).*

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes” (Marthin Luther King).*

## LISTAS DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Esquema de representação dos processos que compõe o Ciclo Hidrossedimentológico.....	25
<b>Figura 2:</b> Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Guamirim de Cima - Irati/ PR .....	37
<b>Figura 3:</b> Mapa da Bacia do Rio Guamirim de Cima com a localização do amostradores de nível ascendente – ANA e pluviômetros.....	41
<b>Figura 4:</b> Amostrador de nível ascendente - ANA.....	43
<b>Figura 5:</b> Mapa Geomorfopedológico da Bacia do Rio Guamirim de Cima – Irati/PR.....	47
<b>Figura 6:</b> Mapa de declividade da Bacia do Rio Guamirim de Cima.....	48
<b>Figura 7:</b> Canal principal da Bacia do Rio Guamirim de Cima – Irati/ PR.....	52
<b>Figura 8:</b> Mapa de uso e ocupação da Bacia Do Rio Guamirim de Cima.....	53
<b>Figura 9:</b> Reconstrução de camalhões logo após capina.....	57
<b>Figura 10:</b> Rompimento de camalhões e formação de ravina.....	57
<b>Figura 11:</b> Uso e ocupação da terra na bacia do Rio Guamirim de Cima no período da entressafra (abril- agosto/ 2013).....	60
<b>Figura 12:</b> Conectividade entre uma cabeceira de drenagem e o canal principal com evidência visual de diferentes concentrações de sedimento durante evento chuvoso.....	72
<b>Figura 13:</b> Principais elementos interferentes na conectividade encontrados na bacia hidrográfica do Rio Guamirim de Cima.....	79

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b> Relação entre as formas de uso e ocupação da terra na bacia do Rio Guamirim de Cima e a área ocupada (%) no período da safra 2012/2013.....	54
<b>Gráfico 2:</b> Comparação entre a precipitação monitorada no período de setembro/2012 a agosto/2013 e a média para a região.....	62
<b>Gráfico 3:</b> Distribuição sazonal da precipitação (set/2012 – ago/2013).....	63
<b>Gráfico 4:</b> Concentração de sedimentos suspensos (CSS) nos pontos de coleta em evento pluviométrico ocorrido em 24/10/12.....	68
<b>Gráfico 5:</b> Concentração de sedimentos suspensos (CSS) nos pontos de coleta em evento pluviométrico ocorrido em 05/03/2013.....	69
<b>Gráfico 6:</b> Concentração de sedimentos suspensos (CSS) nos pontos de coleta em evento pluviométrico ocorrido em 21/06/2013.....	70
<b>Gráfico 7:</b> Correlação entre o volume de precipitação ocorrido e o acumulado de sedimentos suspensos.....	73
<b>Gráfico 8:</b> Distribuição sazonal (safra/entressafra) do somatório da Concentração de sedimentos suspensos (CSS) dos nove pontos de coleta.....	74
<b>Gráfico 9:</b> Estimativa da contribuição relativa das cabeceiras de drenagem no acumulado de CSS no período de safra. ....	76
<b>Gráfico 10:</b> Estimativa da contribuição relativa das cabeceiras de drenagem no acumulado de CSS no período de entressafra. ....	77

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1:</b> Calendário Agrícola da bacia hidrográfica do Rio Guamirim de Cima (setembro/2012 a agosto/ 2013) .....	55
--	----

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1-</b> Relação nível-garrafa do amostrador de nível ascendente - ANA, instalado na Bacia Hidrográfica do Guamirim de Cima – Irati/PR.....	43
<b>Tabela 2:</b> Característica das cabeceiras de drenagem e canal principal da Bacia do Rio Guamirim de Cima– Irati/ PR.....	50
<b>Tabela 3:</b> Relação mensal de eventos pluviométricos, total precipitado e coletas realizadas.....	64
<b>Tabela 4:</b> Concentração de sedimentos suspensos (CSS) nos pontos de monitoramento no período de safra.....	66
<b>Tabela 5:</b> Concentração de sedimentos em suspensão (CSS) nos pontos de monitoramento no período de entressafra.....	66
<b>Tabela 6:</b> Contribuição relativa dos pontos de monitoramento em relação ao acumulado de CSS (g).....	74

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a contribuição relativa da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) gerada por cabeceiras de drenagem com diferentes tipos de uso da terra, no período de setembro de 2012 a agosto de 2013. A bacia hidrográfica situa-se no Município de Irati- PR, com área de 99,8 ha e cinco cabeceiras de drenagem com diferentes tipos de uso da terra: vegetação nativa, tabaco (*Nicotiana tabacum*), soja, feijão e milho. Há predominância de Cambissolos e Neossolos com declividades entre 0% a 45%. Para o monitoramento foram utilizados amostradores de nível ascendente (ANA) e pluviômetros. A safra correspondeu a 62% do acumulado de CSS, e as respostas apresentaram variação espacial e temporal diferentes entre os pontos de coleta. Verificou-se correlação insignificante entre o volume de cada evento e a respectiva CSS, demonstrando que esta variável, isoladamente, não é responsável pela dinâmica hidrossedimentológica da bacia. Verificou-se uma tendência que se manteve durante o período de monitoramento, a maior CSS nas cabeceiras de drenagem com predominância do cultivo de fumo sobre as demais cabeceiras, estimando-se que estas contribuíram com mais de 70% no acumulado de CSS no período de safra e mais de 48% na entressafra.

**Palavras chave:** Cabeceiras de drenagem; Uso e ocupação da terra; Concentração de sedimentos suspensos.

**ABSTRACT**

This study aims to evaluating the relative contribution of the concentration of suspended sediments (CSS) generated by watersheds using different types of soil, from September 2012 to August 2013. The river basin is located in the city of Irati – PR. It has an area of 99,8 ha and five watersheds composed by different types of soil in use: native vegetation, tobacco (*Nicotiana tabacum*), soy beans and corn. There is a predominance of Cambisols and Neossolos with slopes between 0% to 45%. Ascending level Samplers (ANA) and rain gauge were used for monitoring. The harvest corresponded to 62 % of cumulative CSS, and responses showed different temporal and spatial variation between the collection landmarks. There was insignificant correlation between the volume of each event and its CSS, demonstrating that this variable itself is not responsible for the dynamic hydrosedimentological basin. A continuous tendency was observed during the monitoring period, the largest CSS in bedside drainage with prevalence of tobacco cultivation on the other watershed. The estimates point to a contribution of more than 70% accumulated CSS during the harvest period and more than 48% during the offseason.

**Keywords:** Watersheds; Land use and occupation; Concentration of suspended sediment.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>20</b>
1.1. Bacia Hidrográfica .....	20
1.2. Cabeceiras de drenagem .....	22
1.3. Ciclo Hidrossedimentológico .....	23
1.4. Transferência de sedimentos da vertente para o canal fluvial.....	27
1.5. Dinâmica do uso da terra .....	30
<b>2. MATERIAIS E MÉTODO .....</b>	<b>36</b>
2.1. Área de estudo .....	36
2.2. Dados Cartográficos.....	38
2.3 Dinâmica do Uso da terra .....	39
2.4. Caracterização das cabeceiras de Drenagem .....	39
2.5. Caracterização Geomorfoopedológica .....	39
2.6. Monitoramento da precipitação e da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) .....	40
2.7. Análise das amostras coletadas .....	44
2.8. Análise dos dados .....	44
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>46</b>
3.1. Caracterização Geomorfoopedológica .....	46
3.2. Caracterização das cabeceiras de Drenagem e Dinâmica do Uso da terra ou Calendário Agrícola.....	49
3.3. Dados de precipitação registrados durante o período de monitoramento.....	61
3.4. Concentração de sedimentos em suspensão (CSS) .....	64
3.4.1. Análise da concentração de sedimentos suspensos (CSS) na escala de eventos pluviométricos .....	67
3.4.2. Concentração de sedimentos em suspensão e contribuição relativa dos pontos de monitoramento durante os períodos de safra e entressafra.....	73
3.4.3. Concentração sedimentos em suspensão e conectividade em bacia com uso agrícola.....	77

<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>82</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>

## INTRODUÇÃO

No Brasil a erosão de maior importância é a erosão hídrica pluvial, isto é, a água da chuva é o maior agente ativo responsável pela remoção do solo e diminuição de sua fertilidade, disponibilização de maior quantidade de sedimentos predispostos a chegar aos canais fluviais, formação de ravinas e até mesmo voçorocas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005; CARVALHO, 2008).

Em uma bacia hidrográfica, geralmente, existem diferenciados tipos de uso da terra, que podem variar de uma área ocupada por vegetação natural a áreas, extremamente, alteradas pela ação antrópica. Em bacias hidrográficas inseridas em áreas rurais, o tipo de uso e ocupação da terra está relacionado com diferentes cultivos agrícolas e, com diferentes práticas de manejo do solo. Estas práticas terão dinâmicas diferenciadas na produção de sedimentos dentro da bacia.

O processo erosivo acelerado causado pelo cultivo realizado de maneira inadequada promove erosão, degradando e diminuindo sua fertilidade, além de possibilitar o surgimento de voçorocas, assoreamento dos rios, contaminação das águas devido ao arraste de solos contendo adubos e agrotóxicos, causando prejuízos ao meio ambiente como um todo (LEPSCH, 2002).

Os sedimentos liberados e transportados são depositados em outros locais da bacia hidrográfica ou são enviados para fora do sistema de drenagem, sendo que segundo a quantidade e natureza causam prejuízos: no local de origem, no trecho onde transitam e no local de sua deposição (EMMETT, 1970).

A produção de sedimentos causada pela erosão não é só prejudicial à fertilidade de terras agrícolas, mas também aos recursos hídricos. A porção que chega aos cursos de água, sendo a maior parte transportada como sedimentos em suspensão, prejudica, também, a qualidade da água, seja pela presença dos sedimentos, seja por poluentes químicos resultantes de adubos e agrotóxicos, prejudicando o consumo humano, a fauna e a flora dos rios. Além de provocar a disseminação de vírus e bactérias (provenientes da fonte de sedimentos), assoreamento dos canais, danos em estruturas de pontes e equipamentos hidráulicos instalados nos cursos d'água (devido à abrasão provocada pelos sedimentos) (CARVALHO, 2008).

No entanto, os sedimentos liberados e transportados que chegam ao curso fluvial, também, trazem alguns benefícios como: o sedimento em suspensão reduz a ação erosiva da água no escoamento de rios; atua como redutor de outros poluentes, melhorando desta forma a purificação da água; é um meio condutor de microorganismos ou matéria orgânica

diversa que melhora a fauna fluvial; os depósitos formados nos campos podem constituir camada superior de solo devido à deposição em ocasião de enchentes, sendo benéficos se a camada depositada conter nutrientes; sedimentos com material fértil natural podem ser recuperados e colocados para uso benéfico em jardins, canteiros e outras pequenas áreas de plantação (CARVALHO, 2008).

Assim, muitas das formas de uso e ocupação das vertentes, bem como as atividades nelas desenvolvidas, nesse caso as atividades agrícolas, acabam por influenciar no aumento da produção de sedimentos presentes nos canais fluviais, ocasionando prejuízos ou benefícios ao meio ambiente. No entanto, as consequências negativas são bem mais evidentes em ambos os ambientes (vertente e canal fluvial).

As atividades desenvolvidas inadequadamente e/ou em áreas consideradas impróprias, como as de elevada declividade, consideradas frágeis do ponto de vista ambiental, favorecem os processos de erosão do solo, ou seja, acentuam a atuação dos processos envolvidos no ciclo hidrossedimentológico, que dentre as inúmeras consequências, conferem maior carga sedimentar predisposta a chegar aos canais fluviais.

Todas as práticas de cultivo e manejo do solo (uso e ocupação da terra) promoverão alterações no meio ambiente. No entanto, o nível de degradação que esta provocará dependerá da sua dinâmica e resistência do meio, obtendo-se respostas diferentes (ou seja, diferentes práticas de cultivo poderão apresentar diferentes respostas).

A transferência de sedimento da vertente para o canal fluvial é, também, bastante complexa e, a conectividade entre estes, pode ser considerada a etapa que necessita ainda ser investigada com mais profundidade, pois, nem sempre é clara. A quantidade de sedimentos (maior ou menor) que chega aos cursos fluviais é a resposta às alterações de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica, no entanto, existem fatores e elementos que podem influenciar o percurso e os locais de depósito dos sedimentos antes e/ou para chegar ao canal fluvial (FAO, 1967; COLLINS e WALLING, 2004; MOURA e SILVA, 2006). Portanto, a transferência de sedimentos da vertente para o canal fluvial, bem como a conectividade entre estes, não podem ser estudados isoladamente, mas como um complexo conjunto que resultará em determinada dinâmica. É necessário que esta relação seja investigada em e entre eventos pluviométricos e, em diferentes períodos do calendário agrícola nas áreas rurais.

Pode-se considerar que os sedimentos que acabam por chegar a um rio que drena a bacia, conforme a proximidade da área fonte, pode chegar imediatamente ao canal ou levar algum tempo para que isto ocorra (ARAÚJO; ALMEIDA e GUERRA, 2005). As

cabeceiras de drenagem por estarem próximas ou encaixadas em encostas, podem refletir, rapidamente, as alterações nas práticas de manejo e cultivos. Ou seja, são afetadas diretamente pela dinâmica do uso da terra e/ou práticas agrícolas.

Assim, o conhecimento da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) transportada pelos rios pode ser um importante fator de identificação de áreas fontes de sedimentos nas cabeceiras de drenagem, refletindo as ações antrópicas e/ou naturais que promovem o aumento ou redução da mesma. E, a partir da quantificação em diferentes cabeceiras de drenagem pode-se ter uma melhor compreensão das diferentes condições de uso e ocupação da terra e/ou das diferenciadas práticas de manejo e, dos eventos pluviométricos na dinâmica da produção de sedimentos na bacia hidrográfica.

Portanto, a análise da contribuição relativa da CSS entre as cabeceiras de drenagem é uma alternativa para a análise da suscetibilidade das áreas fontes de sedimentos, podendo indicar percentualmente maior propensão de produção de sedimentos e, possibilitando estudos de planejamento que reduzam essa suscetibilidade. A contribuição relativa de sedimentos em suspensão é a relação entre o acumulado de sedimentos durante o período de monitoramento e sua distribuição percentual entre os pontos de monitoramento.

A agricultura mecanizada possibilita a produção muito maior de alimentos e outros bens, com um número reduzido de mão de obra. Porém, a modernização das práticas agrícolas não atinge todas as áreas. Áreas com declividades acentuadas não são propícias para a utilização de equipamentos e maquinários mais sofisticados, sendo utilizadas, na maioria das vezes, pela agricultura familiar, empregando práticas e técnicas rudimentares para o cultivo, e sem o emprego de práticas conservacionistas do solo. Esta característica é claramente observada na Bacia Hidrográfica do Rio Guamirim de Cima, localizada na área rural do município de Irati, região Centro Sul do Paraná.

A bacia em estudo é ocupada por áreas de cultivo temporário (fumicultura, soja, feijão e milho), áreas de cultivo permanente (reflorestamento de *pinus* e eucalipto), áreas de cobertura florestal permanente (Floresta Ombrófila Mista e Floresta em Estágio Inicial-capoeira). As áreas com declividades acentuadas e solos extremamente rasos são ocupadas pelo cultivo da fumicultura, utilizando a tração animal como principal força motriz das atividades, enquanto que, nos cultivos do feijão, milho e soja são utilizadas máquinas agrícola (tratores, colheitadeiras, etc.) na realização de atividades agrícolas.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a contribuição relativa da concentração de sedimentos em suspensão (CSS) gerada por cabeceiras de drenagem com diferentes tipos de uso da terra. Para isto, foi relacionada a concentração de sedimentos em suspensão

com as diferentes condições de uso e ocupação da terra, com a pluviosidade e com o calendário agrícola. Buscou-se, também, compreender os principais elementos de conectividade entre as vertentes e os canais fluviais (cabeceiras de drenagem), durante o período de setembro de 2012 a agosto de 2013.

Esta pesquisa visa proporcionar uma melhor compreensão das diferentes condições de uso e ocupação da terra e/ou das diferenciadas práticas de manejo e, dos eventos pluviométricos na dinâmica hidrossedimentológica da bacia hidrográfica, possibilitando a adoção de medidas que visem à maximização do uso da terra e dos recursos hídricos disponíveis com o mínimo de efeitos negativos.

## **1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A fundamentação teórica é a base ao desenvolvimento deste estudo, onde a bacia hidrografia é considerada uma unidade territorial para a realização de estudos geomorfológicos e hidrogeomorfológicos, considerada como um sistema e as cabeceiras de drenagem como seus subsistemas. O Ciclo Hidrossedimentológico traz à tona a preocupação com uma visão de gestão integrada dos recursos hídricos, os riscos de degradação do solo, dos rios e ecossistemas fluviais. Assim, não se pode desconsiderar a interrelação existente entre as encostas (vertentes) e os canais fluviais, pois, como subsistemas da bacia hidrográfica estão em constantes trocas de causa e efeito. O uso e ocupação da terra podem ser considerados um dos fatores mais importantes no processo de aceleração da erosão. Assim, as diversificadas formas de uso e ocupação da terra na área de contribuição das cabeceiras de drenagem, neste caso, diversificadas práticas de cultivo, que adotam diferentes práticas de manejo, em distintos períodos do calendário agrícola, aliadas à precipitação e a elementos que interferem na conectividade e transferência, favorecem a ocorrência de dinâmicas diferenciadas de produção de sedimentos em cada cabeceira de drenagem.

### **1.1. Bacia Hidrográfica**

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação pluvial que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório, compondo-se, basicamente, de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até formar um leito único (SILVEIRA, 2004). Já para Chevallier (2004) a bacia hidrográfica ou de drenagem é um sistema hidrológico bem definido, pois, apresenta a noção topográfica de divisor de água e por outro lado a noção da área de interceptação das precipitações.

A bacia hidrografia ou de drenagem pode ser considerada uma unidade territorial para a realização de estudos geomorfológicos, hidrogeomorfológicos, entre outros. Para Botelho e Silva (2004) a bacia hidrográfica tem sido, nas últimas décadas, cada vez mais adotada como unidade fundamental para estudos ambientais, permitindo uma visão sistêmica e integrada dos diversos componentes, processos e interações que ocorrem em seu interior. É possível avaliar as ações antrópicas sobre o ambiente e suas conseqüências na a dinâmica hidrogeomorfológica, presente no sistema bacia de drenagem.

A utilização da bacia hidrográfica como unidade de análise permite limitar a variabilidade e a heterogeneidade dos processos a serem estudados. Os estudos de

pequenas bacias hidrográficas são muito utilizados em diversos problemas ambientais, no entanto, os processos e fatores determinantes para a produção e transporte de sedimentos, também, podem ser muitos (DEPINÉ *et al.*, 2010). Mesmo as pequenas bacias não podem ser consideradas modelos aplicáveis, pois a heterogeneidade entre elas é grande (SILVEIRA e TUCCI, 1998). Com a mudança de escala nem sempre os fenômenos e elementos são proporcionais e podem possuir diferentes níveis de complexidade.

Church (1984) também corrobora com a idéia de que a extrapolação dos resultados para as unidades maiores de paisagem é dificultada pela variabilidade. Para este autor, estudos em pequenas áreas, como as pequenas bacias, geram modelos experimentais pequenos, mas que são viáveis em maiores possibilidades de estudo e monitoramento porque exigem menores custos. Os estudos de caso servem para enriquecer o contexto e permitir modelos conceituais para as questões de interesse a ser explorado de forma mais completa (CHURCH, 1984). Pequenas bacias hidrográficas permitem uma escala maior de estudos com possibilidade de análise dos processos com mais riqueza de detalhes.

Percebe-se que a bacia hidrográfica como recorte ambiental para estudos, não é só utilizada na área de estudo da Ciência Geográfica, mas, também de outras ciências, pois, permite um recorte de planejamento e gestão ambiental possível de ser gerida com mais facilidade.

A escala de análise da bacia hidrográfica permite uma percepção concreta da importância das práticas de conservação, pois, os agricultores conseguem perceber que são os responsáveis por definir a organização espacial do uso e manejo da sua propriedade. Já, a escala de análise da bacia hidrográfica com enfoque em cabeceiras de drenagem permite uma melhor avaliação temporal e espacial das atividades agrícolas na vertente ao longo do calendário agrícola.

A bacia de drenagem é um sistema aberto, recebendo energia através das forças climáticas e das forças tectônicas e, perdendo energia por meio da saída de água, sedimentos e solúveis (COELHO NETTO, 2005). Segundo Mattos (2004) a bacia hidrográfica é formada por subsistemas que interagem formando um sistema como um todo integrado. A delimitação e estudo dos subsistemas variam em função dos objetivos a que se pretende chegar, podendo a bacia hidrográfica, por exemplo, sob caráter funcional, ser subdividida em “zonas de produção, transferência e deposição” (MATTOS, 2004. p.17).

Sob o ponto de vista do auto-ajuste pode-se dizer que as bacias hidrográficas integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas, uma vez que mudanças significativas em qualquer dessas unidades, podem gerar alterações, efeitos e/ou impactos a jusante e nos fluxos energéticos de saída (descarga, cargas sólidas e dissolvida) (CUNHA e GUERRA, 2006.p.353).

O sistema bacia hidrográfica leva em consideração a noção de dinamismo, devido à ação dos agentes erosivos que atuam sobre a mesma, implicando, naturalmente, na existência de cabeceiras ou nascentes, divisores d'água, cursos fluviais, entre outros. (GUERRA, 2005). Assim, a bacia hidrográfica pode ser considerada como um sistema e as cabeceiras de drenagem como seus subsistemas.

## **1.2. Cabeceiras de drenagem**

As cabeceiras de drenagem podem ser consideradas como a origem de um curso fluvial, apresentando nascentes, ou seja, correspondendo à primeira formação da rede de drenagem. Diferentes designações são encontradas na literatura para cabeceiras de drenagem como: bacia hidrográfica de ordem zero, cabeceira de vale, *hollow*, anfiteatro, concavidade e rampa (GUERRA, 2005; PAISANI et al., 2006; COELHO NETTO, 2005). Para Moura e Silva (2006) as cabeceiras de drenagem podem ser consideradas como o prolongamento das nascentes dos canais fluviais de primeira ordem, sendo os primeiros formadores da rede de drenagem e, que em eventos pluviométricos de alta magnitude podem ser locais de desenvolvimento de fluxos temporários.

Estas são, também, tributários laterais de fluxos canalizados de qualquer nível hierárquico, sendo feições geomorfológicas freqüentes em ambientes tropicais e subtropicais úmidos (GUERRA, 2005). Podem ser definida como a “área côncava situada a montante de canal de primeira ordem” (PAISANI et al., 2006.p.212).

As cabeceiras de drenagem em anfiteatro (côncavas) condicionam os processos de escoamento de água e o transporte de sedimento, pois, são áreas onde estes se concentram (MOURA e SILVA, 2006). São responsáveis pela integração dos processos que ocorrem na encosta com os processos fluviais, sendo elemento de conexão entre estes. Acabam configurando os canais fluviais como principal via de descarga da bacia hidrográfica, o que tem despertado interesses de estudos de viés hidrológico e geomorfológico (COELHO NETTO, 2005).

Pode-se considerar que as cabeceiras de drenagem são um prolongamento da vertente ou dos fluxos que nela ocorrem, ou seja, estão altamente conectadas. Portanto, espera-se que tudo que seja produzido na vertente (sedimento e água), principalmente, originários das alterações promovidas pela ação antrópica, tenham repercussão no canal fluvial.

### **1.3. Ciclo Hidrossedimentológico**

A erosão apresenta três etapas principais designadas como desagregação, transporte e sedimentação ou deposição das partículas, podendo ser um processo natural ou acelerado pela intervenção antrópica (CARVALHO, 2008). Os fatores mais importantes que influenciam a erosão são: a morfometria das vertentes (altitude, comprimento da rampa, declividade, forma, etc.), as propriedades do solo (erodibilidade, tipo de solo, porosidade, granulometria, espessura, etc.), a precipitação (intensidade, distribuição ao longo das estações) e o uso da terra (porcentagem e densidade de cobertura vegetal, estágio de crescimento na época de ocorrência das chuvas, práticas de cultivo, etc.) (SIMÕES e COIADO, 2003; LOPES, 2008).

Pode-se considerar que o escoamento de água na bacia hidrográfica é o principal fator de interferência na dinâmica de sedimentos, sendo o principal responsável pelo processo de erosão do solo e transporte das partículas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2005). Para Emmett (1970) o escoamento se inicia nos trechos mais altos da bacia hidrográfica e percorre distâncias variáveis até chegar a um córrego ou canal fluvial. Assim, é fundamental estudar o processo hidrológico e de escoamento para entender a dinâmica de sedimentos na bacia hidrográfica.

