UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, EDUCAÇÃO E LETRAS – CCHEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – NÍVEL
STRICTO SENSU

DANIELI CRISTINA CASSULI

ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO NA BACIA DO RIO PINTO, SÃO MIGUEL DO IGUAÇU-PR

MARECHAL CÂNDIDO RONDON
2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, EDUCAÇÃO E LETRAS – CCHEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – NÍVEL *STRICTO SENSU*

DANIELI CRISTINA CASSULI

ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLO NA BACIA DO RIO PINTO, EM SÃO MIGUEL DO IGUAÇU-PR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de M. C. Rondon como condição obrigatória para conclusão do curso de Mestre em Geografia.

Orientadora: Professora Drª. Vanda Moreira Martins

MARECHAL CÂNDIDO RONDON
2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca da UNIOESTE – Campus de Marechal Cândido Rondon – PR., Brasil)

C345e Cassuli, Danieli Cristina
Estimativa de perda de solo na Bacia do Rio Pinto, em São Miguel do Iguaçu-PR / Danieli Cristina Cassuli. – Marechal Cândido Rondon, 2016.
112 f.

Orientadora: Drª. Vanda Moreira Martins

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Marechal Cândido Rondon, 2016.

1. Solo – Uso. 2. Solos – Erosão. 3. Bacias hidrográficas. I. Martins, Vanda Moreira. II. Título.

CDD 22.ed. 631.4
CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborada por Marcia Elisa Sbaraini-Leitzke CRB-9/539

AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre me dá força para vencer os obstáculos e dificuldades que se apresentam no meu caminho.

Ao meu esposo Leandro Zatta pelo incentivo e parceria em busca dos objetivos de vida e crescimento pessoal e profissional. Pela compreensão nos momentos de ausência, angustia e stress.

Aos meus pais Maria S. P. Cassuli e Sérgio L. Cassuli por sempre me incentivarem a buscar mais e melhor. Por tudo de que abriram mão ao longo de suas vidas para me dar o acesso à educação que não tiveram em sua infância e juventude.

Ao meu irmão Rafael L. Cassuli e aos meus amigos e familiares o meu especial agradecimento.

A professora Vanda Moreira Martins pela orientação, liberdade e confiança no presente trabalho.

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE e ao Programa de Pós Graduação em Geografia, seus professores e funcionários pela oportunidade e pelo conhecimento transmitido.

A CAPES e Fundação Araucária pelo apoio financeiro.

“Poucos rios surgem de grandes nascentes, mas muitos crescem recolhendo filetes de água”.

(Ovídio)

RESUMO

Este trabalho visa estimar as perdas de solo por erosão laminar na bacia hidrográfica do rio Pinto, localizada na mesorregião oeste do estado do Paraná. O principal objetivo é contribuir para o levantamento de dados sobre a perda de solo e identificar a relação com as características fisiográficas a fim de subsidiar a conservação dos solos sob uso agrícola. A predição foi executada por meio da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo – USLE. A partir de informações obtidas em campo e gabinete, foi possível determinar os índices das variáveis que compõem o citado modelo matemático. A integração dos dados levantados e a estimativa de perdas de solo anual foram desenvolvidas no Sistema de Informações Geográficas (SIG) QGIS, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento. Os resultados obtidos demonstraram que as perdas de solo predominantes na bacia do rio Pinto são inferiores à 25 t/ha/ano. Em geral, esta condição está relacionada às áreas de Latossolos e Nitossolos, em locais onde o fator topográfico é menor que 3 e o solo é utilizado para agricultura com adoção de práticas conservacionistas como o plantio direto e plantio em contorno. Na bacia, os locais que apresentaram valores elevados de perda de solo anuais, até 7.107 t/ha/ano, estão associados às áreas com elevado índice de fator LS (até 14), dominadas pelos Cambissolos e Neossolos Litólicos e Regolíticos, ocupadas com pastagem e extração de basalto, as quais não apresentam práticas conservacionistas eficazes.

Palavras chave: bacia hidrográfica, uso do solo, Equação Universal de Perdas de solo.

RESUMO EM LÍNGUA ESTRANGEIRA

El trabajo tiene por objetivo estimar la perdida del suelo por lá erosión laminar de lá cuenca hidrografica del aroyo Pinto ubicada en la mesorregión oeste del departamento Paraná. Lá predicción fue realizada por lo medio de lá aplicación de la equación universal de perdidas del Suelo - USLE. De informaciones obtidas en campo y gabinete fue posible determinar los índices de las variables que compõen el citado modelo matemático. Lá integración de los datos y lá estimacion de los datos de perdidas de suelo anual fueran desarolladas en el Sistema de Informaciones Geográficas (SIG) QGIS, con la ayuda de técnicas de geoprocessamiento. Los resultados obtenidos demostran, que prevalece en la area del estudo, perdida de Suelo inferiores a 25 t/ha/ano. En reneral las condiciones estan conectadas a las areas de Latosol y Nitosol, en locales donde el factor topográfico es menor que 3 y el suelo és utilizado para lá Agricultura con la adopción de prácticas conservacionistas como lá siembra directa y siembra en contorno. Los locales en la cuenca que apresentan valores altos de perdidas de suelo anuais hasta de 7.107 t/ha/ano, estan associadas a las areas con alto fotor LS (Hasta 14), dispondo de suelos tipo cambisol y nitosol con ocupaciones de pasturas y extraciones de basalto, que no apresentan práticas conservacionistas de forma efetiva.