Os processos de produção, transporte e deposição de sedimentos, ou seja, o ciclo hidrossedimentológico, é a base da dinâmica de sedimentos na bacia hidrográfica. Por sua vez, o conhecimento da conectividade de áreas fontes com os canais fluviais são primordiais.

Dentro da dinâmica hidrossedimentológica predomina a erosão no trecho superior da rede de drenagem (área de maior fonte de sedimentos e elevadas quantidades de material grosseiro transportado pelo rio), o transporte no trecho médio (maior estabilidade na quantidade de material transportado e, em geral com granulometria mediana) e, os depósitos no curso inferior (quando rio acaba transportando somente partículas finas) (BORDAS e SEMMELMAM, 2004).

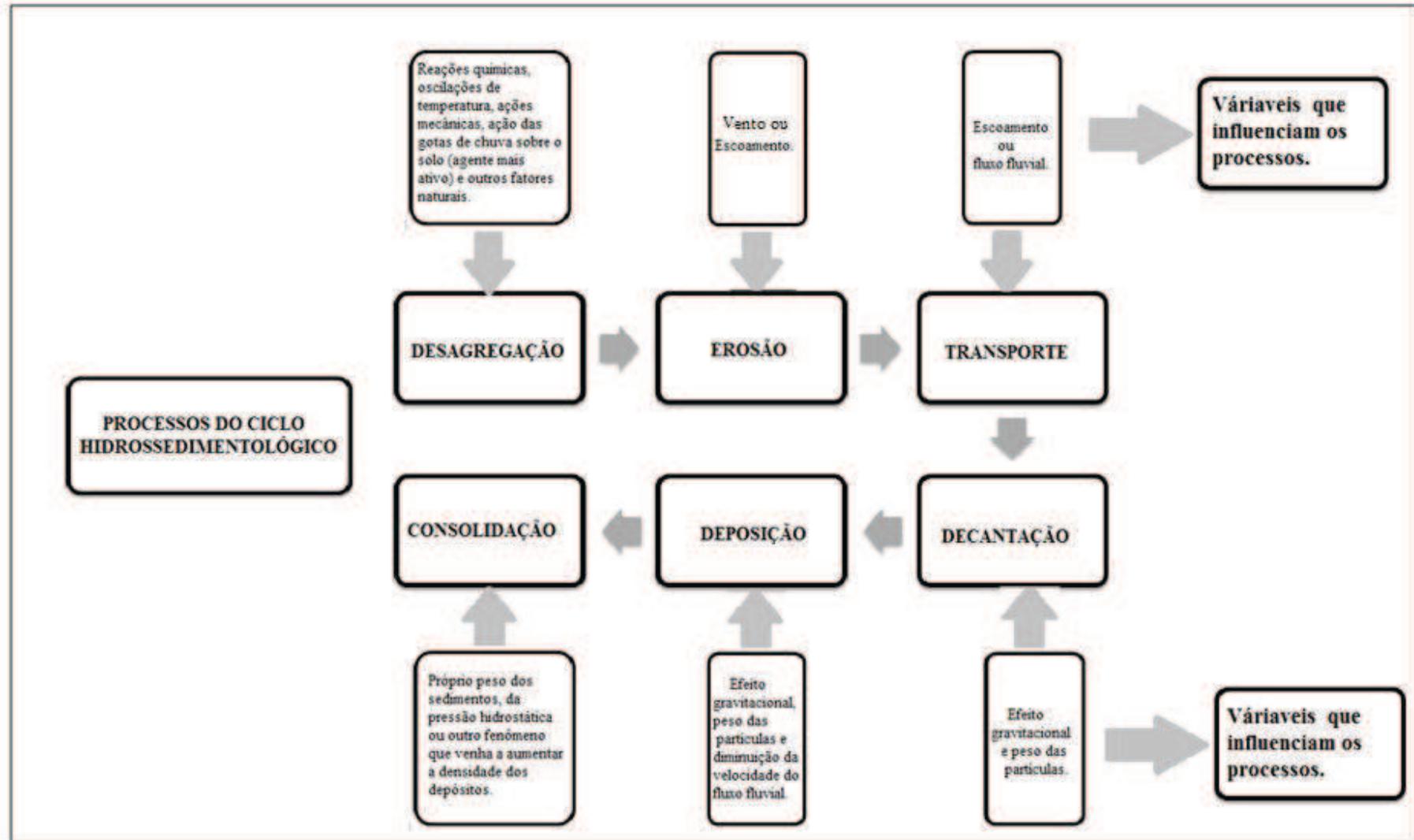
O ciclo hidrossedimentológico é composto pelos processos de: desagregação, separação ou erosão, transporte, decantação (ou sedimentação), depósito e consolidação (BORDAS e SEMMELMANN, 2004; CARVALHO, 2008), conforme pode ser observado no esquema a seguir (Figura 1). Os processos hidrossedimentológicos tem a água como um dos principais agentes ativos, causador do desprendimento das partículas de solo, que são deslocados de seu local de origem (área fonte) e percorrem a encosta até chegar aos canais fluviais, com tendência de seguir para o exutório da bacia de drenagem, contribuindo para a produção de sedimentos.

O ciclo hidrossedimentológico está diretamente vinculado ao ciclo hidrológico e, envolve o deslocamento, transporte e o depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia hidrográfica. No entanto, ele é um ciclo aberto, pois os sedimentos não terão como retornar ao local de proveniência (BORDAS e SEMMELMANN, 2004). Os deslocamentos dos sedimentos pelo escoamento superficial e outros processos promovem o remanejo e redistribuição destes na bacia, a ponto de, eventualmente, interferir no ciclo hidrológico, mas diretamente influenciando o uso, a conservação e a gestão dos recursos hídricos (BORDAS e SEMMELMANN, 2004).

Na área rural, a erosão e remoção dos sedimentos estão relacionadas, principalmente, à diminuição da produtividade e poluição da água. O mau uso e/ou inadequado da terra pode provocar grandes prejuízos para o meio ambiente e para a sociedade. O solo desprendido e transportado vai ser depositado sempre em outro lugar, variando de centímetros a quilômetros do local de origem (áreas fontes) (FAO, 1967). A distância percorrida pelas partículas de solo desprendidas depende de seu tamanho, forma e peso, da velocidade e quantidade do escoamento. As partículas maiores percorrem menores distâncias, sendo as primeiras a se sedimentar (depositar), enquanto que sedimentos em suspensão percorrem maiores distâncias, sendo depositados à medida que a velocidade diminui (FAO, 1967; MORGAN, 2005).

Os sedimentos que chegam aos corpos hídricos diferenciam-se devido à granulometria e terão modos diferenciados de transportes, podendo ocorrer por carga sólida de arrasto, carga sólida saltante ou carga sólida em suspensão. Sendo que a forma com que serão transportados depende do tamanho, da densidade do material e forma e, de características do escoamento (turbulência, velocidade) e do leito (obstáculos, declividade, forma, etc.) (CARVALHO, 2008).

**Figura 1:** Esquema de representação dos processos que compõe o Ciclo Hidrossedimentológico.



**Fonte:** Adaptado de: BORDAS e SEMMELMANN, 2004; CARVALHO, 2008.

Normalmente, a carga em suspensão corresponde de 80 a 95% do total de descarga sólida transportada pelos corpos hídricos, podendo, no entanto sofrer variações de acordo com o curso d'água (velocidade, tipo de escoamento, profundidade, granulometria e outros fatores). Sendo que 70 a 90% de todo sedimento transportado pelos cursos d'água ocorrem no período de chuvas, principalmente, durante fortes precipitações (CARVALHO, 2008). Sendo de fundamental importância relacionar a análise da carga sólida em suspensão transportada pelos rios com a ocorrência das chuvas na bacia hidrográfica.

Os processos hidrossedimentológicos estão relacionados às alterações de uso e ocupação da terra e é necessário o monitoramento da bacia hidrográfica para avaliar o comportamento da dinâmica dos usos e cobertura do solo e a resposta das variáveis de produção de água e sedimentos. Existe, portanto, a necessidade de planejamento e implantação de práticas de manejo do solo com o objetivo de reduzir a mobilização e transferência de sedimentos para os canais fluviais.

Portanto, os processos em ação no ciclo hidrossedimentológico acabam por moldar as feições das bacias hidrográficas (onde sua ação é maior que os processos da dinâmica interna) (BORDAS e SEMMELMANN, 2004). No entanto, as atividades antrópicas acabam por acelerar ou intensificar estes processos naturais. Para Carvalho et al., (2008) a interferência humana pode aumentar em até 100 (cem) vezes a erosão geológica e, o sedimento que circula ou é transportado pela massa de água, não é originário apenas de erosão na bacia (vertentes), mas, também, da erosão do próprio leito e das margens.

O estudo de processos que envolvem o ciclo hidrossedimentológico é fundamental aos interesses na conservação e utilização adequadas dos solos e recursos hídricos. Para Bordas e Semmelmann (2004) a preocupação com estudos do ciclo hidrossedimentológico natural surgiu a partir da visão de gestão integrada dos recursos hídricos, os riscos de degradação do solo, dos rios e ecossistemas fluviais.

Contudo, não se pode desconsiderar a interrelação existente entre as encostas (vertentes) e os canais fluviais, pois, como subsistemas da bacia hidrográfica estão em constantes trocas de causa e efeito. Ou seja, as práticas de uso da terra na vertente podem influenciar os processos erosivos que poderão alterar a dinâmica fluvial (CUNHA e GUERRA, 2006). Deste modo, os processos envolvidos no ciclo hidrossedimentológico estão, também, envolvidos na transferência de sedimentos da vertente para o canal fluvial.

#### 1.4. Transferência de sedimentos da vertente para o canal fluvial

A abordagem das interrelações entre o canal fluvial e a encosta como um processo complexo para a compreensão integrada da evolução da paisagem, corresponde a uma visão recente dos estudos sobre a dinâmica de evolução do relevo (MOURA e SILVA, 2006).

A produção de sedimentos é definida como a quantidade de sedimento total que passa pelo exutório da bacia de drenagem, sendo que na prática ela é dificilmente mensurada, devido à complexidade dos processos envolvidos, pois, está relacionada à quantidade de erosão total dentro da bacia e a eficiência do sistema de drenagem em transportar os materiais erodidos para fora da bacia de drenagem (CARVALHO, 2008; MINELLA e MERTEN, 2011). A Taxa de Transferência de sedimentos (SDR) (*Sediment Delivery Ratio*) é uma porcentagem que relaciona a produção de sedimentos num ponto específico de medição na bacia hidrográfica e a erosão total que ocorre a montante do ponto de medição estabelecido (DE VENTE *et al.*, 2007).

No entanto, não se pode esquecer que a quantidade de sedimentos que chega ao canal fluvial é apenas uma parte dos sedimentos liberados na bacia hidrográfica, porque outra parte fica retida, ou seja, depositada ou redistribuída em outros locais da bacia, no percurso do sedimento até canal fluvial (WALLING, 1983).

A erosão e o destacamento de sedimentos, também, podem ocorrer nas margens dos canais fluviais, mas segundo Carvalho (2008) é bastante inferior à quantidade de sedimentos provenientes de outras áreas fontes (vertentes e estradas, por exemplo) e, que depois de chegar ao canal fluvial são transportados por sua massa líquida. Collins e Walling (2004) corroboram com esta afirmação, para estes autores, em muitos casos a erosão de superfície dos solos foi identificada como principal fonte de fluxo de sedimentos suspensos, que associadas a diversas práticas de manejo do solo, é superior a erosão do próprio canal fluvial.

Os processos de erosão e transferência de sedimentos dentro da bacia hidrográfica sofrem variações de acordo com o regime pluviométrico, a morfometria da bacia e a ação antrópica (uso e ocupação, práticas conservacionistas, influências econômicas, culturais, sociais e /ou tecnológicas) e que influenciam direta ou indiretamente na quantidade de sedimentos transportados para fora da bacia de drenagem (SILVA; SCHULZ e CAMARGO, 2003).

A identificação de áreas fontes de sedimentos na bacia hidrográfica se constitui como o primeiro passo nos estudos de sedimentos suspensos, bem como a forma de

transferência de sedimento que ocorrem no sistema de drenagem em questão. As áreas de proveniência de sedimentos podem ser distintas dentro do sistema bacia hidrográfica, necessitando de investigação, como mapeamento, mensurações, etc. As interações entre os processos hidrológicos e geomorfológicos podem ser estudados em diferentes escalas espaciais e temporais. E, as medidas e métodos variam de acordo com os processos a serem analisados e sua influência na magnitude dos processos (DEPINÉ et al., 2010).

Os processos erosivos observados em áreas agrícolas e estradas estão associados aos impactos observados nos canais fluviais, tanto no aspecto físico (sedimentos), como químico e biológico (MINELLA e MERTEN, 2011). No entanto, segundo estes autores a conectividade entre os processos de vertente e fluvial não são diretos, obedecendo à implicação de mecanismos complexos que atuam sobre esta conectividade e, controlam os processos hidrossedimentológicos na bacia hidrográfica.

A conectividade pode ser entendida com a interação e circulação de energia e matéria entre diferentes segmentos do meio ambiente, podendo ser observado fatores de conectividade e /ou desconectividade (BRIERLEY; FRYIRS e JAIN, 2006). O mapeamento destes fatores consiste em identificar os elementos que influenciam essa transmissão, seja aumentando, seja diminuindo e/ou impedindo um aumento do fluxo de energia e matéria (BRIERLEY; FRYIRS e JAIN, 2006).

Para Minella e Merten (2011) a conectividade entre a vertente e a rede de drenagem é influenciada pelas formas de relevo, por fragmentos de vegetação e por construções antrópica como estradas, drenos, barreiras, etc. A conectividade pode facilitar com que os sedimentos removidos das vertentes cheguem aos canais fluviais.

Mas, mesmo quando uma área é, potencialmente, uma fonte de sedimentos, o sedimento liberado pode não contribuir, significativamente, com a carga de sedimentos transportada pelos canais fluviais, devido a fatores de (des) conectividade, como as estradas, que podem ser elementos de conexão quando diretamente conectadas com os canais, ou podem ser barreiras ao aporte de sedimentos, dificultando sua chegada aos canais, quando possuem, por exemplo, altos barrancos, impedindo que o sedimento chegue à rede de drenagem (COLLINS e WALLING, 2004).

Para Collins e Walling (2004) observações visuais durante caminhamentos pela área de estudos, fornecem informações preciosas para a identificação de ligações ou barreiras entre as áreas fontes de sedimentos e a rede de drenagem. No entanto, é necessário que a subjetividade não se sobreponha a interpretação das provas.

A identificação das fontes de sedimentos, bem como sua dinâmica e variabilidade permitem um conhecimento mais profundo da ligação entre a vertente e o canal fluvial e permite o planejamento do uso e ocupação da terra, sendo essencial para a implantação de estratégias de controle de problemas ambientais relacionados com a produção de sedimentos (COLLINS e WALLING, 2004). As dificuldades de investigação das áreas fontes de sedimentos se dão, primeiramente, pela variação espacial e temporal destas em resposta as interações entre os fatores de mobilização e transporte dos sedimentos; e em segundo lugar, devido aos altos custos e a duração temporal dos estudos de monitoramento e dificuldades na obtenção de dados representativos, o que afeta diretamente na confiabilidade dos estudos (COLLINS e WALLING, 2004).

A contribuição da bacia vertente no aumento dos sedimentos suspensos no fluxo fluvial é bastante complexa, pois envolvem vários fatores, como a forma, a declividade, o tipo de solo, a cobertura vegetal, etc. (COLLINS e WALLING, 2004). A exemplo, a forma das encostas está relacionada à concentração ou dispersão dos fluxos de água. As encostas côncavas concentram volume maior de água, propiciando a saturação mais rapidamente dos poros, reduzindo a infiltração da água, acelerando o escoamento superficial. Já as encostas com forma convexa, funcionam como dispersoras de água, mas devido à maior declividade, fazem com que a velocidade do escoamento aumente (BOTELHO e SILVA, 2004). Também, a rugosidade do terreno, as depressões na superfície e os obstáculos formados por restos de vegetais ajudam a diminuir e /ou barrar o fluxo superficial, ou mesmo reduzir sua velocidade (BOTELHO e SILVA, 2004).

Em áreas mais suaves (baixa declividade) com maiores extensões cultiváveis, estima-se que  $\frac{1}{4}$  (um quarto) dos sedimentos liberados por processo erosivo chegue ao curso fluvial, no entanto, em áreas com declividades acentuadas, as áreas cultiváveis são menores e mais próximas dos cursos fluviais, podendo chegar a estes mais da metade do produto da erosão na bacia (FAO, 1967).

Uma alternativa conveniente para a identificação das fontes de sedimentos em bacias hidrográficas é o monitoramento do fluxo de sedimentos suspensos em subtributários (cabeceiras de drenagem). A comparação da estimativa de concentração de sedimentos com o fluxo de sedimentos na saída da bacia fornece um meio de avaliar as contribuições relativas de fontes espaciais individuais representadas pelas cabeceiras (subtributários) (COLLINS e WALLING, 2004).

A abordagem das interrelações entre o canal fluvial e a encosta como um processo complexo para a compreensão integrada da evolução da paisagem, corresponde a uma

visão recente dos estudos sobre a dinâmica de evolução do relevo (MOURA e SILVA, 2006).

Para Cunha e Guerra (2006) o homem atua como agente acelerador dos processos modificadores da paisagem no interior da bacia hidrográfica, sendo as ações antrópica na bacia considerada uma causa indireta no comportamento da descarga e da carga sólida nos cursos fluviais (CUNHA e GUERRA, 2006). Fatores naturais podem iniciar desequilíbrios em uma bacia de drenagem, como uma chuva concentrada associada a declividades acentuadas, por exemplo, mas as atividades antrópica que são desenvolvidas podem agravar esse desequilíbrio em um efeito cascata.

Limitações de ordem física (solos, topografia, chuvas, secas e ventos), de ordem econômica (juros altos, prazos curtos, financiamentos viciosos, arrendamentos por períodos breves, maus salários) e de ordem social (estado de educação do lavrador, relações entre homem e terra, densidade demográfica, uso e posse da terra) são condicionantes do bom e do mau estado de conservação dos recursos naturais (SILVA; SCHULZ e CAMARGO, 2003.p.42).

Lepsch (2002) relata que para o ano de 2001 estimava-se o transporte de cerca de um bilhão de toneladas de materiais dos solos agrícolas pelas enxurradas no mundo, sendo este não só um prejuízo para o local de onde saíram, mas também, para os canais fluviais, locais de depósito, na maioria das vezes. Os prejuízos não se restringem aos danos ecológicos, mas, se estendem, também, aos econômicos.

O conhecimento acerca da transferência dos sedimentos da bacia vertente até o canal fluvial, ainda necessita de investigações mais aprofundadas. Atualmente, trabalhos de erosão ganharam mais empenho nos estudos em bacias hidrográficas, sendo que grandes avanços vem sendo realizados para descobrir as fontes de produção de sedimentos em bacias hidrográficas (THOMAZ e MELQUIADES, 2009; ANTONELI e THOMAZ, 2010; MINELLA e MERTEN, 2011).

### **1.5. Dinâmica do uso da terra**

O uso e ocupação da terra pode ser considerados um dos fatores mais importantes no processo de aceleração da erosão. Quando se refere às áreas rurais, as atividades agropecuárias assumem lugar de destaque nesta dinâmica. “No Sul do Brasil uma parcela significativa da agricultura familiar ocupa áreas de baixa aptidão agrícola e alta fragilidade ambiental (declividade acentuada das vertentes e solos rasos)” (MINELLA et al., 2007) p.1638).

Em terras com fins agrícolas os problemas erosivos não estão relacionados apenas a remoção da cobertura vegetal para o cultivo, mas também, a alterações das propriedades físicas e /ou químicas do solo em função das práticas de manejo adotadas e, como consequência tem sua fertilidade reduzida, além da perda de resistência à erosão, o que acarreta perdas de água e solo cada vez maiores (SILVA; SCHULZ e CAMARGO, 2003).

As operações agrícolas que envolvem a mobilização do solo alteram substancialmente parâmetros ligados a sua estrutura. Inicialmente, há um aumento da sua porosidade e redução da densidade do solo que por sua vez afetam em cadeia outros parâmetros, porém, esta condição inicia a ser perdida logo após a primeira chuva, ou ainda, logo após a semeadura. Este comportamento pode ser atribuído a possível consolidação natural do solo, causado pelo (re) arranjo natural que o solo tende a apresentar quando deixa de sofrer manipulação mecânica (mobilização) (PEDROTTI e MELLO JÚNIOR, 2009.p.53).

Os efeitos negativos da erosão hídrica e da produção de sedimentos são mais acentuados quando o uso e manejo da terra são realizados sem adoção de práticas conservacionistas e, com a prática de agricultura intensiva em solo de baixa aptidão. Como nas cabeceiras de drenagem quando apresentam uma declividade mais elevada, com maior suscetibilidade a erosão e o solo se encontra com baixa cobertura vegetal (PEDROTTI e MELLO JÚNIOR, 2009).

Devido às características de relevo e clima, a Região Centro Sul do Paraná e, mais especificamente, o município de Irati, possui uma dinâmica de uso e ocupação das áreas agrícolas e agropecuárias, bastante particular, ocorrendo mudanças constantes na forma de uso e ocupação destas áreas durante o ano (calendário agrícola). Em função da dinâmica climática regional, as atividades agrícolas se intensificam nos meses de primavera e verão (setembro/março). Nos meses do outono e inverno, período de entressafra, em geral, as áreas de cultivo são ocupadas por plantas de cobertura (aveia, aveia preta, azevém, etc.). As atividades agrícolas do município estão relacionadas, principalmente, ao cultivo de soja, milho, feijão e do tabaco, sendo que outros cultivos ocupam áreas menos expressivas.

A erosão e a redistribuição de sedimentos – nutrientes em áreas agrícolas devem ser relacionadas com a dinâmica agrícola (calendário agrícola), uma vez que apresenta relação entre as atividades humanas, o ciclo das culturas e os processos ambientais em âmbito das bacias de drenagem (ANTONELI e THOMAZ, 2010.p.384).

O cultivo do tabaco possui características peculiares, pois, há necessidade de construção de camalhões para o plantio das mudas. Estes possibilitam a concentração de água nas entrelinhas. Segundo Antoneli (2011) essas entrelinhas devem ser construídas com certa declividade para permitir um escoamento eficiente do excedente da água da lavoura, pois, a planta de tabaco necessita de um solo bem aerado para não sofrer ataques de alguns fungos, que com maior percentual de umidade no solo atacam as plantas. A maioria das áreas destinadas ao cultivo da fumicultura está localizada em pequenas propriedades, em locais com declividades acentuadas, cultivadas sem práticas conservacionistas, e na maioria das vezes, com a utilização de tração animal para a realização das atividades rotineiras deste cultivo.

Apesar de inúmeros trabalhos demonstrarem que a utilização de sistemas de cultivo conservacionistas, como os que prezam a redução do revolvimento do solo e, a manutenção de resíduos vegetais na superfície, a exemplo do plantio direto, diminuem, significativamente, as conseqüências dos processos erosivos, como a perda de água e solo, em relação aos sistemas de cultivo que promovem o revolvimento do solo, muitas vezes eles não são adotado nas propriedades (DEBARBA e AMADO, 1997; WENDLING *et al*, 2000; LEVIEN e COGO, 2001; TROEH e THOMPSON, 2007; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2008; ANTONELI, 2011; BAGATINE *et al*, 2011 ).

Segundo Antoneli (2011) a agricultura da região Centro-Sul do Paraná é caracterizada pela agricultura familiar, (pequenas propriedades) com predomínio de culturas anuais, como o cultivo de feijão, milho e o tabaco, além de outras culturas menos expressivas. E, a prática do plantio direto, ainda é pouco utilizada na região Centro Sul do Paraná, principalmente nas pequenas propriedades, prevalecendo a prática de plantio convencional.

As estradas rurais, sem pavimentação, são, também, elementos presentes em todas as bacias hidrográficas rurais, podendo atuar como atalho na conectividade entre as vertentes e os corpos hídricos. As estradas são elementos necessários para a circulação na bacia hidrográfica dentro e entre as propriedades. As características geométricas destas dependem de sua localização, das condições do terreno, dos recursos financeiros disponíveis, do nível de desenvolvimento da região, etc. (POLITANO; LOPES e AMARAL, 1989). No entanto, na maioria das vezes, elas são construídas sem nenhum planejamento e acabam por interferir e, até acentuar a produção de sedimentos (BUBLITZ e CAMPOS, 1997).