Palavras llave: cuenca hidrográfica, uso de lo suelo, Equação Universal de Perdidas de suelo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Exemplo de hierarquia fluvial segundo Horton (A) Sthahler (B) e Shreve (C 23
Figura 2 - Perda de solo por erosão em diferentes usos de solo. 31
Figura 3 - Nomograma de Wischmeier et al. (1965). 40
Figura 4 - Localização da bacia do rio Pinto no município de São Miguel do Iguaçu-PR. 44
Figura 5 - Representação esquemática das Unidades Taxonômicas proposta por Ross (1992). 49
Figura 6 - Mapa de levantamento e reconhecimento dos solos do Estado do Paraná e pontos de amostragem a campo na bacia do rio Pinto. 51
Figura 7 - Mapa de declividade e pontos de amostragem a campo na bacia do rio Pinto 52
Figura 8 - Mapa da rede de drenagem da bacia do rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR. 63
Figura 9 - Hierarquia dos canais fluviais da bacia do rio Pinto, conforme classificação de Strahler (1952) 64
Figura 10 - Áreas de alagamento ao longo dos cursos dos rios Pinto e Mico em junho de 2014. 68
Figura 11 – Fotografias do desassoreamento dos rios Pinto e Mico 68
Figura 12 - Registro fotográfico após evento chuvoso em 23/02/2016 em São Miguel do Iguaçu. 69
Figura 13 - Mapa da variação altimétrica na bacia do rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR. 72
Figura 14 - Mapa de declividade da bacia do rio Pinto e de seu entorno, São Miguel do Iguaçu-PR. 73
Figura 15 - Mapa dos compartimentos do relevo na bacia do rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR. 76
Figura 16 - Mapa de solo da bacia do rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR. 78
Figura 17 - Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR. 79
Figura 18 - Exemplos de cursos fluviais com canais alterados e sem mata ciliar na bacia do rio Pinto 81

Figura 19 - Mapa do Fator Erodibilidade do Solo (K) na bacia do rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR. 85
Figura 20 - Mapa das sub-bacias para o cálculo do comprimento de rampa (L) na bacia do Rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR. 86
Figura 21- Fator topográfico (LS) na bacia do rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR. .. 88
Figura 22 - Fator Manejo de Culturas (C) na bacia do rio Pinto São Miguel do Iguaçu-PR. 89
Figura 23 - Fator Prática conservacionista (P) na bacia do rio Pinto São Miguel do Iguaçu-PR. 91
Figura 24 - Sentido dos murundus e trajetória dos implementos agrícolas em um talhão na área de estudo. 92
Figura 25 - Perda de solo na bacia do rio Pinto na bacia do rio Pinto São Miguel do Iguaçu-PR. 95

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Índice Kc e propensão a enchentes segundo Silva & Mello (2008 19
Tabela 2 – Valores de Kf e propensão a enchentes segundo Silva & Mello (2008 ... 19
Tabela 3 - Classes do índice de sinuosidade do curso d'água segundo Lira *et al.* (2012) 25
Tabela 4 – Níveis médios de precipitação (mm) da região Sul em anos de registro de El Niño, La Niña e neutralidade. 38
Tabela 5 - Parâmetros e equações para determinar as características fisiográficas da bacia hidrográfica 47
Tabela 6 - Classificação do relevo em relação às classes de declividade conforme EMBRAPA (1979 49
Tabela 7 - Classes para interpretação de erosividade da chuva (Carvalho, 2008) ... 54
Tabela 8 - Classes de solo e valor para o Fator K. 55
Tabela 9 - Classes de erodibilidade do solo conforme Manningel *et al.* (2012). 55
Tabela 10 - Valor de C para diferentes usos do solo. 57
Tabela 11 - Valores do Fator P para algumas práticas de proteção e manejo do solo. 58
Tabela 12 - Média pluviométrica mensal e anual na bacia do rio Pinto no período de 1991 a 2011. 60
Tabela 13 - Meses de maior pluviosidade na bacia do rio Pinto no período 1991-2011. 61
Tabela 14 - Características fisiográficas métricas da bacia do rio Pinto. 62
Tabela 15 - Hierarquia fluvial (Strahler, 1952) e índices relacionados - bacia do rio Pinto. 65
Tabela 16 - Características fisiográficas relacionadas ao fator forma e a rede de drenagem. 66
Tabela 17 - Fator Erosividade da chuva no período de 1991-2011. 82
Tabela 18 - Sub-bacias e comprimento de rampa para a bacia do rio Pinto (L=A/4l). 87
Tabela 19 - Distribuição do fator C na bacia do Rio Pinto. 90
Tabela 20 - Distribuição do fator P na bacia do rio Pinto. 90
Tabela 21 - Abrangência de perda de solo na bacia do rio Pinto. 94
Tabela 22 - Matriz de integração dos valores R, K, LS, C e P com ID atribuído. 96
Tabela 23 - Matriz de Integração entre os fatores R, K, LS, C e P. 97

Quadro 1 – Práticas conservacionistas vegetativas, edáficas e mecânicas. 33
Quadro 2 - Novo Código Florestal - Lei Federal 12.651/12 , com alteração da Lei 12.727/12 para situações encontradas na bacia do rio Pinto 80

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 12

1.1 ANÁLISE DE BACIAS HIDROGRÁFICAS 17

1.1.1 Área (A) 18

1.1.2 Forma da bacia hidrográfica 18

1.1.3 Declividade da bacia hidrográfica 20

1.1.4 Densidade de cursos d'água (Ds) 21

1.1.5 Densidade da drenagem (Dd) 21

1.1.6 Hierarquia Fluvial 22

1.1.7 Relação de bifurcação (Rb) 24

1.1.8 Comprimento médio dos canais (Rlm) 24

1.1.9 Sinuosidade do curso d'água (SIN) 24

1.1.10 Solo: classe e uso e ocupação 25

2 SOLOS: EROSÃO E O USO E OCUPAÇÃO 26

3 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO – USLE 35

3.1 FATOR PRECIPITAÇÃO (R) 37

3.2 FATOR ERODIBILIDADE DO SOLO (K) 39

3.3 FATOR TOPOGRÁFICO (LS) 41

3.4 FATOR DE MANEJO DE CULTURAS (C) 42

3.5 FATOR PRÁTICAS DE PROTEÇÃO E MANEJO DO SOLO (P) 42

4. MATERIAIS E MÉTODOS 44

4.1 ÁREA DE ESTUDO 44

4.2 MATERIAIS 45

4.3 CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS 46

4.4 ELABORAÇÃO DOS MAPAS BÁSICOS E TEMÁTICOS 48

4.5 CÁLCULO DOS FATORES DA PERDA DE SOLO 53

4.5.1 Fator R (Erosividade da chuva) 54

4.5.2 Fator K (Erodibilidade do solo) 55
4.2.3 Fator LS (comprimento e grau do declive) 56
4.5.4 Fator C (prática de cultura) 57
4.5.5 Fator P (Práticas conservacionistas) 58
5. RESULTADOS 59
5.1 DADOS FISIOGRÁFICOS DA BACIA DO RIO PINTO 59
5.1.1 Características da drenagem 62
5.1.2 Características do relevo 70
5.1.3 Solos, uso e ocupação 74
5.2 PERDA DE SOLO NA BACIA DO RIO PINTO 77
5.2.1 Cálculo do Fator R 82
5.2.2 Cálculo do Fator K 83
5.2.3 Cálculo do fator LS 84
5.2.4 Cálculo do fator C 84
5.2.5 Cálculo do fator P 90
5.2.6 Perda de solo 93
CONSIDERAÇÕES FINAIS 100
REFERÊNCIAS 104

INTRODUÇÃO

A água, o ar e outros recursos naturais como o solo são fundamentais para a sobrevivência de todos os seres vivos na superfície terrestre. Ao longo da história, a disponibilidade desses recursos para o exercício sustentável das atividades humanas está sendo reduzida (BRADY, 2013). A degradação dos recursos hídricos ocorre geralmente pela má gestão e mau uso, acarretando a deterioração do ambiente e, por consequência: o assoreamento; a poluição dos recursos hídricos; os prejuízos à saúde humana e animal; dificuldades na geração de energia; dificuldades na disponibilidade de água para irrigação e para o abastecimento; redução da produtividade agrícola; diminuição da renda e, consequentemente, no empobrecimento rural e danos à economia nacional (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014).

Os impactos não acontecem isoladamente em uma bacia hidrográfica. Derivam da relação de efeitos dos usos de água e solo e resultam em impactos socioambientais indesejáveis (TUCCI, 2006). Segundo Souza & Fernandes (2000), abordagens de planejamento e de gestão por meio da bacia hidrográfica são mais ajustadas para a união da produção com a preservação ambiental, por se tratar de unidades geográficas naturais que integram características biogeofísicas e sociais locais.

Associadas ao processo de ocupação ocorreram grandes alterações no meio ambiente. Essas são causadas pela ocupação desordenada e o crescimento de centros urbanos e, pela retirada sistemática da vegetação nativa sem levar em conta a capacidade de uso das terras.

No ano de 2014, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), por meio do relatório “Status of the World’s Soil Resources”, alerta que 33% dos solos de todo o mundo estão degradados. As causas da degradação do solo são: a erosão, a salinização, a compactação, a acidificação e a contaminação. Este relatório adverte que, somente a erosão é responsável pela perda de 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano, reduzindo significativamente a produtividade das culturas e a capacidade do solo de armazenar carbono, nutrientes e água. São estimadas perdas na produção de cereais devido à erosão de cerca de 7,6 milhões de toneladas por ano e, se não forem tomadas medidas para

diminuir a erosão, estima-se perdas de aproximadamente 253 milhões de toneladas de cereais em 2050 (WRB, 2014). A dinâmica econômica atual (e passada) busca atender as demandas produtivas de forma imediata. Assim, questões ambientais tendem a ser deixadas em segundo plano, desencadeando impactos ambientais nas bacias hidrográficas sob diferentes usos do solo e em diferentes escalas. O mau uso dos solos causa problemas relacionados à erosão, transporte de sedimento para os rios, depósito em locais indesejáveis e assoreamento dos canais (CARVALHO, 2006).

As técnicas de uso e de manejo do solo sob cultivo estão diretamente relacionadas à sua maior ou menor erodibilidade e/ou fragilidade (natural e potencial). Quando os solos são cobertos com vegetação estão em condições ideais de absorver a água das chuvas e menos vulneráveis à erosão. Tendo uso agrícola, como as culturas anuais de soja e o milho, por exemplo, a superfície encontra-se mais suscetível à erosão hídrica (LEPSCH, 2010).

O grande desafio da agricultura moderna é associar a exploração agrícola e os interesses financeiros do agricultor à conservação do solo. O planejamento racional do uso do solo leva em consideração suas características físicas, ecológicas e econômicas e será mais preciso quanto maior for o detalhamento e a análise das informações (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014).

O manejo ambiental na escala da bacia hidrográfica é o que melhor se adapta ao desenvolvimento agrícola sustentável, pois, permite uma visão integrada ou ecossistêmica de manejo de recursos naturais, abrangendo interesses multidisciplinares (FUJIHARA, 2002).

A bacia do rio Pinto está localizada na Bacia do Paraná III (BP III), na mesorregião Oeste do Paraná, que apresenta relevante importância econômica no estado (elevado potencial agropecuário e agroindustrial) e, ainda são escassas as informações referentes aos aspectos físicos (geomorfológicas, pedológicas, climáticas) e humanos (processo de uso e ocupação, condições socioeconômicas). A carência de informação é o reflexo da carência de pesquisas com o enfoque sistêmico e na escala da bacia hidrográfica.

Uma característica em particular pode estar vinculada a escassez de trabalhos relacionados à perda de solos na região da Bacia do Paraná III: os solos, por serem, em geral, argilosos ou muito argilosos e reconhecidos como solos de baixa erodibilidade.

Mesmo com características físicas que favoreçam a baixa erodibilidade do solo, o uso para a agropecuária de forma descomprometida, como é o caso de alguns locais na bacia do rio Pinto, pode gerar prejuízos ambientais e econômicos relacionados à perda de solo e ao assoreamento de canais.

Estudos sobre a predição de perda de solos na área da Bacia do Paraná III (BP III) são raros. Entretanto podem ser citados como exemplo de estudos em áreas com características físicas semelhantes, como aqueles realizados por Tomazoni (2003) e Caviglione *et al.* (2010), nas mesorregiões sudoeste e centro ocidental do Paraná. Daí a necessidade de investigar e estimar a perda de solo por erosão laminar na bacia do rio Pinto, que integra a BP III.