A vegetação é outro fator de extrema importância no controle da erosão, principalmente, da superficial, atuando pela: interceptação (folhas e resíduos absorvem a energia da chuva e impedem e/ou diminuem o destacamento do solo pelo impacto direto da gota com o solo), contenção (o sistema radicular retém partículas do solo e as partes acima da superfície filtram os sedimentos do escoamento superficial), retardamento (os caules e as folhas aumentam a rugosidade da superfície e diminuem a velocidade do escoamento), e infiltração (a porosidade e a permeabilidade do solo são melhoradas pelas plantas e seus resíduos, aumentando a infiltração, o que retarda ou impede o início do escoamento superficial) (ARAÚJO; ALMEIDA e GUERRA, 2005).

Já as zonas ripárias dos cursos fluviais são essenciais à conservação do meio e redução da degradação, pois, atuam como barreiras ao aporte de sedimentos nos corpos d'água e filtros da massa d'água (SILVA; SCHULZ e CAMARGO, 2003). A zona ripária, no Brasil, pode também, ser chamada de floresta de galeria, ou mais comumente, de mata ciliar, não se restringindo à vegetação próxima ao ambiente fluvial, mas a um espaço tridimensional composto pela vegetação, solo e rio (KOBAYAMA, 2003).

Assim, a função da mesma vai além da manutenção da qualidade da água dos rios, servindo como área de retenção de sedimentos e, conseqüentemente, de poluentes que são carregados junto com os sedimentos ou escoamento oriundos de áreas de cultivo. A proteção da zona ripária, em sua extensão e densidade é de fundamental importância às questões de controle de processos hidrogeomorfológicos entre a vertente e o canal fluvial. Pois, diminuem a velocidade do fluxo favorecendo a decantação de parte do sedimento, ou ainda, fazendo com que parte do sedimento fique aderida aos troncos e caules das plantas. No entanto, se a mata na zona ripária estiver degradada ou não existir, além de não haver barreira natural de nenhuma espécie ao fluxo de água e sedimentos, favorecerá a ocorrência de erosão nos canais, aumentando a quantidade de sedimentos que chega ao curso fluvial (SILVA; SCHULZ e CAMARGO, 2003).

Portanto, a zona ripária pode ser uma barreira estratégica para o curso d'água em relação aos terrenos mais elevados da bacia hidrográfica, desempenhando um papel eficaz de filtragem superficial de sedimentos (LIMA e ZAKIA, 2001). Mas, não existe nenhum método definitivo para o estabelecimento da largura mínima da faixa ripária que possibilite uma boa proteção do curso d'água como retenção de água e demais materiais (sedimentos, nutrientes, herbicidas, etc.) oriundos de áreas a montante dos mesmos (LIMA e ZAKIA, 2001).

No caso do Brasil, o Código Florestal Brasileiro (Lei 12.651/2012) estabelece faixas de vegetação que devem ser protegidas no entorno dos canais fluviais e nascentes, como Área de Preservação Permanente (APP). Pelo Código Florestal em vigor, a área de APP definida para cursos d'água é a seguinte:

- faixa de mata com 30 m de largura para rios com até 10m de largura;
- com 50m para os rios entre 10m e 50m de largura;
- com 100m para rios entre 50m e 200m de largura;
- com 200m para os rios entre 200 e 600m de largura;
- e de 500m para rios com largura superior a 600m;
- Nascentes e olhos d'água perenes: faixa mínima de 50m.

Em função da importância que a zona ripária possui na retenção de sedimentos oriundos de áreas de cultivo, são de grande importância os estudos que investigam a eficiência das larguras das faixas de APP na retenção de sedimentos, demais materiais e fluxos e, proteção dos recursos hídricos, porém, estes ainda são poucos (SANTOS e SPAROVEK, 2011). Pois, só a partir disto, seria possível a delimitação de áreas de APP com larguras capazes de exercer plena eficiência na retenção de materiais advindos das áreas agrícolas, pois, características da bacia hidrográfica como o tipo de vegetação, o grau de degradação da área, tipo de solo, declividade das vertentes influenciam na eficiência da zona ripária funcionar como um filtro ou barreira dos fluxos de água, sedimentos, etc., advindos das vertentes.

Relacionando a transferência de sedimentos entre a vertente e o canal fluvial, e a importância da zona ripária na conectividade entre ambos, ela deverá merecer atenção na avaliação dos resultados encontrados por este estudo, principalmente, na resposta dos eventos pluviométricos e, conseqüentemente, no aumento do fluxo fluvial, e de concentração de sedimentos na bacia de drenagem.

Portanto, atuação dos processos hidrossedimentológicos na bacia hidrográfica pode ser acentuada pelas atividades desempenhadas em seu interior, seja por serem desenvolvidas de maneira inadequada ou em áreas consideradas frágeis ambientalmente.

As cabeceiras de drenagem por estarem encaixadas na vertente podem ser consideradas como um prolongamento destas, sendo diretamente afetadas pelos fluxos que delas provém. No entanto, a conectividade entre as cabeceiras e os fluxos oriundos das vertentes pode ser diferenciada de uma para outra, mesmo em uma mesma bacia de drenagem, podendo ser facilitada por elementos como as estradas que podem estar

diretamente conectadas a elas, ou dificultadas pela presença de zonas ripárias que servem de barreira entre a vertente e os canais fluviais, por exemplo.

Assim, as diversificadas formas de uso e ocupação da terra na área de contribuição das cabeceiras de drenagem, neste caso, diversificadas práticas de cultivo, que adotam diferentes práticas de manejo em distintos períodos do calendário agrícola, aliadas à precipitação e a elementos que interferem na conectividade e transferência, favorecem a ocorrência de dinâmicas diferenciadas de produção de sedimentos em cada cabeceira de drenagem.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

Nesta seção realiza-se a caracterização da área de estudo, bem como os equipamentos e procedimentos necessários a realização deste estudo e obtenção dos dados.

### 2.1. Área de estudo

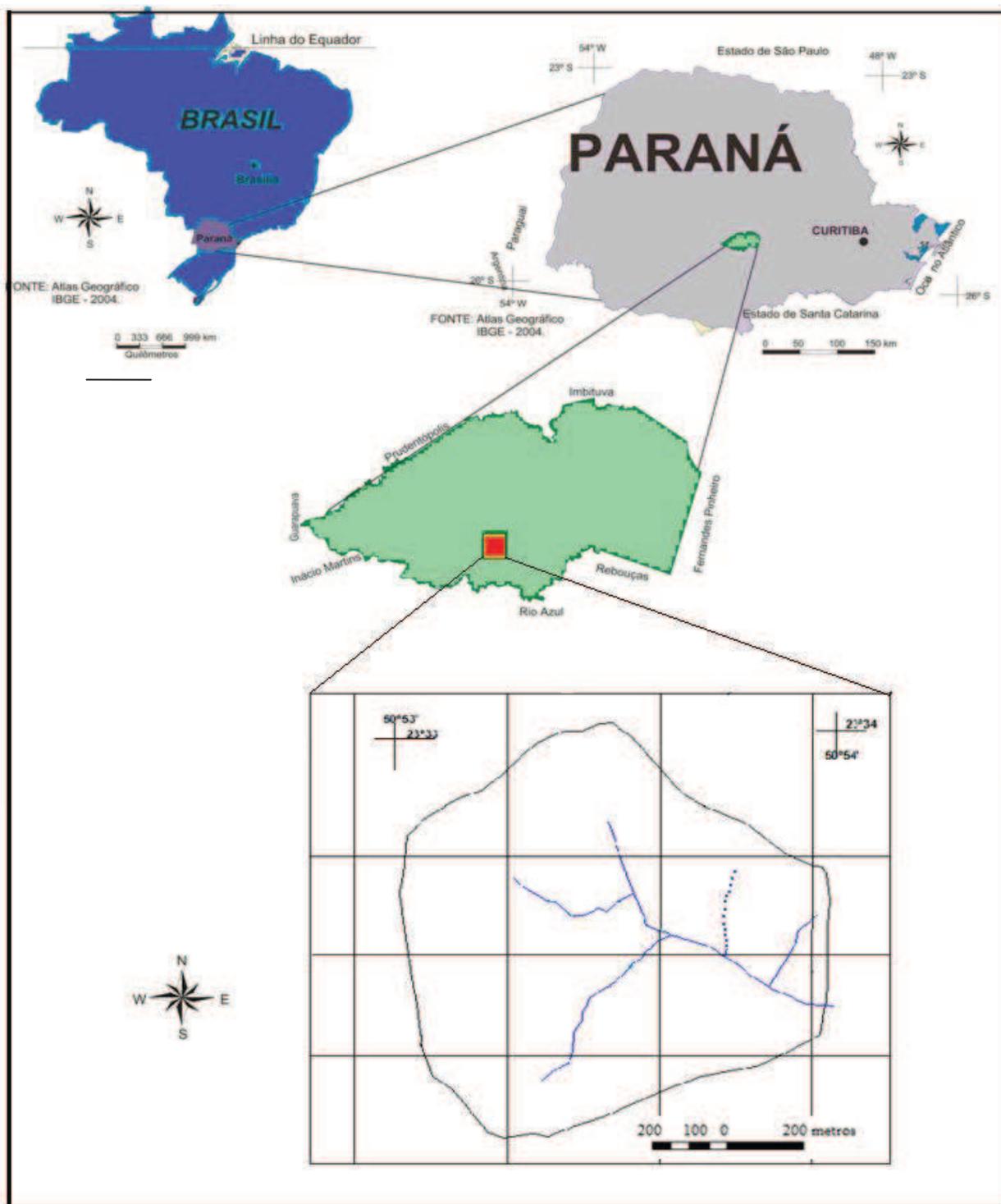
A bacia hidrográfica do Rio Guamirim de Cima, selecionada para o desenvolvimento da pesquisa localiza-se na zona rural do Município de Irati- PR (Figura 2). Este município situa-se na região Centro - Sul do Estado do Paraná. Geomorfologicamente está localizado no Segundo Planalto Paranaense, abrange uma área de 995,28 km<sup>2</sup> (ITCG, 2013) e as atividades agropecuárias constituem uma das principais bases econômicas do município.

A Bacia Hidrográfica do Rio Guamirim de Cima possui uma área de 99,8 hectares, localizada na área rural do município de Irati, na comunidade de Governador Ribas, entre as coordenadas Geográficas 25° 34' e 25° 33' latitude Sul e, 50° 54' e 50° 53' longitude Oeste (Figura 2), sendo esta a primeira tributária do Rio Guamirim.

O clima da região é, predominantemente, Cfb (Köppen) subtropical úmido, sem estação seca, com verões amenos e geadas severas no inverno. Com média nos meses mais quentes superior a 22° C de temperatura e, inferior a 18°C nos meses mais frios (MAACK, 1981). As características climáticas dessa região são influenciadas por quatro fatores principais: (1) migração das massas de ar da zona atlântica equatorial e tropical de pressão baixa no verão em direção ao Sul; (2) entrada de massas de ar frio da frente polar, principalmente, no inverno, influenciadas por anticiclones do Atlântico Sul em direção ao norte; (3) influência dos ventos alísios de sudeste; (4) a corrente marítima quente do Brasil, expandindo as características de clima tropical quente e úmido em direção ao Sul, elevando a umidade do ar e mantendo a temperatura mais estável (MAACK, 1981; MINEROPAR, 1992).

A ocorrência de geadas nessa região é comum nos meses de maio a setembro, mas podendo ocorrer já em abril e ser prejudicial às culturas, ainda, no mês de outubro. O que condiciona o calendário agrícola da região. Quando há ocorrência de geadas nos meses de setembro já podem ocorrer danos econômicos aos plantios já realizados (feijão, milho, fumo, etc.) (MAACK, 1981).

**Figura 2-** Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Guamirim de Cima – Irati/PR.



Org: BRANDALIZE, 2014.

A configuração das paisagens está diretamente associada à influência do clima, pois, o relevo, a cobertura do solo, rede de drenagem e escoamento hídrico, entre outros elementos, interagem com os padrões climáticos. Por exemplo, vários são os fatores que agem na formação dos solos: a natureza da rocha de origem, o clima, a vegetação, a vida

bacteriana, os aspectos do relevo e o tempo geológico (TROEH e THOMPSON, 2007). No entanto, o clima pode ser considerado como o mais importante dos fatores, pois o mesmo tipo de rocha submetida a ações climáticas diferentes pode originar solos com características distintas. Assim, as características climáticas locais, acabam interferindo nas condições de espessura e fertilidade dos solos.

A Região Centro Sul do Paraná está situada sobre as rochas sedimentares da Bacia do Paraná pertencentes às formações Palermo, Irati, Serra Alta, Teresina, Rio do Rastro, Botucatu e Serra Geral. Com ocorrência de intrusões basálticas, como sills e diques, além de aluviões recentes (MINEROPAR, 1992). Geologicamente a área de estudo está sobre a Formação Teresina, pertencente ao Grupo Passa Dois. Esta formação apresenta uma espessura variável, entre 200 e 300 metros, sendo caracterizada pela alternância de argilitos e folhelhos cinza esverdeados com siltitos e arenitos muito finos (MINEROPAR, 1992).

Predominam no município cotas altimétricas entre 800 e 1000 metros. Isto faz com que a forma de relevo predominante, permita que as nascentes dos principais rios que cortam seu território estejam dentro de seus próprios limites geográficos, podendo haver, também, inúmeros saltos nos canais fluviais (MINEROPAR, 1992). Já na Bacia do Rio Guamirim de Cima as cotas altimétricas estão entre 825 e 940 metros.

## **2.2. Dados Cartográficos**

Para a elaboração dos mapas temáticos utilizou-se apoio técnico especializado, com a utilização de um GPS Geodésico da marca *Leica SR 20*, trabalhando com a frequência receptora L1, com precisão do módulo Cinemático de 30 cm e no módulo Estático com 05 cm. Para a obtenção dos dados foi percorrida toda a extensão do perímetro da Bacia de estudo, bem como toda sua área, onde foi realizado o “fatiamento” das diversidades de campo como uso e ocupação, áreas preservadas, cursos hídricos e coleta de pontos da altitude a fim de elaborar mapas de declividades.

Após a realização da coleta de dados em campo, os mesmos foram tabulados e processados em gabinete utilizando o *Software* Gis Data Pro 5.0, sendo realizada a correção dos pontos e convertidos todos os dados para a extensão *Shapefile*. Com os dados em *Shapefile* e com um banco de dados criados foi realizado a edição dos mapas através do *Software* ArcGIS 9.2. A partir do mapa base, foram elaborados os mapa temáticos de: uso e ocupação do solo, hipsometria, declividade, localização dos equipamentos e geomorfopedológico.

### 2.3. Dinâmica do Uso da terra

A bacia é ocupada por áreas de cultivo temporário (fumicultura, soja, feijão e milho), áreas de cultivo permanente (reflorestamento de *pinus* e eucalipto), áreas de cobertura florestal permanente (Floresta Ombrófila Mista e Floresta em Estágio Inicial-capoeira) e estradas rurais que servem de zonas de circulação entre as propriedades e escoadouro da produção. Como divisores topográficos, tem-se a linha férrea a Oeste e a Rodovia PR- 364 a sudeste, ambas são pontos de ligação entre os municípios de Irati e Inácio Martins.

Buscou-se estabelecer um calendário agrícola que represente as práticas de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Guamirim de Cima, no intuito de relacionar a mudanças no uso e ocupação ao longo do ano e a influência na concentração de sedimento suspensos.

Deste modo, o calendário agrícola foi adotado como um mecanismo para relacionar a produção de sedimentos suspensos e a dinâmica do uso da terra. Este está associado a outras variáveis (quantidade e distribuição da precipitação, tipo de solo, fatores topográficos, etc.) que interferem na produção de sedimentos, pois, permite identificar os períodos em que há maior disponibilidade de solos para serem transportados. Ou seja, o calendário agrícola permite o monitoramento das mudanças de manejo das áreas de cultivo (áreas fontes de escoamento e sedimento) ao longo do ano agrícola.

### 2.4. Caracterização das cabeceiras de drenagem

A rede de drenagem é composta por cinco cabeceiras de drenagem, com canais fluviais bem encaixados, de leito rochoso e encachoeirado, sendo quatro de fluxo perene e uma de fluxo intermitente, que formam o canal principal do rio, resultando em uma densidade de drenagem de 1, 298 km/km<sup>2</sup>.

Para caracterização das cabeceiras de drenagem e canal principal foi realizada uma descrição mais específica que indica sua caracterização física (largura e profundidade do leito, largura da zona ripária e a forma de vegetação que a compõe).

### 2.5. Caracterização Geomorfopedológica

O reconhecimento, identificação e a representação das classes de solos presentes na paisagem da bacia hidrográfica estão expressos no mapa Geomorfopedológico. A elaboração deste mapa foi baseada na relação entre relevo e a distribuição de diferentes classes de solo na paisagem da bacia, apoiada nas observações de campo.

Para a elaboração do mapa Geomorfopedológico fundamentou-se, primeiramente, na classificação de solos da região disposta pelo Mapa de Solos do Paraná (ITCG, 2008), nas classes de declividade do solo na bacia hidrográfica e na caracterização morfológica do solo através de observações visuais de campo.

Para caracterização morfológica do solo foram realizadas tradagens em cada vertente representativa da bacia hidrográfica, do topo ao fundo de vale. Foram abertas trincheiras a cada diferenciação encontrada na estrutura pedológica e realizada a caracterização morfológica do mesmo (cor, textura). Assim a identificação das classes de solos presentes na bacia baseou-se na ocorrência regional destas e, a partir da descrição morfológica e observação visual dos horizontes chegou-se a individualização de cada classe e sua delimitação na bacia hidrográfica. Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2009) as classes identificadas foram: Gleissolo Háplico, Cambissolo Húmico, Cambissolo Háplico e Neossolo Regolítico.

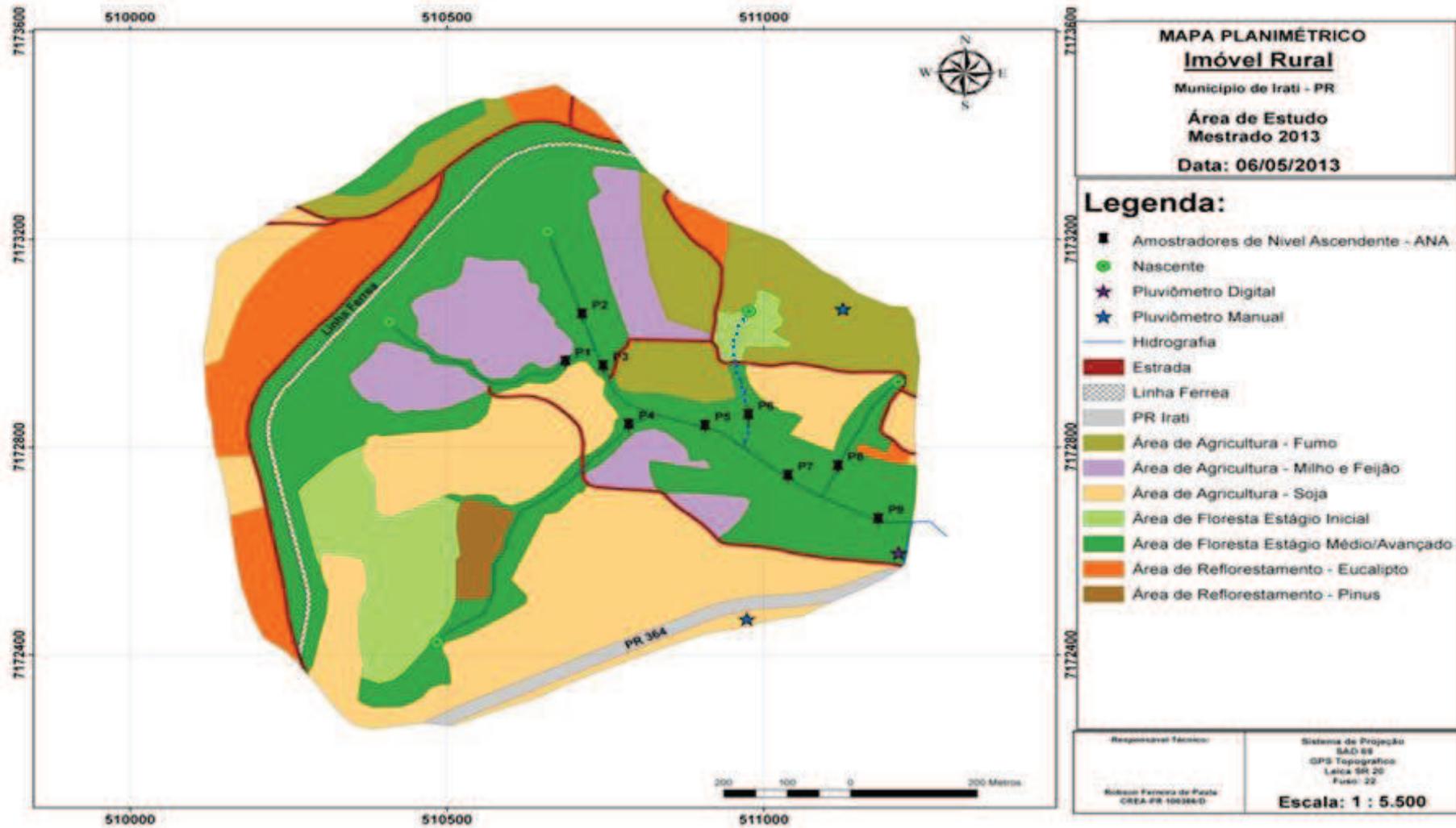
## **2.6. Monitoramento da precipitação e da concentração de sedimentos em suspensão (CSS)**

Para monitorar o índice pluviométrico ocorrido na bacia hidrográfica foram instalados três pluviômetros de coleta de dados manuais em diferentes locais da bacia. A partir de março de 2013 passou-se a utilizar, também, pluviômetro digital para esta função (Figura 3).

Para o monitoramento da Concentração de sedimentos em suspensão (CSS) transportada pelos corpos hídricos foram adotadas algumas técnicas e métodos baseados no monitoramento (*in loco*). Os equipamentos de monitoramento (amostradores de nível ascendente - ANA) foram fixados em locais pré-definidos, entre julho e agosto de 2012, após trabalho de campo preliminar (Figura 3).

Foi definido um ponto de monitoramento em cada uma das cabeceiras de drenagem, e um ponto logo após o local de conectividade entre as mesmas e, posteriormente na foz da bacia hidrográfica, totalizando nove pontos de coleta (Figura 3). Tendo-se assim, a representatividade de cada cabeceira de drenagem na produção da carga sólida em suspensão transportada pelos corpos hídricos e da bacia hidrográfica como um único sistema.

Figura 3: Mapa da Bacia do Rio Guamirim de Cima com a localização do amostradores de nível ascendente – ANA e pluviômetros.



Org: FERREIRA DE PAULA E BRANDALIZE, 2014.

Pelo mapa de localização dos equipamentos indica-se que os pontos P1, P2, P4, P6 e P8 estão localizados em cabeceiras de drenagem, representando cada um deles, o uso e ocupação predominante em sua zona de contribuição (vertentes). Assim, P1 representa os cultivos de milho e feijão; P2 vegetação nativa (mata); P4 o cultivo de soja; P6 e P8 o cultivo de fumo (*Nicotiana tabacum*). Já os pontos P3, P5, P7 e P9 estão situados no canal principal da bacia hidrográfica do Rio Guamirim de Cima, após a conexão das cabeceiras de drenagem com o mesmo, assim, o P3 representa a junção de P1 e P2, o P5 as junções de P3 e P4, seqüencialmente, até que o P9 seja o ponto representativo da junção do P8 com os demais e do exutório da bacia hidrográfica.

As amostras de água e material em suspensão foram coletadas por uma adaptação do modelo US U-59, também conhecido como técnica de *rising-stage* sampler (PELLEGRINI, 2005), ou amostrador de nível ascendente - ANA (Figura 4), que consiste na fixação de garrafas com capacidade de 500 ml em uma base de madeira, com uma mangueira destinada à admissão da amostra e, outra para a saída de ar, afixadas no sentido contra corrente do curso fluvial (CARVALHO, 2008). Conforme Pellegrini (2005) as mangueiras devem ser reguladas a cinco centímetros acima do nível normal do fluxo, conduzindo a água e os sedimentos para as garrafas em diferentes níveis. As mangueiras devem ter a forma de um sifão e, os bocais para saída de ar devem ser posicionados contra corrente, a três centímetros acima dos bocais de admissão da amostra, para evitar a recirculação da mistura quando o equipamento estiver submerso e, assim, se a garrafa não estiver totalmente cheia não haverá refluxo do material presente dentro da garrafa, o que ocasionaria uma alteração na amostra (UMEZAWA, 1979 citado por BELLINASSO, 2002).

Para Bellinasso (2002) devem ser utilizados espaçamentos de 7 a 8 cm entre as mangueiras de admissão da amostra. Já para Paranhos (2003) está distância deve ser de 10 cm e, para Minella (2003) deve ser de 7 cm. No entanto, para ambos, podem ser montados diversos amostradores, um acima do outro, numa mesma vertical, para coleta em diversos níveis selecionados. Ou seja, o amostrador pode ser adaptado de acordo com as características do curso d' água em que deverá ser instalado.