Neste estudo a estimativa de perda de solo foi realizada a partir da aplicação da Equação Universal de Perda de Solos – USLE com o auxílio de técnicas de geoprocessamento para o mapeamento das informações e cálculo das variáveis.. Foram levantados os fatores de erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimento de rampa e grau de declividade, manejo de culturas e práticas de proteção e manejo do solo, por meio de métodos amplamente utilizados e dados obtidos em estudos prévios em áreas com características geoambientais semelhantes as da área de estudo.

Por meio das características fisiográficas da bacia do rio Pinto buscou-se compreender o histórico de enchentes ao longo do curso dos rios Pinto e Mico desde a década de 1990, bem como, os volumes de perda de solo estimados para a bacia hidrográfica com a USLE. Foram levantadas as características de área, forma da bacia hidrográfica, declividade da bacia hidrográfica, densidade de cursos d'água, densidade de drenagem, hierarquia fluvial, relação de bifurcação, sinuosidade dos cursos d'água, altimetria, formas do relevo e classes e usos do solo. Estas características fisiográficas foram mapeadas por meio de técnicas de geoprocessamento, com base em métodos reconhecidos na literatura.

Objetiva-se que o entendimento das características fisiográficas da bacia e a identificação das áreas sujeitas a maior ou menor quantidade de perdas de solo por erosão contribuam para ações posteriores, que viabilizem a associação da exploração agrícola, os interesses financeiros do agricultor e a conservação do solo. Espera-se que este estudo contribua para o levantamento de informações importantes relacionadas as características fisiográficas e a perda de solo que ocorrem na bacia do rio Pinto e favoreça estudos posteriores.

1 A BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDO

A fim de minimizar os impactos ambientais decorrentes da deterioração dos recursos naturais, a Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e coloca a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação de princípios e normas para a gestão e planejamento de recursos hídricos, adotando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de estudo (BRASIL, 1997).

A bacia hidrográfica pode ser tomada como unidade para o planejamento e gestão, pois, viabiliza a localização e a quantificação dos fluxos de água que proporcionam a compreensão dos processos geomorfológicos que agem nas transformações do relevo, sob as diversas condições de geologia e clima. Os fluxos superficiais e subsuperficiais que ocorrem na bacia hidrográfica definem os mecanismos erosivos e deposicionais resultantes da interação de fatores bióticos, abióticos e antrópicos. Alterações nestes fatores causam modificações na dinâmica espaço temporal dos processos hídricos e, consequentemente, no trabalho geomorfológico (SANTANA, 2003; BOTELHO, 1999) que, em algumas situações, são caracterizadas como impactos considerados indesejáveis.

Estudos sistêmicos indicam que a bacia hidrográfica torna-se a unidade geográfica apropriada para o planejamento, pois adota como norteadores a força gravitacional, a sustentabilidade do sistema hídrico, a questão social, econômica, política e as emergências ambientais. Sua percepção como subsistema contribui para interpretação da realidade, possibilitando analisar o comportamento energético e funcional do ambiente sob diversas situações derivadas de decisões políticas públicas e/ou privadas. Possibilita, também, o controle da quantidade e da qualidade da água, a observação sanitária e o uso econômico do seu espaço, como por exemplo, a produção de alimentos e o cumprimento de leis ambientais em um mesmo sistema ambiental, que permite a interação direta entre os organizadores, os produtores e os consumidores locais (CAMPOS, 2010).

Ao longo do tempo, diversos conceitos de bacia hidrográfica foram desenvolvidos. O conceito mais amplamente difundido coloca que se entende por bacia hidrográfica o conjunto de canais de escoamento inter-relacionados, ou seja, a área drenada por um rio ou por um sistema fluvial limitada pelo divisor de águas

(CHRISTOFOLETTI, 1980). Corresponde a um sistema que compreende um volume de materiais, geralmente líquidos ou sólidos, delimitado interna e externamente por todos os processos que, a partir do abastecimento de água da atmosfera, influi no fluxo de matéria e energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais (RODRIGUES & ADAMI, 2005).

As bacias hidrográficas podem apresentar diferentes tamanhos, desde milhões de quilômetros quadrados ou mesmo alguns metros quadrados. Com diferentes dimensões, as bacias hidrográficas articulam-se a partir de divisores de água e drenam em direção a um canal, tronco ou coletor principal, compondo um sistema de drenagem hierarquicamente organizado. Desse modo, as bacias podem ser desmembradas em qualquer número de sub-bacias, sendo os termos bacia e sub-bacia hidrográfica, relativos (SANTANA, 2003). Portanto, os conceitos de bacia e sub-bacia hidrográfica estão relacionados à ordem hierárquica dentro de uma determinada malha hídrica (SOUZA & FERNANDES, 2000).

Quando o objetivo do estudo é o manejo de bacias hidrográficas, este deve ser iniciado, de preferência, naquelas de menor área (SANTANA, 2003), pois, apresentam escala espacial que representa um elo entre a escala micro, (onde as práticas de manejo são implantadas nas propriedades rurais) e a escala macro da paisagem (onde são geradas as normas, a legislação e a política ambiental). Assim, são úteis para avaliar as imposições vindas da escala macro e a implementação de práticas de manejo no campo, na escala micro. Essa avaliação se dá por meio de indicadores sistêmicos ou de processos de manejo sustentável, levando em conta os elementos sociais e ambientais para a contínua adequação do manejo agrícola (ATTANASIO, 2004).

Os problemas se manifestam, inicialmente, em nível local, pois os moradores do local são, ao mesmo tempo, causadores e vítimas de boa parte dos problemas e tem interesse em resolvê-los (SOUZA & FERNANDES, 2000). Segundo Bertoni & Lombardi Neto (2014, p. 334) são objetivos dos trabalhos em bacias hidrográficas:

> a) manejar adequadamente os recursos naturais renováveis, principalmente solo e água; b) incrementar a produção e a produtividade agro-silvo-pastoris; c) diminuir os riscos de secas e inundações; d) reduzir os processos de degradação do solo, principalmente a erosão; e) garantir uma maior disponibilidade e a maior qualidade de água para usos múltiplos; f) estimular o planejamento, a organização e a comercialização da produção municipal, sobretudo dos alimentos básicos; g) racionalizar os recursos materiais, financeiros e de pessoal em âmbito federal, estadual e municipal, compatibilizando e otimizando sua utilização; h) incentivar a organização

> associativa dos produtores rurais, visando à solução de seus problemas comuns; i) maximizar as rendas municipais e comunitárias, através da minimização de cursos de gerenciamento, de administração, de manutenção de estradas, de obras de arte, de controle da poluição, etc.; j) promover ações comunitárias visando à obtenção de benefícios nas áreas de produção, de comercialização, de saúde, de educação, de transporte, de comunicação, etc.; k) propiciar novas alternativas de exploração econômica à comunidade rural; l) participar do processo de fixação da mão-de-obra no campo.