Segundo Carvalho (2008) esse tipo de amostrador de estágio único é utilizado, principalmente, em enchentes rápidas e deve estar fixado na posição mais central do curso d' água. Os amostradores de nível ascendente – ANA são equipamentos de medição indireta, pois, são coletadas amostras de água e sedimentos para análises posteriores, em laboratório.

**Figura 4:** Amostrador de nível ascendente - ANA.



**Autor:** BRANDALIZE, 2013.

Os amostradores instalados na área de estudo têm cinco níveis diferentes de coleta da mistura de água e sedimentos (Tabela 1), adaptado de acordo com a profundidade do nível de água do rio e buscando uma integração vertical que possa representar uma média da concentração de sedimentos transportados. As garrafas, fixadas em diferentes níveis, geraram uma amostra máxima de 500 ml em cada nível de coleta.

**Tabela 1-** Relação nível-garrafa do amostrador de nível ascendente - ANA, instalado na Bacia Hidrográfica do Guamirim de Cima – Irati/PR.

<b>Garrafa/ nível</b>	<b>cm (acima do nível fluvial)</b>
G1	5
G2	15
G3	25
G4	35
G5	45

Como o objetivo é avaliar a contribuição relativa da concentração de sedimentos suspensos entre as cabeceiras de drenagem, ou seja, a comparação entre os diferentes usos da terra, não se utilizou da relação entre concentração de sedimentos e vazão dos corpos hídricos. As amostras analisadas foram coletadas em todos os eventos que aumentaram o fluxo fluvial até o nível de coleta de amostras dos amostradores ANA. Durante o período

de monitoramento em 15 eventos de precipitação pluviométrica houveram coletas de amostras.

### 2.7. Análise das amostras coletadas

Após os eventos pluviométricos que geraram aumento do fluxo fluvial, as amostras coletadas, foram recolhidas, identificadas com as informações necessárias para posterior análise e, levadas ao laboratório onde foram processadas pelo método de evaporação. Sendo utilizado uma Estufa Digital Time Microprocessada para esterilização e secagem, da marca Splabor®.

As amostras foram acondicionadas em béqueres, previamente pesados, sendo devidamente anotadas a quantidade da mistura de água-sedimento, e levadas à estufa a uma temperatura de 100°C, em média por 48 horas para secagem total da mistura. Depois da secagem e resfriamento, os béqueres foram, novamente, pesados para obtenção do valor de sedimentos secos. A pesagem foi realizada em uma Balança Semi-analítica, da marca Shimadzu®. E, a concentração de sedimentos foi correlacionada com o volume da amostra.

### 2.8. Análise dos dados

A precipitação considerada para tabulação e correlação com os demais dados é resultado da média aritmética entre os pluviômetros instalados em diferentes pontos da bacia hidrográfica. O índice anual e mensal da precipitação obtido durante o período de monitoramento foi correlacionado graficamente com a média pluviométrica regional informada pela Estação Meteorológica do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) de Fernandes Pinheiro.

Para a determinação da concentração de sedimentos na mistura água – sedimento utilizou-se a equação a seguir:

$$\text{CSS} = \frac{p}{V} \times 1000$$

Onde:

p= peso seco do sedimento (g);

v = volume da mistura água-sedimento (ml);

CSS = concentração de sedimento em suspensão (g/l).

Os dados de concentração de sedimentos em suspensão (CSS) foram correlacionados com o calendário agrícola e com a pluviosidade ocorrida na área de estudo.

Três eventos foram analisados graficamente, onde foi representada a CSS encontrada no respectivo ponto de coleta, bem como o valor acumulativo do percentual de integração de cada ponto de monitoramento na rede de drenagem como um todo. Os pontos de coleta estavam distribuídos em sequência, de montante para jusante, assim, a acumulação do percentual de sedimentos demonstra como cada ponto contribuiu para o total produzido (100%) durante cada evento.

Foi estimada a contribuição relativa de cada cabeceira de drenagem no acumulado de sedimentos coletados durante o período monitorado. Esta estimativa foi representada em gráficos, resultado da distribuição percentual do valor cumulativo da CSS durante todos os eventos que responderam com coletas. Para a estimativa do valor de contribuição relativa de cada cabeceira de drenagem usou-se a equação a seguir:

$$CSr = CSB1/CSSt \times 100$$

Onde:

CSr = Contribuição relativa de sedimentos suspensos (%);

CSB1= Concentração de sedimentos suspensos em determinada cabeceira de drenagem (sub-bacia) (g/l);

CSSt = Concentração de sedimentos suspensos da bacia hidrográfica como um todo (g/l).

Deste modo, a Contribuição relativa de sedimentos é igual a concentração de sedimento de uma dada bacia (cabeceira de drenagem) dividida pela concentração de sedimento total da bacia principal e multiplicado por 100 (valor percentual). Portanto, para a elaboração dos gráficos de contribuição relativa foi aplicadas a equação mencionada, e o valor atribuído a cada cabeceira de drenagem foi representado por uma cor específica, indicando sua contribuição na concentração total da bacia hidrográfica.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Nesta seção apresenta-se e discutem-se os principais resultados obtidos em relação à caracterização Geomorfopedológica, dinâmica do uso da terra, pluviosidade e a consequente CSS monitorada no período de safra, entressafra, e no período como um todo. Além, da estimativa de contribuição relativa da CSS entre as cabeceiras de drenagem com diferenciados tipos de cultivo predominante e de manejo do solo. Assim como, a influência de elementos de conectividade na dinâmica hidrossedimentológica da bacia hidrográfica.

#### **3.1. Caracterização Geomorfopedológica**

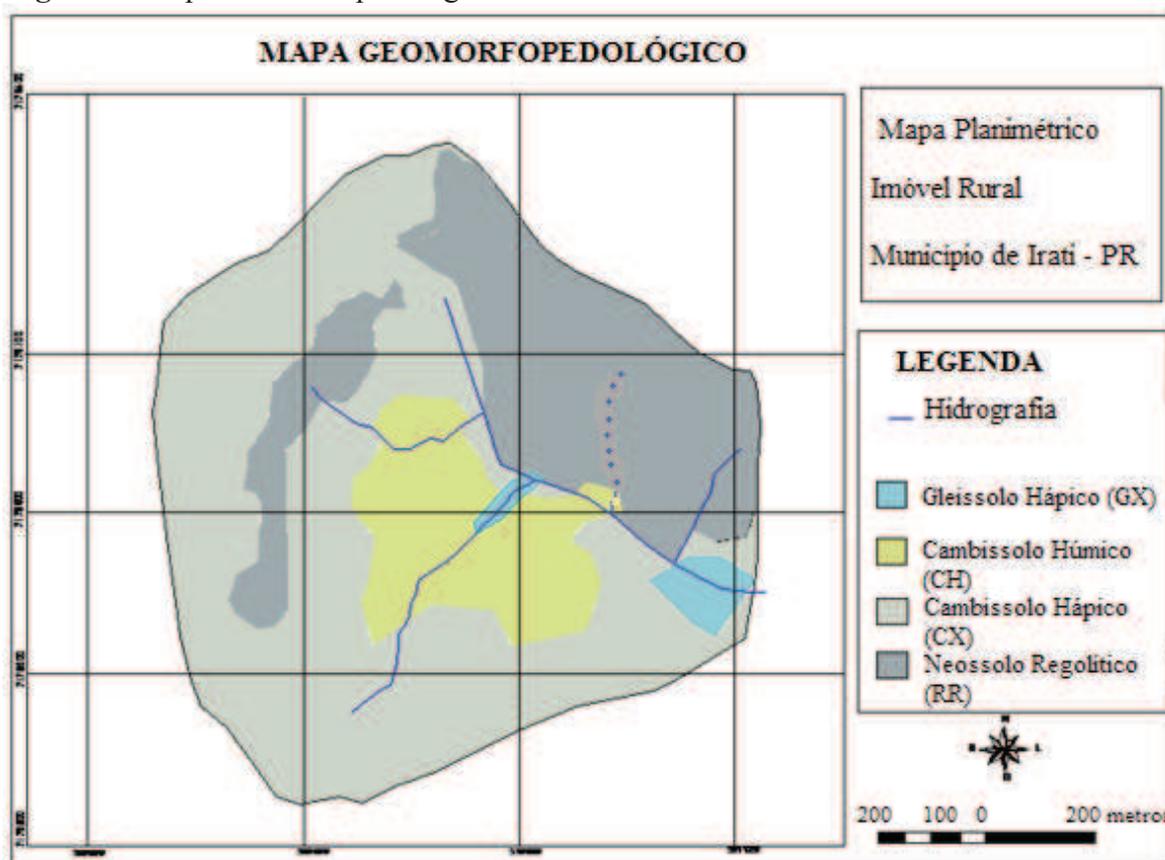
O mapa Geomorfopedológico (Figura 5) apresenta as classes de solos identificadas na bacia hidrográfica do Rio Guamirim de Cima: Gleissolo Háptico, Cambissolo Húmico, Cambissolo Háptico e Neossolo Regolítico. Este é resultado da relação entre o relevo e a distribuição de diferentes classes de solo na paisagem da bacia.

Os Gleissolos encontram-se, permanente ou periodicamente, saturados por água, a não ser quando são, artificialmente, drenados. A água permanece estagnada internamente, ou a saturação é por fluxo lateral no solo. Apresenta forte gleização, em decorrência do regime de umidade redutor, virtualmente livre de oxigênio dissolvido em razão da saturação por água durante todo o ano, ou pelo menos por um longo período, associado à demanda de oxigênio pela atividade biológica, ocorrem sob vegetação hidrófila ou higrófila herbácea, arbustiva ou arbórea (IBGE, 2007; LIMA, et al., 2007); EMBRAPA, 2009). O processo de gleização implica na manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, devido à redução e solubilização do ferro, permitindo a expressão das cores neutras dos minerais de argila, ou ainda precipitação de compostos ferrosos (IBGE, 2007; EMBRAPA, 2009).

Os Gleissolos são solos formados, principalmente, a partir de sedimentos, estratificados ou não, e sujeitos à constante ou periódico excesso d'água, o que pode ocorrer em diversas situações. Comumente, desenvolvem-se em sedimentos recentes nas proximidades dos cursos d'água e em materiais colúvio-aluviais sujeitos a condições de hidromorfia, podendo formar-se também em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, como também em materiais residuais em áreas côncavas e depressões (IBGE, 2007; EMBRAPA, 2009). São eventualmente formados em áreas inclinadas sob influência do afloramento de água subterrânea (IBGE, 2007; LIMA, et al., 2007); EMBRAPA, 2009). Na área em estudo ocupam, principalmente, a região plana de várzea na foz da bacia de drenagem (aproximadamente 2% da área).

Os Cambissolos são solos que apresentam pedogênese pouco avançada, evidenciada pelo desenvolvimento da estrutura do solo, alteração do material de origem expressa pela quase ausência da estrutura da rocha, ou da estratificação dos sedimentos, cromas mais fortes, matizes mais vermelhos ou conteúdo de argila mais elevados que os horizontes subjacentes (IBGE, 2007; EMBRAPA, 2009). Na bacia de estudo ocupam mais de 70% da área e estão associados às áreas de declividades mais amenas e às vertentes, principalmente, de morfologia convexa. Solos pouco espessos que apresentam horizonte B em formação, apresentam profundidades que variam de 50-130 cm, e são constituídos com materiais heterogêneos, conseqüências principalmente de relevo e condições climáticas (OSAKI, 1994). No entanto, ainda são mais profundos se comparados aos Neossolos.

**Figura 5:** Mapa Geomorfológico da Bacia do Rio Guamirim de Cima – Irati/PR.



**Org:** ANTONELI e BRANDALIZE, 2013.

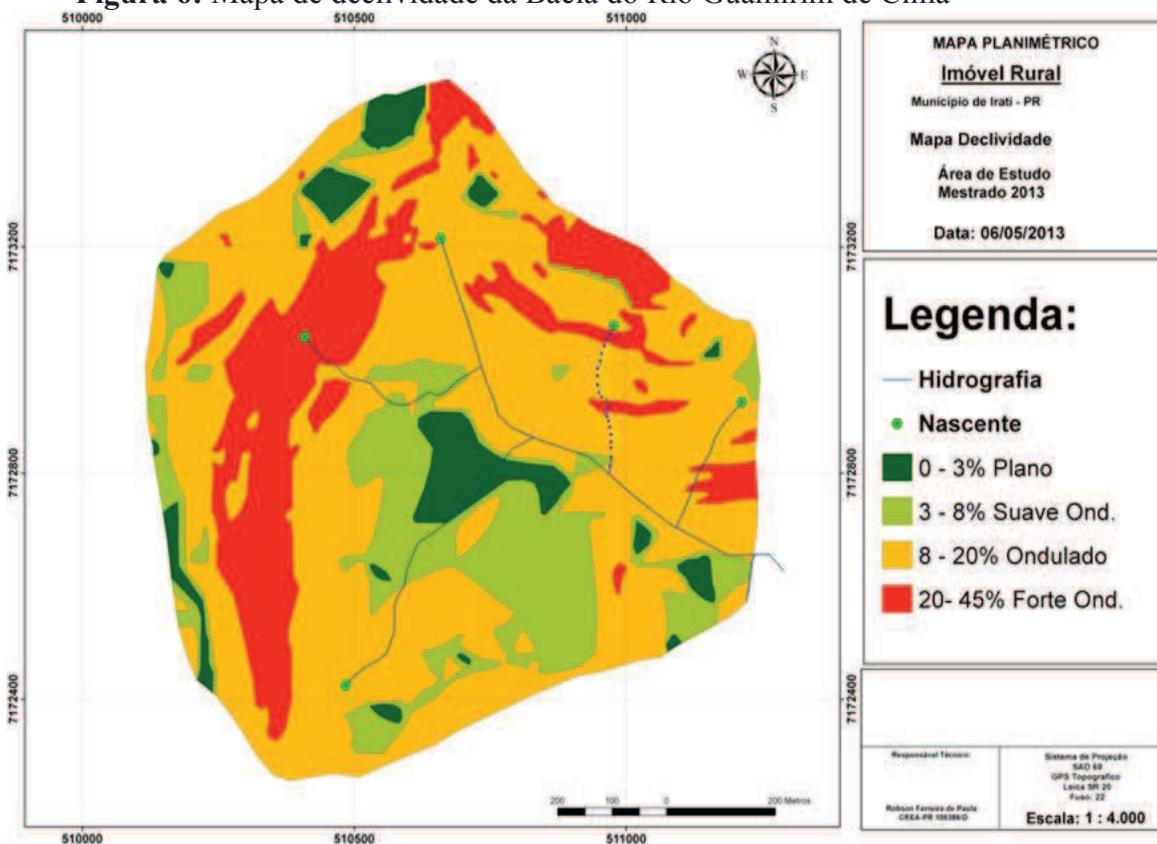
Já, os Neossolos são solos rasos em estágio inicial de formação, constituídos por material mineral ou orgânico pouco espesso com pequenas expressões dos processos pedogenéticos em conseqüência da baixa intensidade de atuação deste processo, que ainda não modificou, totalmente, o material originário, seja em razão de características inerentes

ao próprio material de origem, como maior resistência ao intemperismo ou composição química, ou dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos (IBGE, 2007; LIMA, et al., (2007); EMBRAPA, 2009). Sendo comum, a presença de perfil A-C ou A-R, com ocorrência, principalmente, em relevos declivosos, apresentando baixa espessura e, possivelmente, a presença de pedras, podendo constituir áreas de grande fragilidade ambiental (LIMA, et al., 2007).

Os Neossolos Regolíticos apresentam restrições em relação ao seu uso e ocupação, devido à baixa capacidade de armazenamento de água, exposição de rochas e pouco estoque de nutrientes e, devido a pouca profundidade podem dificultar o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (OSAKI, 1994; LIMA, et al., 2007). Na área de estudo, os Neossolos Regolíticos, aparecem em, aproximadamente, 25% da bacia, principalmente, em áreas extremamente declivosas as quais coincidem com as áreas cultivadas com o tabaco e, as vertentes possuem característica côncava.

As classes de declividade do relevo na bacia hidrográfica (Figura 6). compreendem áreas consideradas próximas de planície (0 – 3%) a áreas com relevo acidentado de alta declividade (20 – 45%) (EMBRAPA, 2009)

**Figura 6:** Mapa de declividade da Bacia do Rio Guamirim de Cima



**Org:** FERREIRA DE PAULA E BRANDALIZE, 2013.

Usualmente os solos rasos em relevos declivosos se tornam muito susceptíveis à erosão e aumentam a produção de sedimentos, a poluição das águas, por exemplo, porque juntamente com o solo são carregados fertilizantes e herbicidas aplicados nas áreas cultiváveis (OSAKI, 1994; LIMA, et al., 2007).

Assim, a Bacia do Rio Guamirim de Cima é constituída de pequenas propriedades, sendo que algumas áreas, devido à alta declividade, não permitem a circulação de máquinas agrícolas, como tratores, colheitadeiras, etc. Utilizando-se de tração animal para realização das tarefas rotineiras, ou são mesmo descartadas da prática de cultivo, como as áreas de capoeiras (Floresta em Estágio Inicial), em que o cultivo não é realizado devido à alta declividade e a presença de solo extremamente raso (Neossolo Regolítico).

A declividade das vertentes está diretamente associada ao aumento da velocidade do escoamento e, conseqüentemente, na quantidade de material transportado (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2008). A declividade acentuada aumenta os problemas decorrentes da erosão hídrica, acentuam a transferência de sedimentos das áreas agrícolas para os canais fluviais ou para áreas mais baixas, que podem ser consideradas áreas de depósitos. Assim, quanto maior a declividade do terreno maior a capacidade erosiva e de transporte dos sedimentos pelo escoamento, e sua influência nas práticas de manejo do solo desenvolvidas.

### **3.2. Caracterização das cabeceiras de drenagem e Dinâmica do Uso da terra ou Calendário Agrícola**

Os dados apresentados na tabela 2 são a representação média de três caracterizações de seções no alto, médio e baixo curso de cada cabeceira de drenagem e, do canal principal.

A profundidade do leito dos canais fluviais varia de 0,3 m a 3,5 m, com largura oscilando de 0,76 a 2,5 m. Já a lâmina de água das cabeceiras perenes varia de 8 a 15 cm e após o aumento da vazão durante os eventos pluviométricos, voltam a se estabilizar rapidamente. A zona ripária oscila entre 2m e 100 m, composta por vegetação que vai de capoeira a mata em estágio médio do tipo Ombrófila Mista.

**Tabela 2:** Característica das cabeceiras de drenagem e canal principal da Bacia do Rio Guamirim de Cima– Irati/ PR.

CANAL FLUVIAL	Seções do curso fluvial	CARACTERÍSTICAS DO CANAL FLUVIAL				
		Profundidade (m)	Largura (m)	Profundidade da lâmina de água* (m)	Tipo do leito	Zona ripária (largura (m) e tipo de vegetação predominante)
Cabeceira de drenagem com predominância de cultivo de milho e feijão (P1)	Alto	0,46	1,30	0,08	Rochoso	20(md**) – 10 m (me**) / mata em estágio médio
	Médio	0,50	0,90	0,12	Rochoso	4(md) - 6 m(me) / mata em estágio médio
	Baixo	0,60	0,85	0,15	Rochoso	5(md) - 6 m(me) / mata em estágio médio
Cabeceira de drenagem com predominância de cobertura vegetal permanente (P2)	Alto	0,30	0,76	0,15	Rochoso	10(md) – 100 m (me) / mata em estágio médio
	Médio	0,30	0,90	0,12	Rochoso	5(md) - 100 m(me) / mata em estágio médio
	Baixo	0,55	1,10	0,10	Rochoso com depósitos de sedimentos	8(md)- 100 m(me) / mata em estágio médio
Cabeceira de drenagem com predominância de cultivo de soja (P4)	Alto	0,30	1,00	0,15	Rochoso	02(md) – 10 m (me) / mata em estágio inicial: capoeira / reflorestamento ( <i>Pinus</i> )
	Médio	0,30	1,30	0,15	Rochoso	03 (md) - 05 (me) / mata em estágio médio
	Baixo	0,40	1,30	0,10	Rochoso com depósitos de sedimentos	40(md) - 80 m(me) / mata em estágio médio
Cabeceira de drenagem com	Alto	1,90	2,00	0***	Rochoso	12(md) - 15 m(me) / mata em

predominância de cultivo de fumo (P6)						estágio inicial: capoeira
	Médio	1,20	1,30	0	Rochoso	20(md) - 30 m(me)/ mata em estágio médio
	Baixo	1,00	0,90	0	Rochoso com depósitos de sedimentos	100(md) - 100 m(me)/ mata em estágio médio
Cabeceira de drenagem com predominância de cultivo de fumo (P8)	Alto	3,00	2,50	0	Rochoso com depósitos de sedimentos	02(md) - 03 m(me)/ mata em estágio médio
	Médio	3,50	1,50	0,08	Rochoso	20(md) - 50 m(me)/ mata em estágio médio
	Baixo	0,50	1,00	0,12	Rochoso com depósitos de sedimentos	30(md) - 100 m(me)/ mata em estágio médio
Canal fluvial principal (P3, P5, P7 e P9)	Alto	0,75	1,50	0,10	Rochoso	04(md) - 03 m(me)/ mata em estágio médio
	Médio	0,50	2,40	0,12	Rochoso	100(md) - 200 m(me)/ mata em estágio médio
	Baixo	0,45	2,30	0,15	Rochoso com depósitos de sedimentos	30(md) - 100 m(me)/ mata em estágio médio

**Org.:** BRANDALIZE, 2013.

\*As medições da lâmina de água foram realizadas em períodos de estiagem (07 a 10 dias sem chuvas).

\*\*md= margem direita; \*\*me = margem esquerda.

\*\*\* cabeceira de drenagem intermitente, após alguns dias sem chuva não há fluxo de água contínuo.

Todos os canais estão sob uma base rochosa (Figura 7) e, em algumas seções é possível identificar o acúmulo de sedimentos depositados.

**Figura 7:** Canal principal da Bacia do Rio Guamirim de Cima – Irati/ PR.

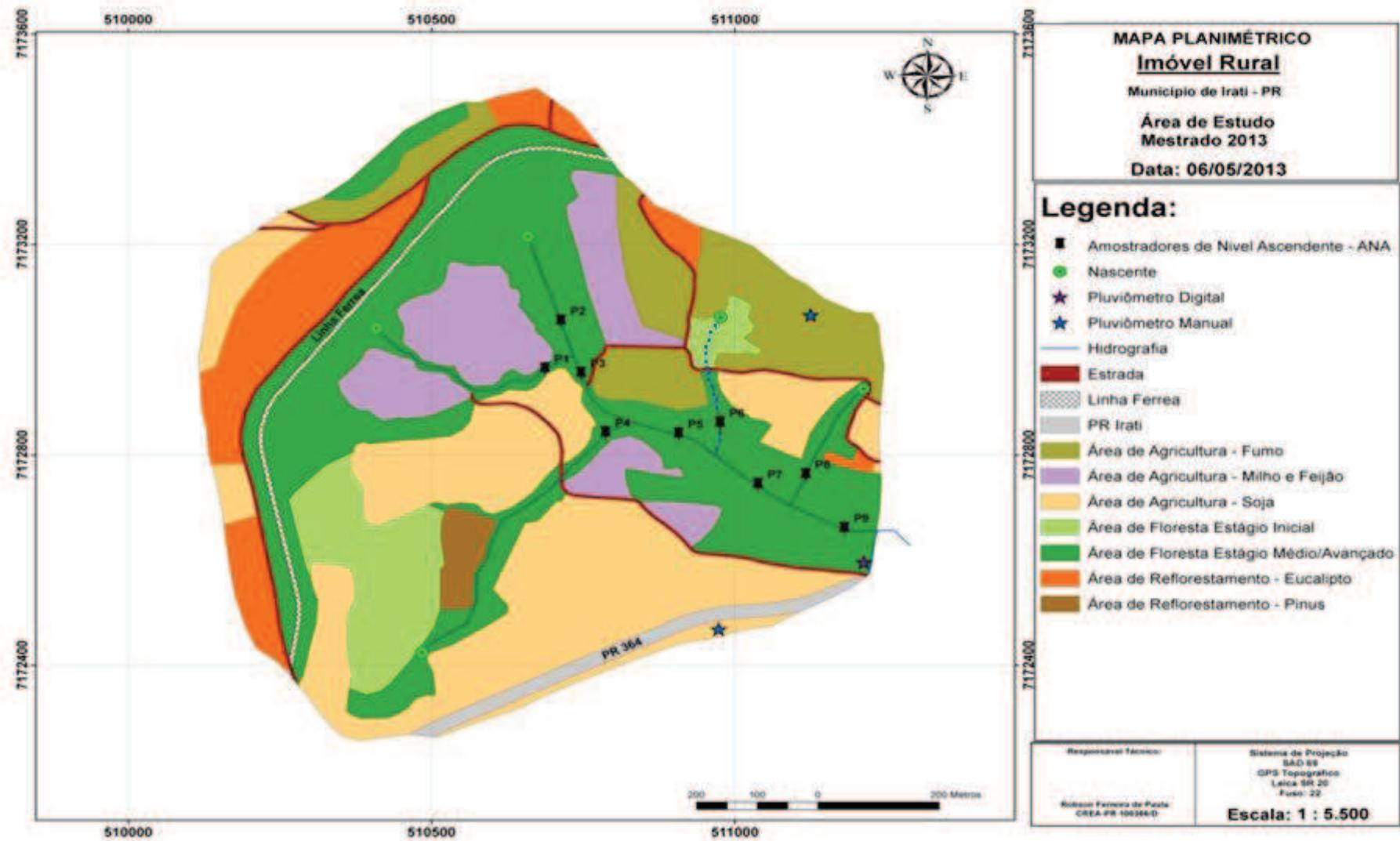


**Fonte:** BRANDALIZE, 2013.

A bacia é ocupada por áreas de cultivo temporário (fumicultura, soja, feijão e milho), áreas de cultivo permanente (reflorestamento de *pinus* e eucalipto), áreas de cobertura florestal permanente (Floresta Ombrófila Mista e Floresta em Estágio Inicial-capoeira) e estradas rurais que servem de zonas de circulação entre as propriedades e escoadouro da produção. Como divisores topográficos, temos a linha férrea a Oeste e a Rodovia PR 364 a Sul, ambas são pontos de ligação entre os municípios de Irati e Inácio Martins (Figura 8).

Há várias classes de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica em estudo, no entanto, no gráfico (Gráfico1) é possível compreender melhor a relação entre a forma de uso e a área ocupada da bacia (%). Entre as cultivares a soja predomina sobre as demais, ocupando 26% da área total, refletindo uma relação explícita entre a forma do relevo, mais especificamente, a declividade do terreno e as práticas de cultivo desenvolvidas. O cultivo de soja ocupa a área de relevo suave a ondulado, com declividade de até 20%, enquanto a fumicultura se concentra nas áreas com relevo mais dissecado, com declividade entre 20 e 45%.

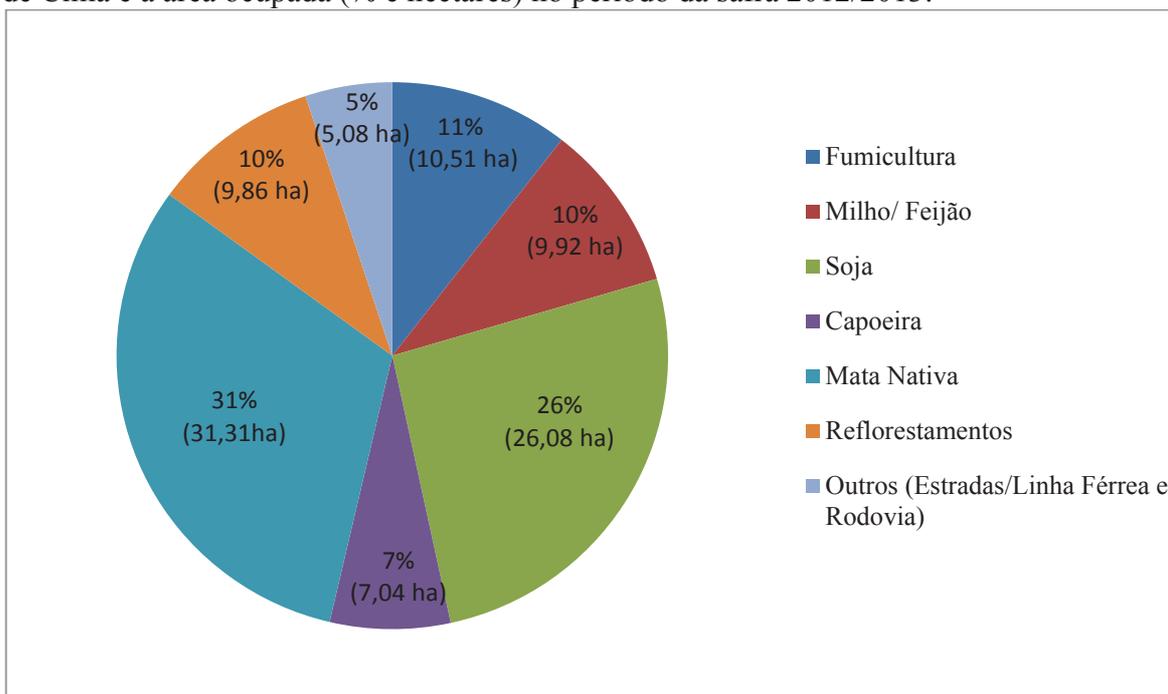
Figura 8: Mapa de uso e ocupação da Bacia Do Rio Guamirim de Cima.



Org: FERREIRA DE PAULA E BRANDALIZE, 2013.

A ocupação de vegetação permanente (Capoeira e Mata) ocupa 38% da área da bacia e, se associada a cultivos permanentes (reflorestamentos de pinus e eucalipto) chegam a 48% da área total. Enquanto que as áreas de cultivos temporários ocupam um total de 47% e 3% são ocupados pela rodovia e linha férrea. As estradas vicinais que servem como elementos de circulação dentro da bacia de drenagem ocupam 2% da área e, resultam numa densidade de 1,967 km/km<sup>2</sup>.

**Gráfico 1:** Relação entre as classes de uso e ocupação da terra na bacia do Rio Guamirim de Cima e a área ocupada (% e hectares) no período da safra 2012/2013.



**Org.:** BRANDALIZE, 2013.

O clima subtropical permite a ocorrência de fortes geadas nos meses de inverno, assim, a agricultura da região possui um calendário associado às condições climáticas, onde as atividades de cultivo são intensificadas no período de setembro a março. Porém, podemos observar no Quadro 1, que os cultivos agrícolas possuem diferentes práticas em diferentes períodos do ano.

O calendário agrícola (Quadro 1) foi elaborado a partir do mês de setembro, quando, em geral, se inicia o plantio da fumicultura e preparo do solo para os demais cultivos e, foi o período de início efetivo do monitoramento das variáveis (precipitação e concentração de sedimentos em suspensão - CSS). No entanto, o baixo índice pluviométrico ocorrido neste mês em 2012 fez com que o plantio do fumo sofresse um atraso, sendo iniciado, somente a partir da última semana deste e início do mês de outubro.

Área de Cultivo	Principais atividades desenvolvidas durante o ano agrícola	
Fumicultura	Set/12	Solo preparado para o plantio/ início do plantio Solo sob cobertura vegetal (azevém) Solo com plantas daninhas/ plantas de cobertura em algumas áreas
	Out/12	Plantio /remoção do solo para eliminação de ervas daninhas (pequena cobertura do solo) Dessecação das plantas de cobertura Revolvimento, preparo do solo e início do plantio
	Nov/12	Período de reconstrução de camalhões e eliminação de ervas daninhas (Boa cobertura do solo) Revolvimento do solo e plantio Término plantio e início de desenvolvimento das plantas
	Dez/12	Início da colheita (máximo de cobertura do solo) Plantas em desenvolvimento (pequena cobertura do solo) Plantas em desenvolvimento (pequena cobertura do solo)
	Jan/13	Colheita Plantas em desenvolvimento (boa cobertura do solo) Plantas em desenvolvimento (boa cobertura do solo)
	Fev/13	Término da colheita / solo descoberto Plantas em desenvolvimento (máxima cobertura do solo) Período de maturação do cultivo de feijão e início colheita
	Mar/13	Solo descoberto/ revolvimento do solo para eliminação de soqueiras Período de maturação do cultivo Termino colheita feijão/ crescimento de ervas daninhas
	Abr/13	Semeadura de plantas de cobertura Colheita/ Solo sem cobertura vegetal, mas com cobertura de restos vegetais do cultivo Período de maturação do cultivo de milho
	Mai/13	Plantas de cobertura em estágio de crescimento Nascimento de plantas de cobertura e ervas daninhas Colheita de milho
	Jun/13	Plantas de cobertura em estágio de máximo desenvolvimento e cobertura do solo Plantas de cobertura e ervas daninhas em estágio de crescimento Solo sob ervas daninha
	Jul/13	Início do período de dessecação das plantas de cobertura Solo com boa cobertura de vegetação Solo com cobertura de ervas daninhas (cobertura irregular)
	Ago/13	Início da preparação do solo para cultivo com revolvimento do solo e incorporação das plantas de cobertura A vegetação de cobertura começa a secar devido às fortes geadas Revolvimento de parte da área para realização do próximo cultivo

**Quadro 1:** Calendário Agrícola da bacia hidrográfica do Rio Guamirim de Cima (setembro/2012 a agosto/ 2013) Org: BRANDALIZE, 2013.

O cultivo do tabaco é uma das principais atividades agrícolas responsáveis pela renda de muitas famílias, principalmente, na Região Sul do país. Já na região Centro Sul do Paraná, onde se localiza o município de Irati, a atividade fumageira é desenvolvida, principalmente, em pequenas propriedades e em áreas com baixa aptidão para outras atividades agrícolas que empregam maquinários mais sofisticados. Esta é uma das características encontradas na área de estudo, onde o cultivo do tabaco é realizado em áreas com declividades mais acentuadas e, com a utilização de tração animal na maioria das atividades de manejo. Além do mais, este cultivo é desenvolvido sem emprego de práticas conservacionistas, como o plantio direto.

No mês de outubro o fumo já havia sido transplantado e, a área de cultivo de milho e feijão se encontrava desnuda, com solo revolvido, pois, o plantio se iniciou na última semana do mês. A área destinada à soja se encontrava sob uma palhada dessecada de azevém que seria incorporada, posteriormente, ao solo, através do revolvimento deste. Apesar desta área possuir uma densa camada de cobertura vegetal foi revolvida para que o plantio fosse realizado sob a prática convencional de manejo, que ocorreu em meados do mês de novembro.

Durante o desenvolvimento das plantas de fumo é necessário a capina para remoção das ervas daninhas, o que destrói ou reduz os camalhões, assim, eles são reconstruído logo em seguida (Figura 09), sucessivamente, até se iniciar o período de colheita. Estas ações disponibilizam, através do revolvimento do solo, sedimentos para serem transportados mais facilmente pelas chuvas (ANTONELI e THOMAZ, 2010). Os camalhões construídos, também, formam canais de concentração de escoamento durante os eventos pluviométricos, intensificando os processos hidrossedimentológicos nestas áreas de cultivo (ANTONELI, 2011). Estes que são construídos para melhorar a aeração do solo e, conseqüentemente, o desenvolvimento das plantas, podem se tornar um vilão na questão erosiva.

**Figura 9:** Reconstrução de camalhões logo após capina.



**Org:** BRANDALIZE, 2012.

O plantio do fumo foi realizado no sentido transversal à vertente, que poderia fazer com que os camalhões atuassem como barreiras do escoamento em direção ao fundo do vale. No entanto, a concentração de água nas entrelinhas acabou por romper os camalhões em alguns locais, principalmente, de morfologia côncava, formando ravinas no sentido morro – abaixo, provocando grande remoção de sedimentos nestes locais. Na Figura 10, pode se observar a atuação deste processo, sendo que esta ravina se conecta diretamente à cabeceira de drenagem (P8), rompendo até mesmo a estrada que se localiza antes do início do vale fluvial.

**Figura 10:** Rompimento de camalhões e formação de ravina.



**Org:** BRANDALIZE, 2012.

Dentro das áreas de cultivo da fumicultura existem diversas estradas temporárias por onde circulam, em geral, carroças para a colheita do fumo, que promovem a formação de pequenos sulcos com as rodas e remobilização do solo. O pisoteio dos coletores das folhas promovem uma compactação superficial do solo, pois, não há revolvimento do solo no interior das entrelinhas no período de colheita, apenas nas estradas de escoamento da produção, o que contribui para a diminuição da disponibilidade de solo a ser transportado.

Já, as plantas de soja atingiram uma boa cobertura do solo no mês de janeiro e fevereiro e, neste cultivo só houve a circulação de trator para a aplicação de herbicidas e fertilizantes, sempre na mesma rota pré-definida dentro da lavoura, para que não houvesse prejuízos as plantas em locais diferentes e não ficassem áreas sem a aplicação dos produtos. No mês de março, com o período de maturação da soja, verificou-se uma gradativa diminuição da cobertura do solo devido à perda das folhas.

A colheita foi realizada no início do mês de abril, ficando o solo desprovido de cobertura vegetal viva, mas os restos vegetais da soja formavam uma camada protetora sobre o mesmo. Era visível, também, a diminuição da rugosidade do solo em relação ao período de plantio, devido à ação da água e acomodação natural do solo após o revolvimento. Em torno de 15 dias após a colheita já se podia observar o crescimento de azevém<sup>1</sup> para formar, novamente, uma densa camada protetora do solo.

O milho e feijão, também, foram plantados entre a última semana de outubro e início de novembro sob o manejo convencional do solo. O solo estava sob cobertura de ervas daninhas que foram dessecadas com herbicida para o posterior revolvimento do solo. No mês de fevereiro ocorreu a colheita do feijão na maneira tradicional, ou seja, arrancado pelas mãos dos agricultores familiares. Esta ação provoca a liberação de sedimentos disponíveis para serem transportados.

Já o milho foi colhido no início do mês de maio e nesta área (P1) não houve a semeadura de plantas de cobertura, como as demais áreas de cultivo, sendo ocupada por ervas daninhas, como o Papuã (*Brachiaria plantaginea*), entre outras, que não produziram uma cobertura do solo homogênea, ficando algumas áreas expostas aos efeitos azevém pode ser muito útil em regiões onde o plantio de milho ou soja ocorre tardiamente (novembro e pluriosivos).

---

<sup>1</sup> O azevém pode ser muito útil em regiões onde o plantio de milho ou soja ocorre tardiamente (novembro e dezembro) por apresentar ressemeadura espontânea fácil, desde que haja bom controle de ervas daninhas, ou seja, não necessita de semeadura a cada ano se permitida a maturação das sementes que ficarão armazenadas no solo e, germinarão em meados do outono (FERREIRA *et al.*, (2000).

Após a colheita do remanescente de milho, a bacia hidrográfica entrou, totalmente, em um período de descanso, não havendo atividades no interior da mesma, apenas a atuação da dinâmica hidrossedimentológica. As áreas de cultivo se transformaram em áreas de pousio temporário após o fim das colheitas, esta é a característica que diferencia o uso da terra do período de safra e entressafra na bacia hidrográfica, conforme a Figura 11.

Nos meses de entressafra houve a semeadura de plantas de cobertura (aveia) nas áreas, antes, sob cultivo do fumo (P6 e P8). No final deste período elas foram dessecadas com a utilização de herbicida, incorporadas ao solo através do revolvimento do mesmo, posterior gradagem para nivelção e construção dos camalhões para o novo plantio. As demais áreas de cultivo, também, estavam sob influência de plantas de cobertura de inverno (azevém e ervas daninhas) que servem como uma camada protetora do solo contra os efeitos pluviosivos, sendo que, também, servirão como matéria orgânica a ser incorporada ao solo.

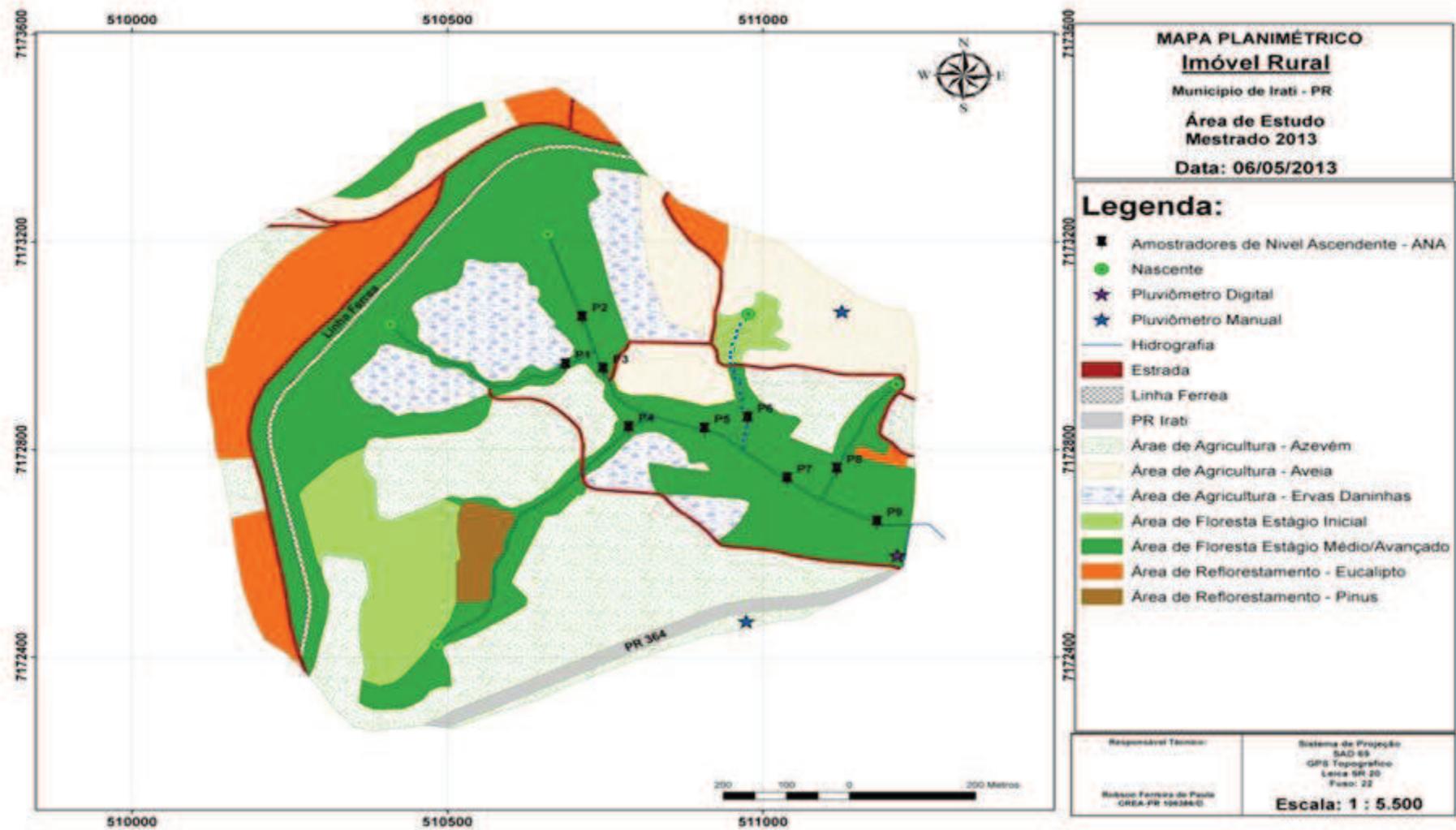
Na entressafra as atividades na bacia diminuíram, significativamente, não havendo nenhuma atividade na área, antes, ocupada pelo cultivo de soja, fumo e feijão. Não há residências, piquetes para animais ou qualquer outra infraestrutura dentro da bacia, assim, no período de entressafra a circulação de máquinas, veículos e carroças reduz consideravelmente, dentro do perímetro da mesma.

No período de monitoramento (safra 2012/2013), nenhum dos cultivos realizados na bacia adotou a prática de plantio direto. Sendo que em todos houve o revolvimento do solo para o plantio. Porém, apenas a fumicultura apresentou revolvimento constante do solo durante o cultivo, para remoção de ervas daninhas e/ou reconstrução dos camalhões. Nos demais cultivo houve a circulação de máquinas agrícolas (tratores) para aplicação de herbicidas, fertilizantes e, para a colheita.

Nas áreas de reflorestamento não houve nenhuma atividade de manejo, como poda, corte, raleamento, não influenciando em alterações na dinâmica hidrossedimentológica da bacia hidrográfica durante o ano. O mesmo aconteceu com as áreas de capoeira e mata que não sofreram nenhuma alteração antrópica neste período.

Quatro das cinco cabeceiras de drenagem possuem cruzamento com estradas. A principal diferença entre as estradas está na declividade do relevo onde foram construídas e sob qual tipo de solo. No entanto, é difícil avaliar a influência das mesmas na concentração de sedimentos transportados pelos corpos hídricos.

Figura 11: Uso e ocupação da terra na bacia do Rio Guamirim de Cima no período da entressafra (abril- agosto/ 2013).



Org: FERREIRA DE PAULA E BRANDALIZE, 2014.

As estradas que cortam a bacia tem por objetivo servir como área de circulação entre as propriedades e como escoadouro da produção, com maior circulação no período de safra de cada cultivo, respectivamente, não sendo construídas com a preocupação ou cuidados para evitar a intensificação dos processos erosivos. Não possuem nenhuma forma de revestimento, nem preocupação com a drenagem e cruzam os canais fluviais, podendo potencializar a transferência de sedimentos das vertentes para os mesmos. As estradas são área que permanecem expostas durante o ano todo e, em nenhuma delas foi observada a existência, por exemplo, de caixas de contenção<sup>2</sup>.

Assim, a dinâmica hidrossedimentológica, atrelada ao calendário agrícola se focaliza nos cultivos de soja, fumo e milho/ feijão, que apresentaram diferentes respostas na concentração de sedimentos suspensos (CSS).

### **3.3. Dados de precipitação registrados durante o período de monitoramento**

Segundo as Cartas Climáticas disponibilizadas pelo IAPAR, a área de estudo está inserida numa faixa de precipitação média de 1600 a 1800 mm anuais. O período de outubro a março possui os maiores índices de chuvas, o que coincide com o período de safra. Sendo que os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, constituem o trimestre mais chuvoso, variando entre 500 a 600 milímetros em média. Os meses de junho, julho e agosto correspondem ao trimestre mais seco, com ocorrência média de 250 a 350 milímetros de chuva.

No entanto, como podemos observar no Gráfico 2, o mês de junho foi um mês atípico, apresentando o maior acumulado de precipitação dentre os meses monitorados e, o acumulado de precipitação anual superou a média histórica para a região apresentadas pelo IAPAR, pois, durante o período monitorado somaram-se 2020 mm de precipitação, quando a média para a região não ultrapassaria 1800 mm anuais.

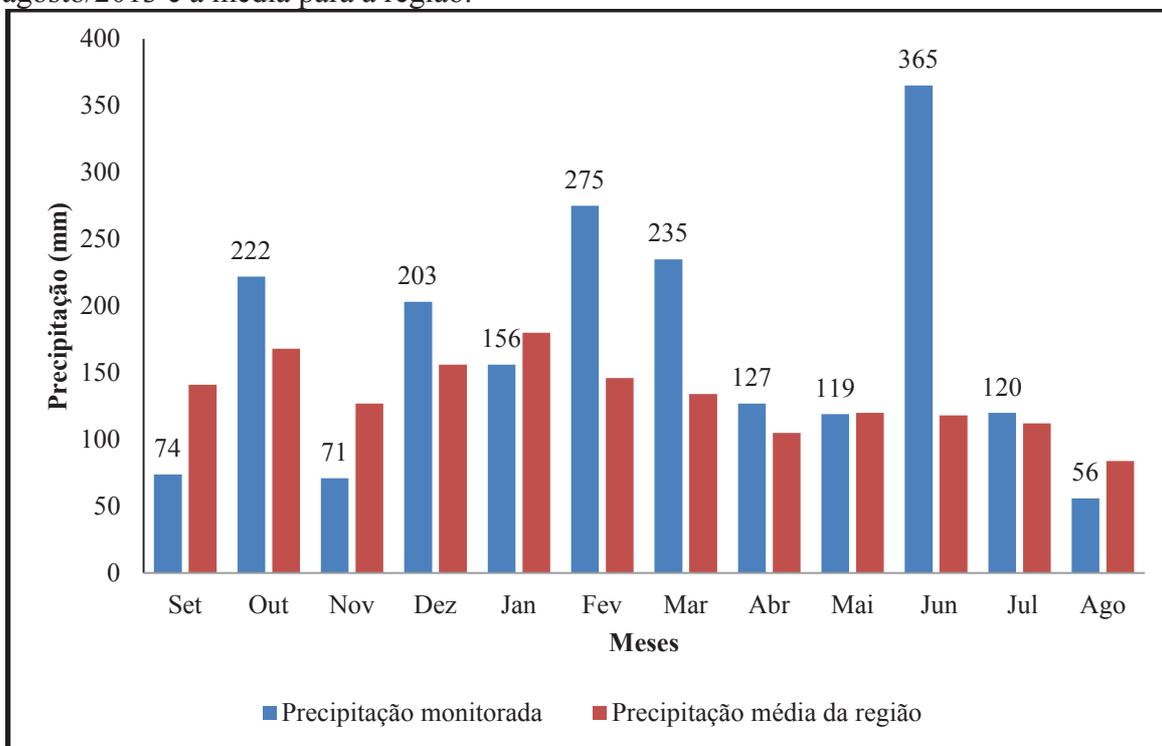
A precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica é bem distribuída espacialmente, pois houve pequena variação entre os diferentes pontos de monitoramento, não ultrapassando cinco milímetros. Como não há dados históricos de precipitação na bacia em estudo, os dados mensurados foram correlacionados com as médias para a região

---

<sup>2</sup> “As caixas de contenção são trincheiras profundas instaladas nas laterais das estradas com o objetivo de reter sedimento e água produzida principalmente no leito das estradas. Sua função é armazenar e dissipar energia evitando que a água escoe por longos trechos, causando erosão do solo durante sua passagem” (CUNHA, THOMAZ e VESTENA, 2013.p.108).

apresentadas pela Estação Meteorológica do IAPAR de Fernandes Pinheiro para o período de 1963 a 2012.