E, para conhecer as reais potencialidades e limitações de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas, faz-se necessário o levantamento de dados das características físicas, como clima, geologia, relevo, solos, rede de drenagem e vegetação. No caso de planejamento ambiental em bacias com área relativamente pequena é necessário um levantamento detalhado destas características. Este levantamento, em geral, não costuma existir. Então é necessário ser produzido para garantir um nível de investigação ou detalhamento equilibrado entre as variáveis (BOTELHO, 1999).

1.1 ANÁLISE DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica está diretamente relacionado com suas características fisiográficas. Para melhor compreender as interações existentes na bacia hidrográfica, entre as características fisiográficas e os processos hidrológicos é indispensável que sejam expressas em termos quantitativos (LIMA, 2000).

Caracterizar uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos realizados em análises hidrológicas ou ambientais. A partir das características fisiográficas, é possível compreender os fenômenos passados, avaliar os impactos das ações antrópicas na fase de escoamento superficial da água e encontrar relações com a vazão, para compreensão da dinâmica ambiental local e regional. Os dados fisiográficos são todos aqueles que podem ser obtidos por meio de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite (TEODORO *et al*., 2007; PORTO *et al.*, 1999).

Os fatores físicos mais importantes para caracterizar uma bacia hidrográfica são: a área, o uso do solo, o tipo de solo, a forma, a declividade da bacia, a

declividade do curso d'água, a forma da rede de drenagem e a densidade de drenagem (TUCCI, 2002; PORTO *et al.*, 1999).

Conhecer as características de uma bacia hidrográfica contribui para diagnósticar os problemas e para a apresentar soluções aplicáveis à área, definindo uma sequência com prioridades na gestão e elaboração de um plano de ação, que possibilite aliar ocupação e preservação.

1.1.1 Área (A)

A área da bacia hidrográfica é compreendida como toda a área drenada pelo conjunto do sistema fluvial projetada em plano horizontal expressa em quilômetros quadrados (km^2) ou hectares (ha). É importante para definir a potencialidade hídrica da bacia hidrográfica, pois, o seu valor, multiplicado pela lâmina de chuva, define o volume de água recebido pela bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Para defini-la pode-se utilizar técnicas de planimetragem direta de mapas, com métodos geométricos de determinação de área de figura irregular, por meio da utilização de papel milimetrado ou recursos de aplicativos de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), quando se trabalha com planta digitalizada (TUCCI, 2002).

1.1.2 Forma da bacia hidrográfica

Para obter os índices necessários para caracterizar a forma da bacia, indica-se calcular os índices de compacidade e conformação. Estes influenciam no escoamento superficial e, consequentemente, no hidrograma resultante de determinada chuva (PORTO *et al.,* 1999).

Calcula-se o índice de compacidade (Kc) utilizando a relação entre o perímetro da bacia hidrográfica e a circunferência de um círculo hipotético de área igual à área de drenagem da mesma. Este índice é adimensional e varia com a forma da bacia, não estando relacionado com seu tamanho (TUCCI, 2002).

Quanto mais próximo do valor um (1) for o resultado de Kc, maior a propensão da bacia hidrográfica a grandes cheias, como resultado do

direcionamento do escoamento superficial, em um pequeno espaço de tempo, para um pequeno trecho do rio principal, causando o acúmulo de fluxo (CARVALHO & SILVA, 2006).

Na tabela 1 observa-se a classificação das bacias hidrográficas conforme o Kc que apresentam, segundo Silva & Mello (2008)

Tabela 1 - Índice Kc e propensão a enchentes segundo Silva & Mello (2008)

Valor de Kc	Propensão a enchentes
1,00 ≤ Kc < 1,25	Bacia com alta propensão a grandes enchentes;
1,25 ≤ Kc < 1,50	Bacia com tendência mediana a grandes enchentes;
Kc ≥ 1,50	Bacias não sujeitas a grandes enchentes.

Fonte: Silva e Mello (2008)

A tendência para enchentes também é indicada pelo índice de conformação (Kf). Este compara a área da bacia hidrográfica com a área de um quadrado de lado igual ao comprimento axial (comprimento do rio desconsiderando-se os meandros) (PORTO *et al.,* 1999).

Quando a bacia apresenta o valor de Kf baixo significa que está menos sujeita a ocorrência de enchentes, independente da área que possui, pois, é estreita e longa. Isso acontece, pois, é menor a possibilidade de uma chuva intensa cobrir toda sua extensão e a contribuição dos afluentes chega ao rio principal em vários pontos, em tempos diferentes, o que não ocorre na bacia circular, onde o deflúvio concentra-se em um único ponto (VILELLA & MATTOS, 1975).

Na tabela 2 constam os indicativos de propensão à enchente relacionados aos valores de Kf da bacia segundo Silva & Mello (2008).

Tabela 2 – Valores de Kf e propensão a enchentes segundo Silva & Mello (2008)

Valores de Kf	Propensão a enchentes
Kf ≥ 0,75	Bacia sujeita a enchentes
0,75 < Kf < 0,50	Bacia com tendência mediana a enchentes;
Kf ≤ 0,50	Bacia não sujeita a enchentes.

Fonte: Silva & Mello, 2008

Outros índices que contribuem para a compreensão do fator forma são: a razão de elongação (Re), o índice de circularidade (Ic) e o índice entre o comprimento e a área da bacia (ICO).

A razão de elongação (Re) evidencia a relação entre o diâmetro do círculo de área igual a da bacia e seu eixo. Com este índice é possível verificar a suscetibilidade da bacia a enchentes, tomando como referência a forma da bacia. Quanto maior for o valor encontrado para Re, mais a forma da bacia aproxima-se a de um círculo e, maior a suscetibilidade de ocorrência de enchentes. Quando os valores de Re são menores estão associados à forma mais alongada e menos suscetível a enchentes (MOSCA, 2003).

O índice de circularidade (Ic) relaciona a área total da drenagem e a área de um círculo de perímetro igual ao da bacia hidrográfica. Ao comparar o valor encontrado de Ic entre bacias hidrográficas, verifica-se que aquelas que possuem formas próximas a de um círculo estão mais propensas à ocorrência de enchentes, como consequência do aumento de água no canal principal (MILLER, 1953).

Valores de Ic próximos a um (1) indicam que a bacia possui forma próxima a de um círculo. Valores menores que 0,51 indicam que a bacia é alongada, o que favorece o processo de escoamento (MOSCA, 2003).

Ao dividir o diâmetro da bacia pela raiz quadrada da área, tem-se o índice entre o comprimento e a área da bacia (ICO). Este índice é utilizado para descrever e interpretar a forma e o processo de alargamento ou alongamento da bacia hidrográfica. Quando o valor encontrado para ICO for próximo a um (1), a bacia apresenta forma igual a um quadrado; quanto maior este valor, mais alongada será a bacia (EPAGRI, 1997).

1.1.3 Declividade da bacia hidrográfica

A declividade tem relação direta e complexa com a infiltração, o escoamento superficial, a umidade do solo e a contribuição de água subterrânea ao escoamento do curso d'água. A declividade está relacionada ao tempo do escoamento superficial, tendo ligação com a magnitude da enchente (PORTO *et al.*, 1999).

Quanto mais íngreme for o terreno na bacia hidrográfica, maior a velocidade do escoamento superficial; o tempo de concentração será menor e, por consequência, os picos de enchente maiores. A declividade da bacia controla em boa parte a velocidade com que se dá o escoamento superficial, bem como, os processos de erosão e infiltração no solo (BORSATO & MARTONI, 2004).

1.1.4 Densidade de cursos d'água (Ds)

Consiste na relação entre o número de cursos d'água e a área total da bacia hidrográfica, sendo incluídos os rios perenes e intermitentes. A finalidade deste cálculo é comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes em uma área de tamanho padrão, como o quilômetro quadrado.

A obtenção desse índice é importante, pois, representa o comportamento hidrográfico de determinada área, principalmente, quanto à capacidade de gerar novos cursos de água (CHRISTOFOLETTI, 1980; PORTO *et al.*, 1999).

Uma bacia é considerada bem drenada, quando possui um canal fluvial a cada quilômetro quadrado (MARCUZZO *et al.*, 2012).

1.1.5 Densidade da drenagem (Dd)

Este fator fisiográfico correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento (efêmeros, intermitentes e perenes), com a área total da bacia hidrográfica. Esta característica indica a eficiência da drenagem da bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A densidade da drenagem varia inversamente proporcional a extensão do escoamento superficial. Assim, uma baixa densidade de drenagem denota uma maior área de contribuição e o deflúvio demora mais para atingir os rios (GARCEZ, 1974).

Os resultados dos cálculos de densidade da drenagem, quando a apresentam como alta, sugerem uma bacia altamente dissecada ou drenada que responde rapidamente a uma determinada quantidade de chuva. Quando baixa, demonstra comportamento de uma bacia de drenagem pobre com respostas hidrológicas lentas (PORTO *et al.*, 1999).

Esta característica reflete as condições topográficas, pedológicas, hidrológicas e de vegetação de uma bacia. Solos mais resistentes à erosão, ou muito permeáveis, onde o relevo é suave tendem a apresentar densidades de drenagem baixa. Em solos mais suscetíveis a erosão ou de menor permeabilidade, cujas declividades se apresentam altas e com tendência a cobertura de vegetação

esparsa, são encontrados valores altos para densidade de drenagem (VILELLA & MATTOS, 1975).

Segundo Garbossa (2003), para algumas bacias pequenas, uma densidade de drenagem mais alta pode ser comparada com taxas de sedimentos também elevadas.

Carvalho & Silva (2006) classificam a bacia hidrográfica de acordo com os valores de Dd, da seguinte forma:

- Bacias com drenagem pobre → Dd < 0,5 km/km^2
- Bacias com drenagem regular → 0,5 ≤ Dd < 1,5 km/km^2
- Bacias com drenagem boa → 1,5 ≤ Dd < 2,5 km/km^2
- Bacias com drenagem muito boa → 2,5 ≤ Dd < 3,5 km/km^2
- Bacias excepcionalmente bem drenadas → Dd ≥ 3,5 km/km^2

1.1.6 Hierarquia Fluvial

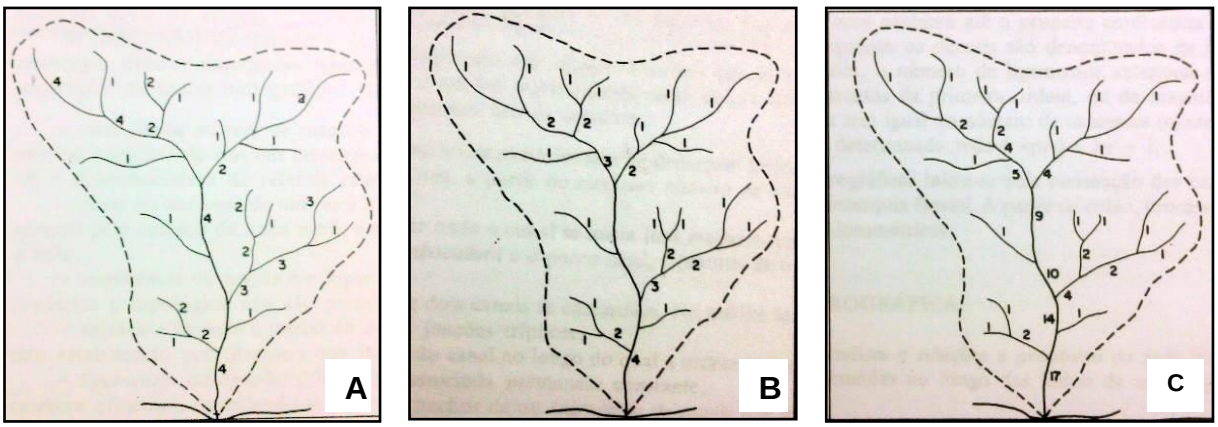
Por hierarquia fluvial entende-se o processo de estabelecer a classificação de um curso d'água, no conjunto total da bacia hidrográfica em que este se encontra. A finalidade é facilitar e tornar mais objetivo os estudos fisiográficos na bacia hidrográfica.