**Gráfico 2:** Comparação entre a precipitação monitorada no período de setembro/2012 a agosto/2013 e a média para a região.



**Fonte:** Estação Meteorológica do IAPAR – Fernandes Pinheiro.

Os meses de setembro/2012, novembro/2012 e agosto/2013 apresentaram os menores índices pluviométricos, correspondente a 3,66%, 3,5% e 2,8%, respectivamente, do total precipitado, apresentando índices abaixo da média histórica da região. Por sua vez, os meses de fevereiro, março e junho foram responsáveis por 43,2% do total precipitado, se configurando meses atípicos se comparados com a média.

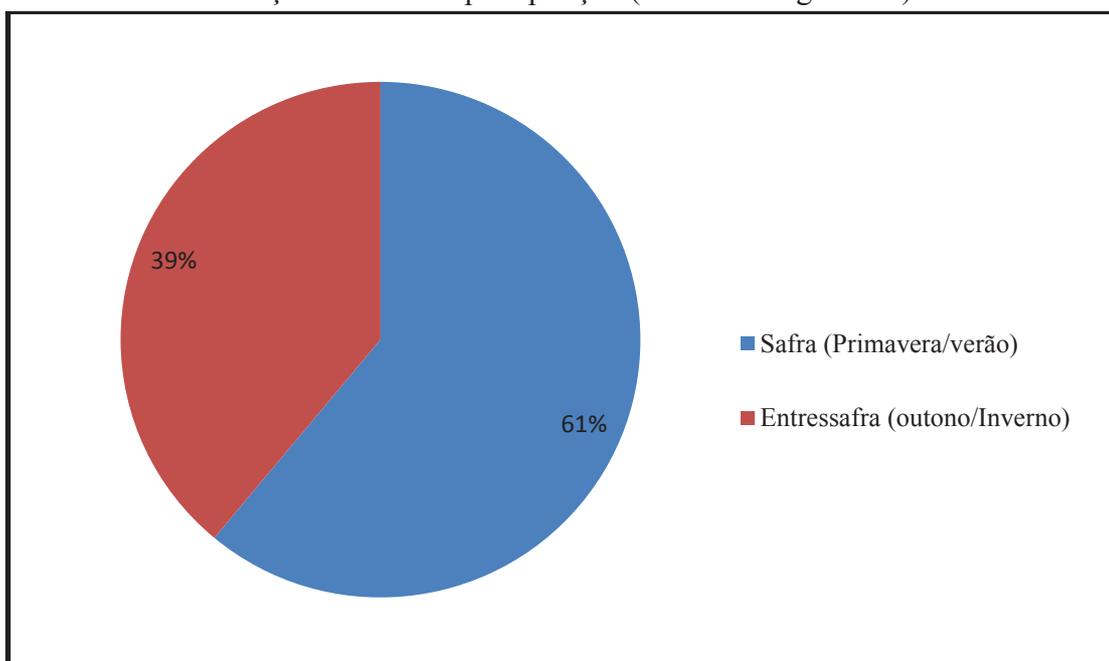
A pluviosidade total ocorrida no período foi de 2020 mm, sendo que ocorreram 81 eventos de chuva de diferentes magnitudes (volume e intensidade) em diferentes estágios do calendário agrícola e, destes, 66 eventos não responderam com aumento do fluxo fluvial (81,5%). Já em 15 eventos (18,5 %) obteve - se respostas nos canais fluviais, aumentando o fluxo e gerando coletas de amostras da mistura água-sedimento.

Os volumes dos eventos pluviométricos variaram de 2 mm a 180mm, porém, os 15 eventos que apresentaram respostas hidrológicas nos corpos hídricos variaram de 20 a 180mm e suas intensidades ficaram entre 5,2 e 34mm/h. Outros 39 eventos foram inferiores a 20 mm, e 27 foram superiores aos 20 mm, mas não responderam

hidrologicamente nos corpos hídricos da bacia, em virtude da baixa intensidade e outros fatores que serão discutidos mais a frente.

Se agruparmos os valores de precipitação sazonalmente, como período de safra (primavera/verão) e entressafra (outono/ inverno) (Gráfico 3) percebe-se o seguinte: 61% da precipitação ocorreram no período de cultivo, enquanto, apenas 39% dos 2020 mm ocorreram no período de entressafra, quando há uma diminuição significativa das atividades no interior da bacia hidrográfica.

**Gráfico 3:** Distribuição sazonal da precipitação (set/2012 – ago/2013).



**Org:** BRANDALIZE, 2013.

Nos meses de verão houve chuvas de curta duração e grandes volumes, como em 24/10/2012, em que em aproximadamente três horas choveu 84 mm (28mm/h). No entanto, nos meses de inverno, ocorreram eventos com maior volume acumulado de precipitação pluvial, mas a intensidade não ultrapassou 10 mm/h, a exemplo da data de 21/06/2013 onde o acumulado foi de 180 mm. Este acumulado ocasionou alagamentos em certas localidades do município, no entanto, a concentração de sedimentos não foi tão significativa, como em eventos ocorridos nos meses de primavera e verão, quando a ocorrência das chuvas associadas ao calendário agrícola propiciaram respostas superiores.

### 3.4. Concentração de sedimentos em suspensão (CSS)

No mês de setembro não houve coleta da mistura de água-sedimento devido ao baixo índice pluviométrico ocorrido, em que os canais fluviais não responderam hidrológicamente. Assim, a primeira amostragem ocorreu no mês de outubro, quando da ocorrência de evento com considerável volume de precipitação (84mm).

O mês de novembro foi caracterizado novamente por baixos volumes de chuvas, não havendo coletas. No mês de dezembro os eventos chuvosos se tornaram mais regulares, ocorrendo amostragem da mistura de água-sedimento (Tabela 3).

**Tabela 3:** Relação mensal de eventos pluviométricos, total precipitado e coletas realizadas.

MÊS	Nº DE EVENTOS	TOTAL DE PRECIPITAÇÃO (mm)	Nº DE COLETAS	COLETA/ PRECIPITAÇÃO DO EVENTO	INTENSIDADE NO EVENTO (mm/h)	PRECIPITAÇÃO MENSAL (%)
Set/2012	05	74	----	---		---
Out/2012	09	222	01	1ª (84mm)	28	36%
Nov/2012	06	71	----	---		---
Dez/2012	10	203	01	2ª (29mm)	34	14%
Jan/2013	09	156	02	3ª (40mm)	8	25%
				4ª(20mm)	25	13%
Fev/2013	13	275	01	5ª(50mm)	12,5	18%
Mar/2013	07	235	03	6ª(25mm)	10	11%
				7ª(85mm)	8	36%
				8ª(45mm)	15,2	19%
Abr/2013	03	127	01	9ª(90mm)	22,5	71%
Mai/2013	06	119	01	10ª(55mm)	13,7	46%
Jun/2013	06	365	03	11ª(48mm)	22	13%
				12ª(180mm)	10	49%
				13ª(70mm)	5,8	19%
Jul/2013	03	120	01	14ª(115mm)	5,2	95%
Ago/2013	04	56	01	15ª(39mm)	17,9	69%
<b>TOTAL</b>	<b>81</b>	<b>2020</b>	<b>15</b>	<b>975</b>	<b>---</b>	<b>48%</b>

Org: BRANDALIZE, 2013.

Nos meses de janeiro, fevereiro e março, a ocorrência de eventos mais sequenciais permitiu um número maior de amostragens, sendo que 06 das 15 amostragens ocorreram neste trimestre. Nos meses de abril e maio ocorreu 01 amostragem mensal, com chuvas

regulares. Já o mês de junho, considerado atípico devido ao alto índice pluviométrico, respondeu por 03 amostragens. O mês de julho gerou uma amostra em resposta a um evento, também de considerável valor acumulado de precipitação pluviométrica (115 mm), enquanto o mês de agosto teve um baixo índice pluviométrico, mas também, gerou uma coleta.

Assim, não se obteve coletas de amostras representativas nos meses de setembro e novembro. Os demais períodos do calendário agrícola tiveram amostras representativas. Alguns dos eventos que refletiram hidrologicamente, não proporcionaram respostas em todos os pontos de monitoramento, como o evento em 01/01/13 de 40mm que respondeu apenas nos pontos P3, P8 e P9.

Nas tabelas a seguir, apresentam-se as CSS encontradas em cada ponto de monitoramento nos eventos em que houve coletas. Sendo que a tabela 4 representa o período do calendário agrícola que engloba a safra (setembro/2012 – março/2013) e, a tabela 5 representa o período de entressafra (abril – agosto/2013).

Durante o período de safra a CSS no P1 oscilou entre 0,38 a 21,71 g/l, sendo que em dois eventos (01/01/13 e 13/03/13) não houve coleta de amostras. O P2 teve uma CSS mínima de 0,29 g/l e máxima de 2,9 g/l e, também, não registrou amostragens nos mesmos eventos. Enquanto que o P3, que representa a junção do P1 e P2, apresentou valores que variaram de 1,05 g/l a 16,79 g/l e, não coletaram amostras em outros dois eventos (06/01 e 07/02/13). Já no P4 verificou-se a CSS variando de 0,83 a 20,39 g/l, e não apresentou amostra em 01/01/13.

O P5, junção dos pontos anteriormente citados, teve CSS variando de 2,11 a 22,75 g/l, não ocorrendo coletas em quatro eventos (01/01, 06/01, 13/03 e 20/03/13). Este ponto apresentou o menor número de coleta, isto, pode estar atrelado à seção do canal fluvial onde estava instalado o amostrador ANA, após a junção das cabeceiras de drenagem P1, P2 e P4. Nesta seção, o leito do rio apresenta um aumento na largura de, aproximadamente, um metro. Assim, nos eventos em que o aumento do fluxo fluvial foi pequeno, a mistura de água e sedimentos não foi capaz de atingir o nível de coleta do amostrador.

O P6 não apresentou coletas apenas no evento, já mencionado, de 01/01/13 que teve pequena magnitude, e sua CSS ficou entre 1,02 e 31,93 g/l. No P7, junção do P6 com os demais pontos, as CSS oscilaram entre 1,87 e 41,61 g/l e, não coletou amostras em 01/01 e 06/01/13. O P8 apresentou valores de CSS muito superiores aos demais pontos, variando de 13,23 a 445,84 g/l e, apresentou respostas em todos os eventos que geraram

coletas. Já o P9 apresentou CSS variando de 2,33 a 132,72 g/l e, não coletou amostra em 07/02/13.

**Tabela 4:** Concentração de sedimentos suspensos (CSS) nos pontos de monitoramento no período de safra.

Coletas Ponto	1 <sup>o</sup> (80mm) 24/10/12 g/l	2 <sup>o</sup> (29mm) 03/12/12 g/l	3 <sup>o</sup> (40mm) 01/01/13 g/l	4 <sup>o</sup> (20mm) 06/01/13 g/l	5 <sup>o</sup> (50mm) 07/02/13 g/l	6 <sup>o</sup> (25mm) 05/03/13 g/l	7 <sup>o</sup> (85mm) 13/03/13 g/l	8 <sup>o</sup> (45mm) 20/03/13 g/l	Média	Desvio padrão
1	17,14	21,71	NC	0,38	1,18	10,38	NC	4,78	9,26	8,75
2	0,29	2,90	NC	0,37	0,45	0,89	NC	0,36	0,88	1,01
3	16,79	8,80	1,05	NC	NC	3,49	7,79	3,00	6,82	5,71
4	0,83	3,67	NC	1,16	2,20	3,57	20,39	2,61	4,92	6,91
5	22,75	2,11	NC	NC	2,53	5,71	NC	NC	8,28	9,78
6	26,13	1,02	NC	7,12	14,02	14,96	31,93	7,06	14,61	11,04
7	41,61	3,22	NC	NC	1,87	11,00	21,88	7,01	14,43	15,13
8	390,04	31,58	37,53	445,84	54,13	25,28	29,31	13,23	128,37	179,72
9	132,72	27,05	2,33	11,08	NC	20,59	35,08	11,92	34,39	44,7
<b>Média</b>	72,03	11,34	13,64	77,66	10,91	10,65	24,40	6,24		
<b>Desvio padrão</b>	125,80	12,00	20,70	180,40	19,60	8,30	9,90	4,50		

NC = Não coletou amostras (não houve aumento do fluxo fluvial suficiente para a coleta de amostras).

Org: BRANDALIZE, 2013.

**Tabela 5:** Concentração de sedimentos em suspensão (CSS) nos pontos de monitoramento no período de entressafra.

Coletas Ponto	9 <sup>o</sup> (90mm) 04/04/13 g/l	10 <sup>o</sup> (55mm) 16/05/13 g/l	11 <sup>o</sup> (48mm) 02/06/13 g/l	12 <sup>o</sup> (180mm) 21/06/13 g/l	13 <sup>o</sup> (70mm) 24/06/13 g/l	14 <sup>o</sup> (115mm) 22/07/13 g/l	15 <sup>o</sup> (39mm) 27/08/13 g/l	Média	Desvio padrão
1	7,94	1,023	0,87	6,82	3,78	4,98	1,02	3,78	2,93
2	1,65	0,37	NC	3,26	0,23	1,05	NC	1,32	1,23
3	12,57	1,32	0,88	8,32	3,68	4,36	1,20	4,62	4,37
4	9,99	1,87	0,92	11,51	2,79	3,06	0,67	4,41	4,45
5	20,39	2,47	NC	12,62	2,75	2,99	1,34	7,1	7,71
6	16,32	3,89	2,32	23,51	3,84	10,84	5,89	9,52	7,88
7	44,45	2,18	2,34	25,28	2,94	5,94	3,62	12,4	16,37
8	307,45	6,74	4,72	51,51	6,25	27,64	15,43	59,97	110,39
9	163,58	3,89	3,62	46	5,42	43,01	5,32	38,69	58,21
<b>Média</b>	64,93	2,64	2,24	20,99	3,52	11,55	4,31		
<b>Desvio padrão</b>	103,88	1,94	1,5	17,38	1,72	14,28	4,93		

Org: BRANDALIZE, 2013.

No período de entressafra as coletas de amostras foram mais regulares durante os eventos, não sendo registradas coletas de amostras no P2 nos eventos de 02/06 e 27/08/13 e, no P5 em 02/06/13.

No P1 as CSS variaram de 0,87 a 7,94 g/l. O P2 foi o ponto mais estável em relação às CSS, variando de 0,23 a 3,26 g/l. Já no P3 os valores ficaram entre 0,88 e 12,57 g/l, estando suas médias sempre mais próximas aos valores encontrados no P1.

O P4 apresentou um aumento na CSS em relação ao período de safra, oscilando de 0,67 a 11,51 g/l. Enquanto que o P5 apresentou CSS entre 1,35 a 20,39 g/l. O P6 apresentou redução de valores, ficando entre 2,32 e 16,32 g/l. Já o P7 teve valores oscilando entre 2,1 e 44,45 g/l.

O P8 manteve CSS superiores aos demais pontos, no entanto, estas diminuíram no período de entressafra, com valores oscilando de 4,72 a 307,45 g/l. No P9 encontrou-se valores entre 3,62 a 163,58 g/l. Este ponto apresenta as maiores médias de CSS dentre os pontos localizados no canal principal, no entanto, percebe-se que ele representa a diluição da alta concentração de sedimentos em suspensão trazidas pela cabeceira onde está o P8. Portanto, houve uma diminuição nas CSS do período de safra para entressafra.

Com exceção da cabeceira ocupada por mata (P2) que apresentou valores inferiores, os valores encontrados aqui foram superiores aos demonstrados, por Depiné *et al.*, (2011) que monitoraram 3 pontos na bacia hidrográfica do Ribeirão Concórdia (SC) com amostradores ANA. No ponto 1, localizado próximo ao exutório da bacia, foram encontrados valores que variaram de 2,46 a 2,82 g/l. No ponto 2, instalado no médio curso, com áreas adjacentes de cultivos agrícolas e estradas, apresentou resultados de 5,42 a 6,20 g/l. Já no ponto 3, próximo a cabeceiras do canal fluvial, com vegetação rasteira, os valores de concentração de sedimentos foram de 1,46 a 1,62 g/l.

### **3.4.1. Análise da concentração de sedimentos suspensos na escala de eventos pluviométricos**

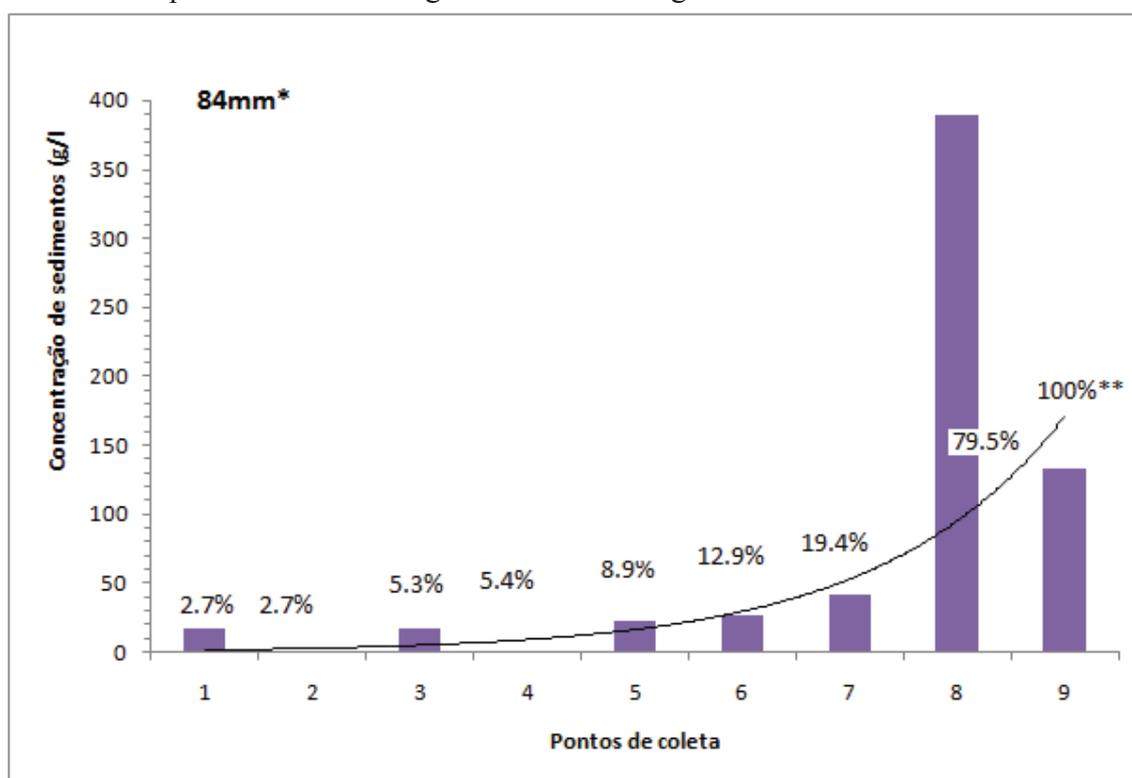
Apresentaremos três eventos mais detalhadamente para representar a dinâmica hidrossedimentológica e a contribuição relativa de cada cabeceira de drenagem na bacia hidrográfica do Rio Guamirim de Cima. Nos gráficos referentes a cada evento, é apresentada a CSS encontrada em cada ponto de monitoramento, e o percentual acumulado de sedimentos devido à integração de cada ponto de monitoramento na rede de drenagem, já que estes se encontram distribuídos, sequencialmente, de montante para jusante da bacia hidrográfica.

No evento ocorrido em 24/10/12 (Gráfico 4) em todos os pontos de coleta houve resposta hidrológica, e a variação da concentração de sedimentos foi muito significativa entre estes. O P2 (cabeceira vegetada) teve uma CSS de 0,29 g/l e os pontos P1 e P3 (conexão do P1 e P2) apresentaram, respectivamente, valores de 17,14 e 16,79 g/l. Já o P4 apresentou valor de 0,83 g/l, bem abaixo das demais áreas destinadas à ocupação da prática

agrícola, porém, nesta data esta ainda se encontrava com boa cobertura vegetal oriunda do azevém dessecado para o preparo do solo para o cultivo.

A junção do P3 e P4 fez com que a resposta de CSS do P5 apresentasse um valor de 22,75 g/l. Já no P6 obteve-se uma resposta de 26,13 g/l, interferindo na CSS do P7 que apresentou um valor de 41,61 g/l. O P8 se destoa, radicalmente, em relação às demais cabeceiras apresentando uma CSS de 390,04 g/l e, o P9 que representa a junção de todos os demais pontos, localizado próximo do exutório da bacia hidrográfica, teve uma CSS de 132,72 g/l.

**Gráfico 4:** Concentração de sedimentos suspensos (CSS) nos pontos de coleta em evento pluviométrico ocorrido em 24/10/12. \*precipitação. \*\*porcentagem acumulada de sedimento suspenso na rede drenagem da bacia hidrográfica.



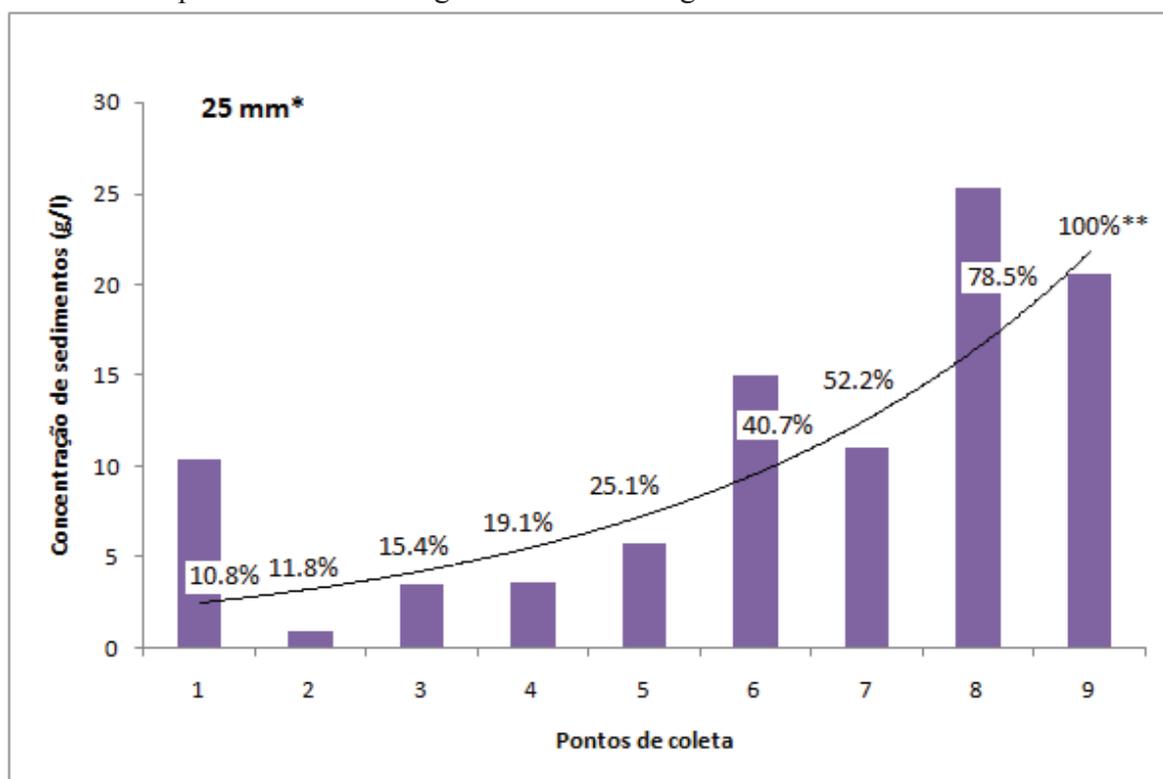
**Org:** BRANDALIZE, 2013.