Entre as formas de hierarquia fluvial existentes serão citadas as de Horton (1945) Strahler (1952) e Shreve (1966;1967) (Figura 1).

Para Horton, os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários, já os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois tributários de ordem menor e somente recebem tributários de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de tributários de segunda ordem, recebe tributários de ordem menor e assim sucessivamente (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Com a finalidade de determinar qual é o canal principal, toma-se como referência a última bifurcação e se leva em consideração os critérios; a) partindo da jusante da confluência para a montante, o canal confluente que apresentar o maior ângulo será considerado o de ordem menor; b) se os cursos possuírem o mesmo ângulo, o rio de menor extensão é considerado o de menor ordem. O processo de refazer a numeração deve ser realizado a cada confluência com ordem mais

elevada, desde a confluência final até a nascente do tributário mais longo (CHRISTOFOLETTI, 1980) (Figura 1A).



Fonte: Christofoletti, 1980

Figura 1 - Exemplo de hierarquia fluvial segundo Horton (A) Sthahler (B) e Shreve (C).

Seguindo o modelo de Horton (1945), surge outro proposto por Strahler, em 1952. Neste, os canais sem tributários são considerados de primeira ordem; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem e, só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber tributários de ordem menor e assim sucessivamente. Na ordenação proposta por Strahler é eliminado o conceito de que o rio principal deve ter o mesmo número de ordem em toda a sua extensão e a necessidade de refazer a numeração a cada confluência (CHRISTOFOLETTI, 1980) (Figura 1B).

A hierarquia fluvial proposta por Shreve (1966; 1967) estabelece a magnitude de um determinado ligamento ou de determinada bacia hidrográfica da seguinte forma: a) cada segmento de canal externo (desde a nascente até a confluência) tem magnitude 1; b) se ligamentos de magnitude u_1 e u_2 confluírem, o segmento resultante a jusante terá magnitude u_1 mais u_2. A magnitude de um ligamento é igual ao número total de nascentes que lhe são tributadas. Este modo de ordenamento considera que a entrada de um tributário de ordem inferior altera a ordem do rio principal, pois ele reflete o número de canais de primeira ordem que contribui para a sua alimentação (CHRISTOFOLETTI, 1980) (Figura 1C).

1.1.7 Relação de bifurcação (Rb)

A relação de bifurcação desenvolvida por Horton (1945) relaciona o número total de segmentos de certa ordem e o número total dos de ordem imediatamente superior.

A Rb está relacionada com o grau de dissecação da bacia hidrográfica. Quanto maior for o valor de Rb, maior será o grau de dissecação. Analisando o sistema de ordenação de Strahler (1952), Christofoletti (1980) chegou a conclusão de que o resultado obtido na relação de bifurcação nunca será menor que 2 e, em sua maioria, variam entre 3 e 5 (MARCUZZO *et al.*, 2012).

Segundo Horton (1945) a relação de bifurcação tende a apresentar o valor do índice maior para áreas com bacias de drenagem muito dissecadas e valores superiores a 3, enquanto áreas de colinas apresentam valor 2.

1.1.8 Comprimento médio dos canais (Rlm)

Para se chegar ao comprimento médio dos canais, soma-se o comprimento dos canais de cada ordem e divide-se o valor pelo número de segmentos da respectiva ordem. Assim, apresenta a relação entre o comprimento médio dos canais de determinada ordem e o comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Esse parâmetro apresenta a relação de normalidade da bacia hidrográfica, sendo que o comprimento médio dos canais se ordena segundo uma série geométrica direta (VEIGA *et al.,* 2013).

1.1.9 Sinuosidade do curso d’água (SIN)

Um dos fatores que controla a velocidade do fluxo de água é a sinuosidade. Quanto mais sinuoso o canal principal, menor a velocidade e maior a dificuldade do deslocamento da água até a foz (PORTO *et al.,* 1999).

Calcula-se a sinuosidade por meio da relação entre o comprimento do canal principal e o comprimento de seu talvegue (distância em linha reta da desembocadura do rio e a nascente mais distante).

Existem diferentes maneiras para obtenção do valor de SIN que levam a interpretações em classes de sinuosidade. Por exemplo, para Alves e Castro (2003), os valores próximos a 1 indicam que o canal tende a ser retilíneo, enquanto valores maiores que 2, indicam canais tortuosos. Valores entre 1 e 2 indicam formas transicionais, regulares e irregulares.

Já Lira, Nascimento e Almeida (2012) organizam o valor de SIN em classes conforme tabela 3.

Tabela 3 - Classes do índice de sinuosidade do curso d'água segundo Lira *et al.* (2012)

Classe	**Descrição**	**Limites**
I	Muito reto	<20%
II	Reto	20-29%
III	Divagante	30-39%
IV	Sinuoso	40-49%
V	Muito sinuoso	>50%

Fonte: Lira, Nascimento e Almeida, 2012.

1.1.10 Solo: classe e uso e ocupação

O tipo de solo é outro fator que determina as características do escoamento superficial. Diretamente relacionadas ao tipo de solo estão às características particulares de permeabilidade, porosidade, entre outras características, o que influi na infiltração e na capacidade de armazenamento e transmissibilidade de água no solo (PORTO *et al.*, 1999).

O uso do solo é um dos fatores fisiográficos que influencia diretamente as taxas de infiltração e o escoamento superficial. Como exemplo, pode-se citar uma área cujo solo é coberto por uma floresta: neste caso, durante intensas precipitações, a cobertura evita que o escoamento superficial atinja o curso d'água em um curto intervalo de tempo. Quando a área é desflorestada e tem o solo compactado ou impermeabilizado, aquela chuva que antes infiltrava no solo, tende a escoar superficialmente (TUCCI, 2002).