Verifica-se que as cabeceiras de drenagem com predominância de fumicultura (P6 e P8) apresentaram CSS mais altas dentre as cabeceiras de drenagem, que podemos relacionar ao calendário agrícola, pois, estas áreas apresentavam, nesta data, plantas pequenas com uma baixa cobertura do solo recém revolvido. Enquanto que, a área destinada ao cultivo de milho/feijão (P1) estava preparada para o plantio, com solo revolvido e também, desprovido de cobertura vegetal. Já a área destinada ao cultivo de soja (P4) se encontrava sob a cobertura de uma densa palhada de azevém.

Percentualmente a P8 contribui com mais de 60% de todo o sedimento coletado durante este evento, enquanto, que o P2 apresentou a menor contribuição, apenas 0,05% no acumulado final deste evento, que totalizou 648,29 gramas de sedimentos.

O evento ocorrido em 05/03/13 (Gráfico 5) é caracterizado por baixa cobertura vegetal nas áreas de cultivo de fumo e feijão, cujas colheitas já haviam terminado e, pela maturação da soja, assim, ambas as áreas apresentam uma exposição maior do solo. Este evento teve uma precipitação de 25mm (10 mm/h) e apresentou um aumento da CSS nos pontos P1 e P2 em relação ao evento analisado anteriormente, 10,38 e 0,89 g/l, respectivamente. O P3 apresentou uma redução considerável com 3,49 g/l, podendo indicar que parte dos sedimentos produzidos a montante foram retidos ou depositado, ou que a entrada do volume de água da cabeceira vegetada (P2) e com baixa concentração provocou uma diluição da CSS do P1.

**Gráfico 5:** Concentração de sedimentos suspensos (CSS) nos pontos de coleta em evento pluviométrico ocorrido em 05/03/2013. \*precipitação. \*\*porcentagem acumulada de sedimento suspenso na rede drenagem da bacia hidrográfica.



**Org:** BRANDALIZE, 2013.

O P4 apresentou um valor de 3,57 g/l, P5 indicou um valor de 5,71 g/l e P6 uma CSS de 14,96 g/l. Enquanto, que o P7 apresentava 11 g/l. Já o P8 chegou a CSS de 25,28

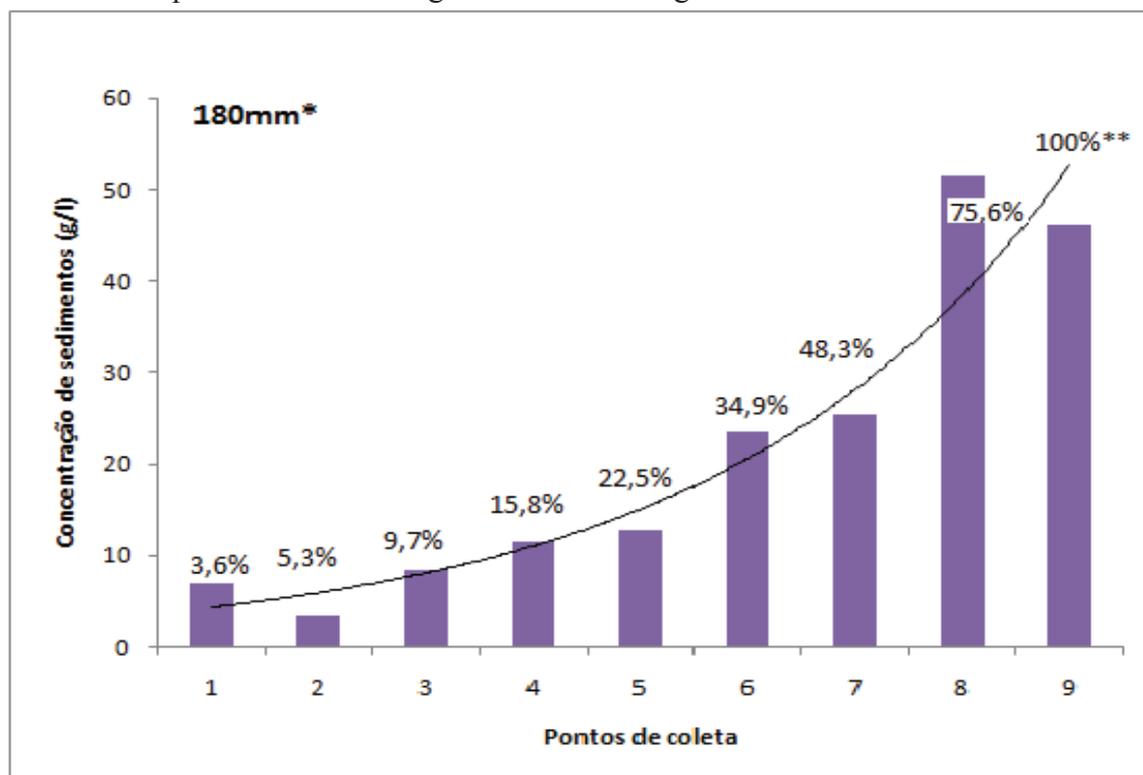
g/l, mantendo a tendência de se sobressair sobre os demais pontos de monitoramento e, no P9 foi encontrada uma CSS de 20,59 g/l.

Houve um aumento na CSS das cabeceiras ocupadas pela soja e feijão/ milho, no entanto, valores ainda bem inferiores as concentrações apresentadas pelas áreas ocupadas pela fumicultura.

Assim, aumentou a contribuição percentual dos demais pontos de monitoramento no acumulado de sedimentos coletados neste evento, principalmente, os P1 e P4 que aumentaram, consideravelmente, sua participação, mas o P8, ainda, respondeu pela maior contribuição, com mais de 26% do total de 95,87 g.

No evento ocorrido em 21/06/13 (Gráfico 6) com um acumulado de precipitação pluviométrica de 180mm e intensidade de 10 mm/h, verificou-se uma CSS de 6,82 g/l no P1 e 3,27 g/l no P2 (maior valor encontrado neste ponto), e 8,32 g/l no P3. No P4 um valor de 11,52 g/l e P5 valor de 12,62 g/l. Já no P6 encontrou-se uma concentração de 23,52 g/l e 25,28 g/l no P7. No P8 verificou-se uma CSS de 51,52 g/l, que manteve a tendência de superioridade sobre as demais, e no P9 encontrou-se um valor de 46 g/l.

**Gráfico 6:** Concentração de sedimentos suspensos (CSS) nos pontos de coleta em evento pluviométrico ocorrido em 21/06/2013. \*precipitação. \*\*porcentagem acumulada de sedimento suspenso na rede drenagem da bacia hidrográfica.



Org: BRANDALIZE, 2013.

Neste evento a bacia hidrográfica encontrava-se no período de entressafra e as áreas de cultivo estão sob cobertura vegetal de aveia (fumicultura), azevém (soja) e papuã e outras plantas daninhas (milho/ feijão). Apesar do acumulado de precipitação ter superado todos os demais eventos ocorridos durante o período de monitoramento, as CSS não foram as mais expressivas, mas a tendência das cabeceiras P6 e P8 sobressair foi mantida. Segundo Bertol *et al.*, (1989), a cobertura (viva ou morta) do solo pode promover redução nas perdas de solo de até 90% e de até 62%, na velocidade da enxurrada.

Mesmo havendo uma distribuição mais regular dos sedimentos entre os pontos de monitoramento se comparados aos outros eventos analisados, mesmo na entressafra, o P8 teve a maior contribuição percentual (27,2% de 188,87 g) dentre todos os pontos.

Eventos com volumes semelhantes e até intensidades próximas apresentaram, também, respostas diferentes em diferentes épocas do calendário agrícola, ou mesmo não apresentaram respostas. Isto se deu em função das características do manejo do solo, cobertura vegetal, etc., em cada etapa.

No mês de outubro (12/10) ocorreu um evento de 40 mm (10 mm/h), no entanto não houve resposta dos corpos hídricos. Neste período o solo nas áreas destinadas a fumicultura apresentavam grande permeabilidade, logo após o plantio, o que pode ter contribuído com o aumento da infiltração de água e os camalhões recém construídos faziam com que a rugosidade do terreno fosse alta. Esta chuva ocorreu após um período de baixa precipitação, pois, o mês de setembro teve apenas 05 eventos pluviométricos, distribuídos irregularmente durante o mesmo, totalizando 71 mm. A área destinada ao plantio de feijão e milho, também apresentava solo revolvido para o plantio e, a área destinada à soja estava sob a cobertura de palhada de azevém, podendo ter contribuído com a redução do escoamento superficial, fazendo com que este evento não fosse capaz de gerar um aumento do fluxo fluvial.

Eventos como o ocorrido em 06/01/13 com precipitação de 20 mm apresentou resposta nas cabeceiras de drenagem (P1, P2, P4, P6 e P8) e no exutório da bacia hidrográfica (P9). A proximidade das cabeceiras de drenagem com as vertentes propiciaram que, rapidamente, respondessem à intensidade de 25 mm/h, porém, os pontos P3, P5 e P7 localizados no canal principal não responderam a este evento.

O evento ocorrido em 03/12/12 com precipitação pluviométrica de 29 mm e intensidade de 34 mm/h respondeu hidrológicamente próximo do evento de 84 mm, anteriormente, já relatado, no entanto, a CSS foi diferente, o P2 e P4 apresentaram um

aumento na CSS, 2,9 e 3,67g/l, respectivamente, e os demais pontos apresentaram uma redução de valores de CSS.

A seguir apresenta-se uma imagem (Figura 12), em que se percebe visualmente a diferença da presença de sedimentos no fluxo fluvial na conexão da cabeceira P6, ocupada pela fumicultura, com o canal principal do rio durante um evento ocorrido no mês de janeiro de 2013.

**Figura 12:** Conectividade entre uma cabeceira de drenagem e o canal principal com evidência visual de diferentes concentrações de sedimento durante evento chuvoso.



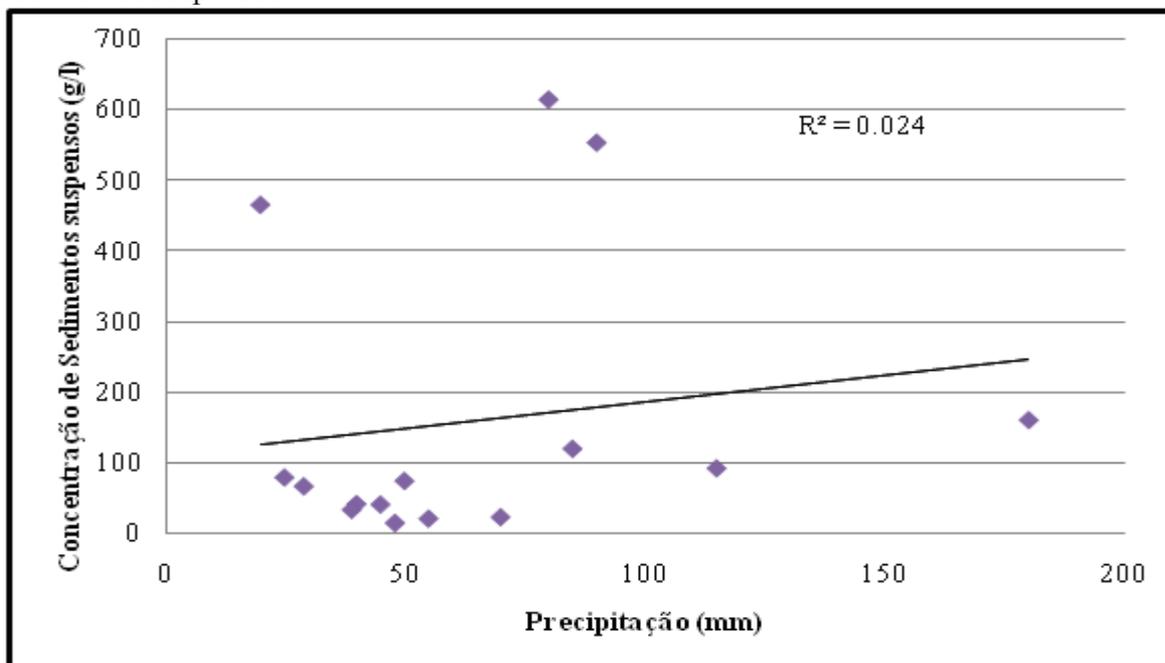
**Org:** BRANDALIZE, 2013.

As concentrações variam, também, de acordo com a precipitação e a etapa do calendário agrícola. No entanto, o aumento da concentração de sedimentos nas cabeceiras cultivadas com tabaco pode ser justificado em função das características apresentadas por este cultivo. Como o revolvimento constante do solo para a remoção de ervas daninha e, a existência de camalhões que possibilita a concentração do fluxo de água nas entrelinhas, fazendo com que o escoamento seja potencializado e, que haja maior revolvimento de partículas de solo. São, também, áreas com declividades acentuadas, solos rasos (Neossolo Regolítico) e utilizadas pela agricultura familiar, que adota práticas de manejo do solo sem medidas conservacionistas e com utilização técnicas rudimentares de tração animal, devido à impossibilidade de tráfego de máquinas agrícolas.

### 3.4.2. Concentração de sedimentos em suspensão e contribuição relativa dos pontos de monitoramento durante os períodos de safra e entressafra

Ao correlacionar-se o volume acumulado de precipitação pluviométrica dos eventos que geraram coletas e o respectivo acumulado de sedimentos (Gráfico 7), verifica-se que não apresentou correlação ( $R^2 = 0,024$ ), não podendo, assim, os volumes de chuva, por si só, explicar a dinâmica de CSS na bacia hidrográfica. A correlação entre precipitação pluviométrica e CSS, também, foi realizada para cada cabeceira de drenagem, isoladamente, mas os resultados foram ainda menores, demonstrando a inexistência de correlação. Deste modo, apresentamos apenas a correlação realizada para a bacia hidrográfica.

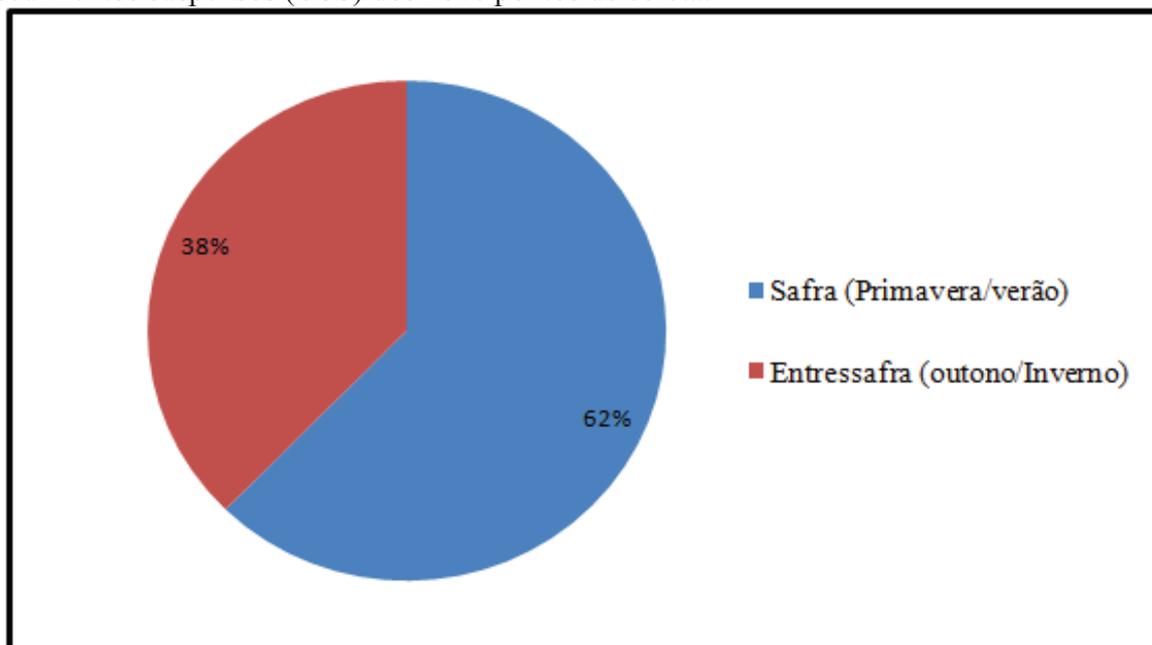
**Gráfico 7:** Correlação entre o volume de precipitação ocorrido e o acumulado de sedimentos suspensos.



**Org:** BRANDALIZE, 2013.

Mas, se associarmos o somatório da CSS dos eventos pluviométricos ao período sazonal, safra e entressafra, em que a precipitação foi dividida, percebe-se valores bastante semelhantes entre as Gráfico 3 e 8.

**Gráfico 8:** Distribuição sazonal (safra/entressafra) do somatório da Concentração de sedimentos suspensos (CSS) dos nove pontos de coleta.



Org: BRANDALIZE, 2013.

Pode-se perceber que a junção do volume de precipitação pluviométrica e calendário agrícola se constitui um conjunto representativo da dinâmica hidrossedimentológica na bacia hidrográfica.

A tabela 6 apresenta uma visão geral e objetiva, da dinâmica da CSS na bacia hidrográfica, demonstrando percentualmente a contribuição relativa de cada ponto monitorado em relação ao acumulado final de cada período.

**Tabela 6:** Contribuição relativa dos pontos de monitoramento em relação ao acumulado de CSS (g).

Pontos De Coleta	SAFRA		ENTRESSAFRA		PERIODO TOTAL	
	Total Acumulado (g)	Contribuição Relativa (%)	Total Acumulado (g)	Contribuição Relativa (%)	Total Acumulado (g)	Contribuição Relativa (%)
1	56	3,4	26,4	2,7	82,0	3,1
2	5,25	0,3	6,58	0,7	11,8	0,4
3	40,92	2,5	32,35	3,3	73,3	2,8
4	34,43	2,1	30,84	3,1	65,3	2,5
5	33,11	2	42,52	4,3	75,7	3,0
6	102,24	6,3	66,64	6,8	168,9	6,5
7	86,59	5,3	86,77	8,8	173,4	6,6
8	1.026,93	63,1	419,77	42,7	1.446,7	55,5
9	240,76	15	270,86	27,6	511,6	19,6
<b>TOTAL</b>	<b>1.626,23</b>	<b>100</b>	<b>982,73</b>	<b>100</b>	<b>2.608,7</b>	<b>100</b>

Org: BRANDALIZE, 2013.

O P2 teve a menor contribuição relativa, seja no período como um todo, ou na safra e entressafra, devido à estabilidade da cabeceira por ele representado, com cobertura vegetal permanente (Mata) sem alterações antrópica. O P8 foi responsável pelo maior percentual no volume de CSS, respondendo no total por 55,5%, no período de safra por 63,1% e na entressafra por 42,7% do volume acumulado de sedimentos coletados.

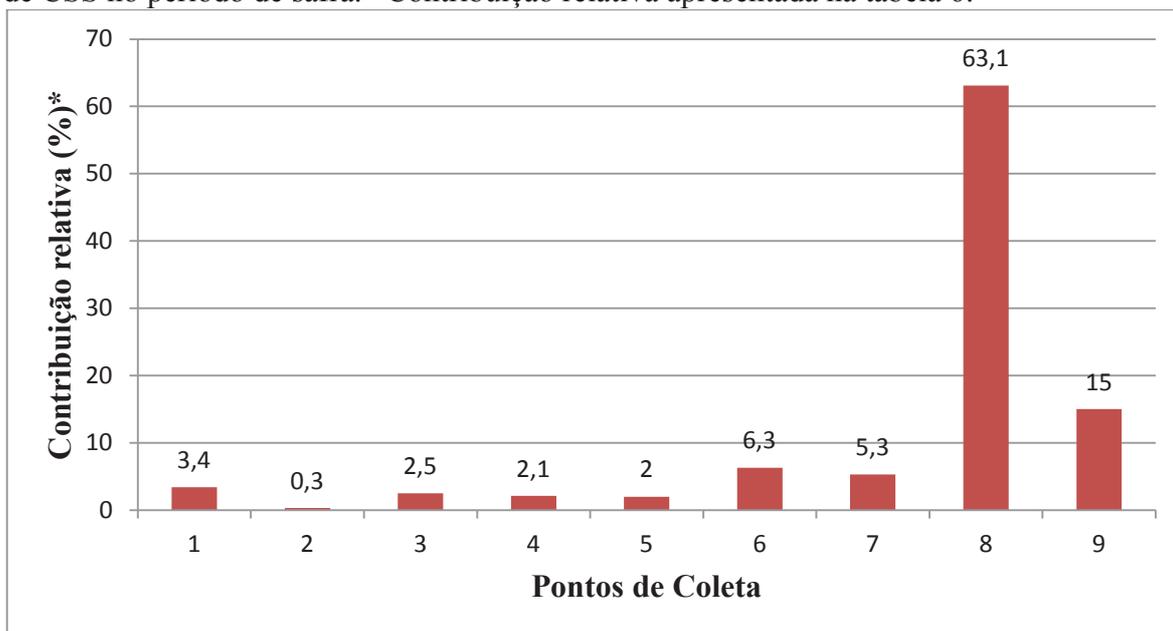
Verifica-se uma tendência que se manteve durante todo o período de monitoramento, a maior CSS no P8 (cabeceiras de drenagem com predominância do cultivo de fumo) sobre as demais cabeceiras (P1, P2, P4 e P6). E entre os pontos representativos do canal principal (P3, P5, P7 e P9) o P9 (exutório) teve as maiores CSS, justamente por estar à jusante do P8, que contribuiu significativamente para que este quadro fosse estabelecido em todas as amostragens.

Corroborando com a tendência observada, Antoneli e Thomaz (2010) demonstram uma alta correlação do calendário agrícola da fumicultura com a produção de sedimentos em suspensão na Bacia do Arroio Boa Vista. Sendo que o período de outubro a dezembro, quando o manejo do cultivo exige um constante revolvimento do solo, foi responsável por 51,6% da produção de sedimento total do período (ano) de monitoramento.

Lecce et al., (2006) observaram que os sedimentos são transportados mais quando as práticas agrícolas são realizadas com o solo descoberto, mesmo quando as chuvas não são intensa e abundantes. Nesse sentido, Canali (1981) concluiu que as maiores perdas de sedimento ocorrem, nessas épocas, em função do solo estar desprotegido e revolvido, exposto à ação erosiva das chuvas, resultando em perda gradativa da capacidade produtiva, afetada, principalmente, pela degradação física do solo.

Nos Gráficos 9 e 10, pode-se verificar a representação da estimativa de contribuição relativa das cabeceiras de drenagem (P1, P2, P4, P6 e P8), foco principal deste estudo, por representarem o uso da terra predominante em sua área de contribuição, no acumulado de sedimentos coletados no período de safra e entressafra.

**Gráfico 9:** Estimativa da contribuição relativa das cabeceiras de drenagem no acumulado de CSS no período de safra. \*Contribuição relativa apresentada na tabela 6.

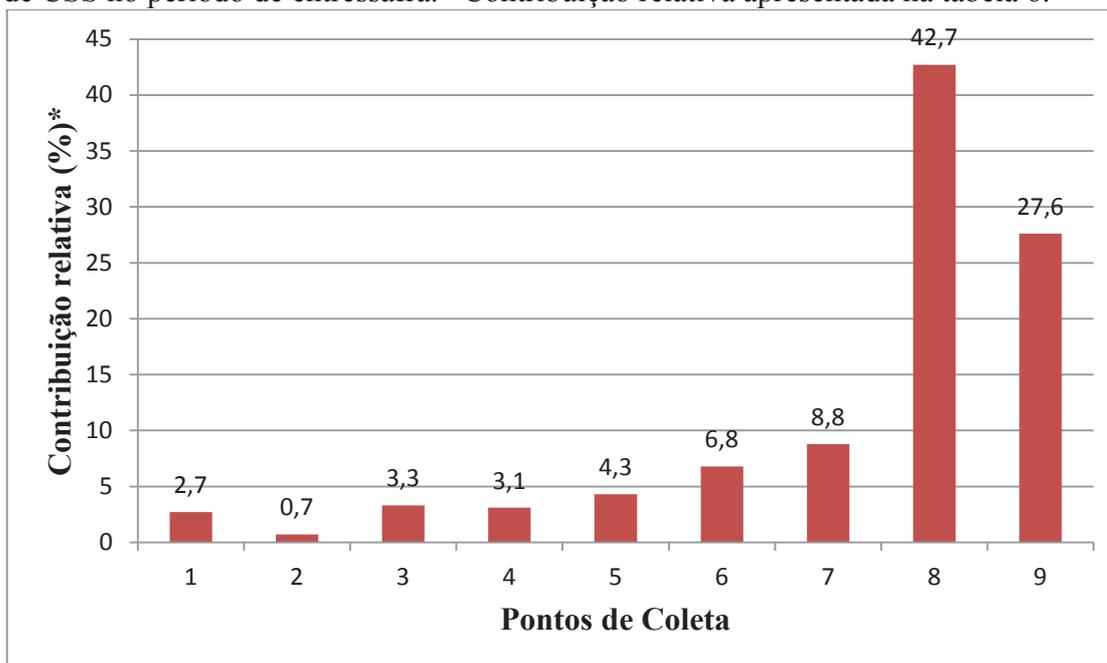


**Org:** BRANDALIZE, 2013.

Durante o período de safra foram realizadas 8 coletas, somando-se os valores de CSS destas e percentualmente distribuindo-as dentre os pontos de coleta, observamos que: a cabeceira de drenagem P2 ocupada por vegetação permanente teve uma contribuição quase insignificante, de apenas 0,3%. O P4 veio em seguida com 2,1% e o P6 contribuiu com 6,3%. Já a P8 estima-se que respondeu por 63,1% do acumulado. Os 24,8% restantes são representados pelos pontos de coleta do canal principal, que representam a integração da rede de drenagem. A fumicultura contribuiu com mais de 70% das 1.626,23 gramas acumuladas de sedimentos coletados no período de safra.

Na entressafra (Gráfico 10) o acumulado de sedimentos caiu para 982,73 gramas, em 7 amostragens. Há um aumento na contribuição da P2, que pode ser atribuído a ocorrência de acumulados de precipitação bastante altos, fazendo com que a saturação do solo fosse maior e, portanto, a área vegetada respondesse mais a eles, mas valores ainda muito baixos se comparado as demais cabeceiras.

**Gráfico 10:** Estimativa da contribuição relativa das cabeceiras de drenagem no acumulado de CSS no período de entressafra. \*Contribuição relativa apresentada na tabela 6.



Org: BRANDALIZE, 2013.

Há uma inversão de papéis entre as cabeceiras P2 e P4, que responderam por 2,7 e 3,3%, respectivamente. O P6 apresentou uma pequena variação, aumentando para 6,8%, enquanto, que a P8 reduziu para 42,7% a sua participação. Há aumento na contribuição dos pontos do canal principal que passaram a responder por 44% do total. Os pontos do canal principal representam o incremento da entrada das cabeceiras no curso fluvial do rio Guamirim de Cima.

### 3.4.3. Concentração sedimentos em suspensão e conectividade em bacia com uso agrícola.

É preocupante que na agricultura da região caracterizada pela agricultura familiar com predomínio de culturas anuais como, o cultivo do milho, feijão e o tabaco, cultivados em áreas de declividades acentuadas, ainda seja pouco expressiva a preocupação com adoção de práticas conservacionistas, como o plantio direto.

Segundo Lepsch (2002), os níveis de erosão dependem muito da forma como os cultivos são realizados e, para que o solo não seja degradado velozmente, há necessidade de adoção de uma série de precauções denominadas de práticas conservacionistas. Essas práticas permitem que os níveis de degradação causados pela agricultura sejam reduzidos e, que a relação sociedade – meio fique mais próxima de um equilíbrio. Pois os danos do

processo erosivo e, conseqüentemente da produção de sedimentos, não ficam restritos as áreas de produção agrícola, mas se estendem ao meio como um todo, inclusive aos corpos hídricos.

O P6 está localizado em cabeceira de drenagem com características semelhantes ao P8, com a mesma prática de manejo do solo (convencional), mesmo cultivo, mesma declividade e mesmo tipo de solo, porém, seus valores de CSS apesar de serem superiores aos demais usos da terra, foram bem inferiores aos valores obtidos no P8. Para entender esta disparidade, consideramos elementos de conectividade existentes entre as vertentes e ambas as cabeceiras de drenagem (P6 e P8).

Para Michaelides e Chappell (2009) há um aumento no interesse em compreender, quantificar e representar a conectividade e seus efeitos sobre os processos geomorfológicos e hidrológicos. Pode-se entender a conectividade como um processo, sendo definida na Geomorfologia como a transferência de sedimento a partir de um zona ou local para outro e, na Hidrologia como a eficiência com a qual o escoamento se move de áreas de origem para canais fluviais e em seguida através da rede de drenagem (HERRON e WILSON, 2001; HOOKE, 2003 apud MICHAELIDES e CHAPPELL, 2009).

Ambas as vertentes das cabeceiras P6 e P8 possuem traços claros de escoamento e remoção de sedimentos, bem como a ruptura de camalhões em locais de morfologia côncava, onde a concentração de água rompeu os mesmos e seguiu seu curso sentido morro abaixo. No entanto, na P8 observa-se uma conectividade direta do fluxo oriundo da vertente com o canal fluvial, através de uma ravina que cruza uma estrada localizada a montante do início do vale da cabeceira, conectando canal e vertente, numa transferência direta de água, sedimentos e demais materiais derivados das áreas de cultivo a montante (Figura 13).

Já na P6 a conectividade não é tão evidente, pois, há uma faixa de mata ciliar, barrando o fluxo proveniente da vertente. Mas, a mesma estrada que passa a montante do vale da P8, cruza a P6 na transição do alto e médio curso, porém, não há visualmente, conexão direta com o canal fluvial.

Para Thomaz et al., (2011) as estradas interferem no movimento de água e sedimentos na bacia de drenagem, através da influência no escoamento superficial e produção de sedimentos, facilitando a conexão entre a vertente e o canal fluvial e, muitas vezes, acelerando ou facilitando o processo de transferência de sedimentos da vertente para o canal fluvial. Sendo que muitas vezes as estradas se conectam diretamente com os canais fluviais.



Thomaz; Vestena e Ramos-Scharrón (2014) em estudo realizado na bacia do Rio Guabiroba, Guarapuava – PR, verificaram que a concentração de sedimento suspenso aumentou com o cruzamento dos canais fluviais com as estradas, em média, 6,9 vezes a jusante em relação ao valor a montante em canais com área de contribuição inferiores a 3km<sup>2</sup>. E que estes valores tendem a diminuir com o aumento da área de captação da rede de drenagem. Ou seja, há grande influência das estradas em canais fluviais de baixa ordem, como as cabeceiras de drenagem e, quase imperceptível em canais de ordem superior.

No entanto, não foi realizado neste estudo este tipo de monitoramento que poderia quantificar a interferência das estradas na CSS na bacia do Rio Guamirim de Cima. Com exceção da cabeceira P2, todas as demais tem cruzamentos com as estradas, porém, visualmente, não se verificou a transferência de sedimentos e escoamento oriundo da vertente, tendo a estrada como elemento de conectividade. Assim, as mesmas não são elementos de grande interferência nas diferenciações de CSS entre as cabeceiras de drenagem.

A zona ripária que deveria atuar como uma barreira, não impediu o aumento do nível de fluxo fluvial na cabeceira P6, mas fez com que a CSS que chegam a ela fosse bem inferior a CSS que chegou ao P8 que não possui a mesma faixa de zona ripária.

A cabeceira drenagem P2 é a única que não é cruzada por estrada e possui em seu entorno uma considerável área de zona riparia e, por isto, não foi observada nenhuma influência das áreas de cultivo antes de sua junção com a cabeceira P1. Esta cabeceira de drenagem apresentou a menor CSS na bacia, com média de 1,07g/l, abaixo do valor médio de 1,4 g/l para pontos de monitoramento em área florestada encontrados por Pellegrini (2005).

Para minimizar os efeitos negativos da erosão e produção de sedimentos, seja para as áreas agrícolas, sejam para os ambientes aquáticos, muitos autores sugerem adoção de práticas conservacionista buscando evitar ou reduzir os impactos causados por estes processos (LEPSCH, 2002; TROEH e THOMPSON, 2007; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2008).

A adoção de práticas com características conservacionistas contribuí para a redução das perdas de solos em atividades agrícolas, minimizando a degradação do solo proporcionada pelo ato de cultivar. A prática de Plantio Direto, adotado como uma forma de manejo conservacionista reduz, significativamente, as perdas de solos em relação à prática do plantio convencional. Bertoni e Lombardi Neto (2008) relatam que como não há

revolvimento do solo, o plantio direto possui efeitos significativos no controle de perdas de solo, podendo chegar a uma redução de 99% das perdas.

Quando ocorre o planejamento correto de uma propriedade agrícola, utilizando técnicas adequadas de ocupação e manejo do solo, de acordo com sua aptidão agrícola, a produção de sedimentos pode se aproximar aos valores de áreas preservadas (MORGAN, 2005) e, conseqüentemente, a taxa de transferência de sedimentos predispostas a chegar aos canais fluviais será menor.

Logo, sugere-se o manejo do solo seguindo práticas conservacionistas, como plantio direto, plantio em contorno, construção de terraços, que podem fornecer benefícios tanto para os agricultores, quanto para o meio, na busca de um desenvolvimento sustentável. A manutenção e/ou recuperação da vegetação na zona ripária dos canais fluviais, que se tornam barreiras eficazes na retenção de fluxos de água e demais materiais oriundos das áreas cultiváveis que seguem em direção aos cursos d'água.

A adoção de medidas conservacionistas pelos agricultores se inicia por programas de instruções, que lhes transmitam e apresentem o conhecimento necessário para a adoção de uma agricultura de conservação e, que induza os mesmos a abandonarem métodos tradicionalmente prejudiciais ao uso e manejo do solo e, que estes estejam dispostos a inovações e mudanças e a persuadir outros agricultores a seguir seus exemplos e seus esforços por uma agricultura com menor grau de degradação (FAO, 1967). O combate à erosão dos solos não deve ser um empecilho à prática produtiva, mas deve ser aliada a ela. Ou seja, práticas conservacionistas e práticas de manejo e cultivo do solo devem ser desenvolvidas simultaneamente. O uso da terra deve ser o ponto de partida para a conservação dos solos na luta contra a erosão e transporte de sedimentos em níveis degradantes (FAO, 1967).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dinâmica hidrossedimentológica dentro do domínio da bacia hidrográfica do Rio Guamirim de Cima, está condicionada a um complexo conjunto de variáveis (tipo de solo, declividade do terreno, precipitação, uso da terra, manejo do solo e calendário agrícola).

Há diferenciações de tipos de solos entre as cabeceiras de drenagem, declividade, além, das classes de uso da terra. Todas estas variáveis foram consideradas para as conclusões, além da possível interferência da zona ripária na conectividade da vertente com o canal fluvial. Em todas as áreas de cultivo foi adotada a prática de manejo convencional do solo, mesmo em áreas onde havia condições para a efetuação do cultivo sob a prática de plantio direto, como a área destinada ao cultivo de soja (P4).

Durante o período de monitoramento deste estudo a precipitação pluviométrica foi superior a média histórica, apresentando meses com volumes acima da média histórica da região. Porém, os meses de setembro e novembro de 2012 apresentaram volumes abaixo da média, com eventos distribuídos irregularmente durante o mês, que associados ao solo revolvido e com maior rugosidade superficial em relação à fase final de cultivo, não responderam no aumento do nível fluvial.

Durante a safra ocorreram 8 (oito) das 15 (quinze) amostragens do período. Estas corresponderam a 62%, enquanto que a entressafra respondeu por 38% da contribuição relativa dos sedimentos coletados durante o estudo.

Verificou-se que as respostas na CSS apresentaram variação espacial e temporal diferentes entre os pontos de coleta. Verificou-se, também, correlação insignificante entre o volume de cada evento e a respectiva CSS, demonstrando que esta variável, isoladamente, não é responsável pela dinâmica hidrossedimentológica da bacia.

Porém, é evidente a maior CSS nas cabeceiras ocupadas pela fumicultura, que chegou a mais de 70% da CSS acumulada durante o monitoramento, fato que pode ser atribuído às características da área utilizada para o cultivo, que além de ocupar uma área de solos rasos (Neossolo Regolítico), apresenta terreno com grande inclinação e características peculiares de manejo, como o constante revolvimento do solo e a construção de camalhões. São áreas de cultivo de maior proximidade com os canais fluviais, inclusive apresentando conexão direta entre a vertente e canal fluvial (P8), possibilitando que o material transportado chegue mais rapidamente e em maior quantidade, pois não possui barreira para reter o fluxo.

A CSS foi, consideravelmente, maior no período de safra (setembro – março) devido à maior disponibilidade de material a ser transportado. Nas áreas de fumicultura

pode-se perceber a formação de sulcos e ravinas formados durante eventos de chuva de maiores volumes e/ou intensidades o que provocou ao arraste de grande quantidade de solo.

No período em que cobertura do solo era maior devido à proteção das plantas que já estavam bem desenvolvidas, deixando uma menor área de exposição direta do solo aos efeitos da chuva, houve menores perdas de solo. Ou seja, durante as etapas do calendário agrícola em que a cobertura do solo é maior, a produção de sedimento é reduzida e, conseqüentemente, as CSS são menores.

Elementos de conectividade, como as ravinas, com as zonas ripárias, bem como as características topográficas dos terrenos, como a declividade e a morfologia das vertentes côncavas, que condicionam os processos convergindo o escoamento para um único ponto, são elementos importantes na dinâmica hidrossedimentológica da bacia hidrográfica.

As zonas ripárias estão atuando com uma barreira eficiente da transferência de sedimentos e escoamento das áreas de cultivo para os canais fluviais. Assim, cabeceiras de drenagem com características similares, porém, com diferentes faixas de vegetação na zona ripária apresentaram resultados diferentes (P6 e P8). A cabeceira P2, com ampla área de zona ripária apresentou contribuição de apenas 0,4% na contribuição relativa durante o período como um todo, valor quase insignificante, se comparado às áreas de cultivo agrícola.

Não podemos associar os valores aqui encontrados a outras bacias, devido à heterogeneidade das condições e características encontradas. Contudo, os resultados obtidos, que fornecem informações valiosas sobre a mudança na resposta de sedimentos associadas com os tipos particulares de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica e, principalmente ao calendário agrícola.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONELI, V. **Dinâmica do uso da terra e a produção de sedimentos em diferentes áreas fontes na bacia hidrográfica do Arroio Boa Vista- Guamiranga-PR.** 2011. 354 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, 2011.

ANTONELI, V; THOMAZ, E. L. Relação entre o cultivo de fumo (nicotina tabacum L.) e a produção de sedimentos na Bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga – PR. **Geografia**, Rio Claro, v. 35, n. 2, p.383-397, 2010.

ARAÚJO, G.H de S.; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A.J.T. **Gestão Ambiental de áreas degradadas.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

BAGATINI, T.; COGO, N.P.; GILLES, L.; PORTELA, J.C.; PORTZ, G.; QUEIROZ, H.T. Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudanças de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**: Viçosa, v. 35, p.999-1011, 2011.

BELLINASSO, T.B. **Monitoramento hidrossedimentométrico e avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica urbana de encosta.** 2002. 300p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria – RS, 2002.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; LEVIEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta superficial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.3, p.373- 379, 1989.

BERTONI. J; LOMBARDI NETO. F. **Conservação do solo.** São Paulo: Ícone, 2008.

BERTOTI, L.G. Mapa de localização das áreas de estudo. Disponível em: <http://www.pluridoc.com/Site/FrontOffice/default.aspx?module=Files/FileDescription&ID=2369&estate=FD> Acesso em: 29/05/2012.

BORDAS,M.P.; SEMMELMAN, F.R. Elementos de Engenharia de sedimentos. In: TUCCI, C.E.M; SILVEIRA, A.L.L. (Org.). **Hidrologia: Ciência e aplicação.** 3ªed. Porto Alegre: ABRH, 2004. Cap. 24. p.915-943.

BOTELHO, R. G.M; SILVA, A.S. Bacia Hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A.C; GUERRA, AJ.T. (Org.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. Cap. 6. p. 153 – 192.

BRASIL. Lei 12.651/2012. Código Florestal Brasileiro. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm) Acesso em: 20/09/2013.

BRIERLEY, G.; FRYIRS, K. A.; JAIN, V. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. **Area**, v. 38, n.2, p. 65-174, 2006.

BUBLITZ, U.; CAMPOS, L.C. **Adequação de estradas rurais em microbacias hidrográficas: especificações de projeto e serviços.** 2ªed. Curitiba: EMATER, 1997.

CANALI, G. E. **Produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas rurais: efeitos das características das chuvas, da declividade das vertentes e do uso do solo.** 1981. 126f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1981.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática.** Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CARVALHO, T.M. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. **Revista Brasileira de Geografia Física.** Recife-PE, v. 01, n.01, p.73-85, 2008.

CHEVALLIER, P. Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI, C. E. M.(Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 3ªed., Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2004. p. 485-525.

CHURCH, M. On experimental method in geomorphology. In: BURT, T.P.; WALLING, D.E. (Org.). **Catchment experiments in fluvial geomorphology,** 1984. Cap. 33. p. 563-580.

COELHO NETTO, A.L. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; e CUNHA, S. B.(org.). **Geomorfologia: uma Atualização de Bases e Conceitos.** 6ªed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2005. Cap. 3. p. 93-148.

COLLINS, A.L; WALLING, D.E. Documenting catchment suspend sediment sources: problems, approaches and prospects. **Progress in Physical Geography,** v.28, n.2, p. 159-196, 2004.

CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J.T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Org.). **Geomorfologia e meio Ambiente.** 6ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. Cap. 7. p. 337- 374.

DEBARBA, L; AMADO, T. J. C. Desenvolvimento de sistemas de produção de milho no Sul do Brasil com características de sustentabilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 21, n.1, p.473-480, 1997.

DEPINÉ, H.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; SILVA, M.R. Transporte de sedimentos em suspensão em áreas agrícolas em diferentes escalas espaciais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** v.16, n.1, p. 97- 104, 2011.

DE VENTE, J.; POESEN, J.; ARABKHEDRI, M.; VERSTRAETEN, G. The Sediment Delivery Problem Revisited. **Progress in Physical Geography,** v.31, p.155-178, 2007.

EMMETT, W.W. The hydraulics of overland flow on hillslopes. **Geological Survey Professional Paper,** 1970.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION - FAO. **La erosión del suelo por El agua: algunas medidas para compartirla em las tierras del cultivo.** Roma: FAO, 1967.

FERREIRA, T. N.; SCHWARZ, R. A.; STRECK, E. V. (Coord.) **Solos: manejo integrado e ecológico - elementos básicos**. Porto Alegre: EMATER/RS, 2000.

GARCEZ, L.N.; ALVAREZ, G.A. **Hidrologia**. 2ªed. São Paulo: Edgard Blücher, 1988.

GONÇALVES, C.S.; RHEINHEIMER, D.S.; PELLEGRINI, J.R.; KIST, S.L. Qualidade da água numa microbacia hidrográfica de cabeceira situada em região produtora de fumo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.3, p.391 –399, 2005.

GUERRA, A J.T. **Novo dicionário Geológico-geomorfológico**. 4ª.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 6ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. Cartas Climáticas do Paraná. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=856>  
Acesso em: 12/06/13.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). Cidades@. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=411070>  
Acesso em:12/06/2013.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIENCIAS (ITCG). Relatório de calculo de área dos municípios do Estado do Paraná. Disponível em: [www.itcg.pr.gov.br](http://www.itcg.pr.gov.br)  
Acesso em: 18/09/2013.

JACOMINE, P. K.T. Solos sob matas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H. F. (org.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Fapesp, 2001. Cap.2. p. 27-32.

KOBIYAMA, M. Conceitos de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos. In: **Anais: I Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias**. Universidade Federal de Santa Catarina: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Alfredo Wagner. p. 01-13, 2003.

LECCE, S.A., PEASE, P.P., GARES, P.A., and WANG, J.Y. Seasonal controls on sediment delivery in a small coastal plain watershed, North Carolina, USA. **Geomorphology**, v.73,p. 246-260, 2006.

LEITE, D.; BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; SANTOS, E. J.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. I Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, n.6 Nov./Dec, 2004.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LEVIEN, R; COGO, N. P. Erosão na cultura do milho em sucessão à aveia preta e pousio descoberto, em preparo convencional e plantio direto, com tração animal e tratorizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n.3, p.683-692, 2001.

LIMA, V.C.; LIMA, R.; MELO, V.F. Classificação Brasileira de solos. In: Universidade Federal do Paraná. **O solo no meio ambiente**. Curitiba: Departamento de Engenharia Agrícola, 2007.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M.J.B. Hidrologia de Matas Ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H. F. (org.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Fapesp, 2001. Cap.3. p. 33-44.

LOPES, N.H.Y. **Análise da produção de água e sedimentos em microbacias experimentais com o modelo SWAT**. 2008. 154f. Dissertação de Mestrado (Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2008.

MAACK, R. **Geografia física do Paraná**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1981.

MATTOS, S.H.V.L.; PEREZ FILHO, A. A complexidade e estabilidade em Sistemas Geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5, n.1, p. 11-18, 2004.

MICHAELIDES, K.; CHAPPELL, A. Connectivity as a concept for characterising hydrological behavior. **Hydrological Processes**. v. 23, p.517–522, 2009.

MINELLA, J.P.G. **Identificação de fontes de produção de sedimentos em uma pequena bacia rural**. 2003. 80 f. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, RS, 2003.

MINELLA, J. P. G., MERTEN, G. H., REICHERT, J. M., SANTOS, D. R. Identificação e Implicações Para a Conservação do Solo das Fontes de Sedimentos em Bacias Hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p. 1637-1646, Santa Maria, 2007.

MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H. Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.3, p.424-432, 2011.

MINEROPAR. **Levantamento das potencialidades minerais dos municípios de Irati e Prudentópolis**. Curitiba: Mineropar, 1992.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion e conservation**. Longman: Blackwell, 2005.

MOURA, J.R. S.; SILVA, T.M. Complexo de rampas de colúvio. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (org.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. Cap. 4. p. 143- 180.

OSAKI, F. **Microbacias: Práticas de conservação de solos**. Curitiba: Câmara Brasileira do livro, 1994.

PAISANI, J.C.; PONTELLI, M.E.; GEREMIA, F. Cabeceiras de drenagem da Bacia do Rio Quatorze – Formação Serra Geral (SW do Paraná): Distribuição espacial, propriedades Morfológicas e controle estrutural. **RA'EGA**, Curitiba, n.12, p.211-219, 2006.

PARANHOS, R.M. **Avaliação de metodologia para a estimativa de produção de sedimentos em uma pequena bacia rural de encosta.**2003. 129 f. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria – RS, 2003.

PEDROTTI, A.; MELLO JÚNIOR, A.V. **Avanços em Ciência do Solo: a física do solo na produção agrícola e qualidade ambiental.** São Cristóvão: Editora UFS, 2009.

PELLEGRINI, J.B.R. **Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do arroio Lino - Agudo –RS.** 2005. 85f. Dissertação (Mestrado Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria – RS, 2005.

POLITANO, W.; LOPES, L. R.; AMARAL, C. **O papel das estradas na economia rural.** São Paulo: Nobel, 1989.

RICE, R.J. **Fundamentals de Geomorfologia.** Espanha, Madrid: Paraninfo S.A, 1982.

SANTOS, D.S.; SPAROVEK, G. Retenção de sedimentos removidos de área de lavoura pela mata ciliar, em Goiatuba (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.5, p.1811-1818, 2011.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas.** São Carlos: RIMA, 2003.

SILVEIRA, A.L.L. Ciclo hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A.L.L. (Org.). **Hidrologia: Ciência e aplicação.** 3ªed. Porto Alegre: ABRH, 2004. Cap. 2 .p. 35- 51.

SILVEIRA, G.L.; TUCCI, C.E.M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.3, n.9, p.97-110, 1998.

SIMÕES, S.J.C; COIADO, E.M. Processos erosivos. In: PAIVA, J.B.D. de; PAIVA, E.M.C.D. de (org.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** Porto alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. Cap. 21. p. 587- 625.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar.** São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

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. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n.2, p.25-37, Abr/Jun, 2011.

THOMAZ, E.L; MELQUIADES, F.L. Discriminação de marcadores de proveniência de sedimento em Bacia Rural por meio de EDXRF. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.10, n.01, p. 95-102, 2009.

THOMAZ, E. L. ; VESTENA, L. R. ; RAMOS-SCHARRON, C. E. The effects of unpaved roads on suspended sediment concentration at different streams scaleThe effects of unpaved roads on suspended sediment concentration at varying spatial scales - a case study from Southern Brazil. **Water and Environment Journal**, 2014.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e Fertilidade do Solo**. 6ª Ed. São Paulo: Andrei, 2007.

VIEIRA, S. **Introdução à bioestatística**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

WALLING, D. E. The sediment delivery problem. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 65, p. 209-237, 1983.

WALLING, D.E. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. **Science of the Total Environment**, n.344, p.159-184, 2005.

WENDLING, A.; PROCHNOW, D.; AMADO, T. J.C.; ELTZ, F. L.F.; BRUM, A.C.R.; STRECK, C. A. Sistemas de produção agrícola visando o controle da erosão hídrica: resultados de 9 anos. In: **Anais da Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Ilhéus: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.

WILLIAMS, G. P. Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers. **Journal of Hydrology**, v. 111, p. 89-106, 1989.