2 SOLOS: EROSÃO E O USO E OCUPAÇÃO

Os solos são determinantes para a existência do homem. É meio para o crescimento de plantas, regulador do abastecimento de água, reciclador de matérias-primas, agente modificador da atmosfera, é habitat para seres vivos e meio para obras de engenharia. A qualidade do solo influencia, de forma sensível, a natureza dos ecossistemas das plantas e a capacidade do planeta de sustentar a vida animal e dos seres humanos (BRADY, 2013).

Por solo pode ser entendido um sistema dinâmico composto por componentes sólidos, líquidos e gasosos, de procedência mineral e orgânica, que ocupa boa parte da superfície continental do planeta. É estruturado em camadas chamadas de horizontes e que estão sujeitas às constantes transformações por meio de processos como adição, remoção, translocação química, física e biológica. O solo é resultado da influência mútua entre atmosfera, hidrosfera, biosfera e litosfera (MENDONÇA, 2006).

Um dos fatores que influência na evolução e desenvolvimento dos solos é o relevo. Este aspecto atua nas condições hídricas e térmicas dos solos e assim, em microclimas e na natureza da vegetação natural, e em características e propriedades do solo (PALMIERI & LARACH, 2000).

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos classifica os solos brasileiros em 13 classes em primeiro nível categórico: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Luvissolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos (EMBRAPA, 2013). Destas, serão apresentadas a seguir, as classes que predominam na mesorregião oeste do Paraná e sua relação de ocorrência com as características de relevo.

Os Latossolos são formados por material mineral e apresentam horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200cm da superfície do solo ou em até 300cm, quando o horizonte A possui mais que 150cm de espessura. São classificados como Latossolos Vermelhos quando apresentam matiz 2,5YR ou mais vermelho na parte superior dos primeiros 100cm do horizonte B (EMBRAPA, 2013).

Os Latossolos Vermelhos são profundos, friáveis, porosos e bem a acentuadamente drenados. Podem derivados do basalto e possuem textura argilosa ou muito argilosa (KER, 1998). Desenvolvem-se predominantemente em paisagens

de relevo plano ou suave ondulado. Este tipo de relevo, aliado às boas condições físicas, tornam essa classe de solo menos suscetível à erosão (PRADO, 1995).

O sucesso da agricultura nas áreas de Latossolo Vermelho confirma a grande potencialidade agrícola, associada à fertilidade natural, facilidade e resposta à correção da fertilidade, quando necessária e também, à possibilidade de ampla mecanização e mesmo irrigação (KER, 1998).

Os Nitossolos Vermelhos da bacia do rio Pinto, também são oriundos de rochas basálticas. Normalmente são profundos, bem drenados, estruturados e de coloração vermelha. Apresentam textura argilosa ou muito argilosa (MANZATTO, FREITAS JUNIOR & PERES, 2002). Os Nitossolos Vermelhos estão associados às paisagens de relevo suave ondulado a ondulado (PRADO, 1995).

Devido a natureza, estrutura e composição do material de origem, das formas de relevo e condições climáticas em que são formados, as características dos Cambissolos variam muito de um local pra outro (MANZATTO, FREITAS JUNIOR & PERES, 2002). São solos pouco desenvolvidos, geralmente pouco profundos. Podem apresentar textura média, argilosa a muito argilosa (SILVA, SILVA & CAVALCANTI, 2005). Estão relacionados às paisagens com relevo ondulado, forte ondulado ou montanhoso. Em virtude do relevo movimentado, a mecanização agrícola é dificultada (PRADO, 1995).

Os Neossolos são solos pouco evoluídos (jovens), compostos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20cm de profundidade, não possuem qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. São classificados como Litólicos quando têm A ou hístico diretamente sobre rocha ou um horizonte C ou Cr, ou ainda sobre material com ao menos 90% de sua massa composta por fragmentos de rocha, com diâmetro maior que 2mm, que apresente contato lítico ou fragmentário dentro de 50cm da superfície do solo . Os classificados como Regolíticos possuem contato lítico a uma profundidade maior que 50cm. Também deverão ter horizonte A sobrejacentes a horizonte C ou Cr, podendo ocorrer Bi com menos de 10cm de espessura (EMBRAPA, 2013). Essa classe de solo está relacionada às paisagens de relevo acidentado, portanto, são solos menos indicados para a prática agrícola e mais suscetíveis à erosão (MANZATTO, FREITAS JUNIOR & PERES, 2002).

Desde os primórdios a Terra passa por processos de erosão natural e a deposição de sedimentos, o que resulta nas formas existentes hoje em sua superfície. A erosão pode variar conforme os agentes causadores do fenômeno,

sendo estes: o gelo, a gravidade, o vento e a água em movimento (SIMÕES & COIADO, 2003).

Um dos fatores climáticos mais importantes na erosão dos solos é a chuva, pois, o volume e a velocidade da enxurrada estão relacionados à sua intensidade, duração e frequência. A erosão está relacionada ao índice de erosividade, que é proporcional ao produto da energia cinética total das gotas de chuva e sua intensidade máxima em trinta minutos (SALOMÃO, 1999).

Ao atingirem o solo, as gotas de chuva contribuem para o processo erosivo de três formas; a) desprendem partículas no solo; b) transportam as partículas que foram desprendidas por salpicamento; c) imprimem energia, em forma de turbulência, à água superficial (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014).

O tamanho e a quantidade de material transportado pela água dependem da velocidade com que ela escoa que, por sua vez, é resultante do comprimento da rampa e da declividade do terreno. À medida que o caminho percorrido vai aumentando, o volume de água aumenta, progressivamente, assim como a velocidade de escoamento. Portanto, quanto maior o comprimento da rampa, maior a enxurrada, a energia e a erosão (SALOMÃO, 1999).

A cobertura vegetal protege o solo contra o impacto da chuva, contribuindo para a dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo. As raízes das plantas aumentam a infiltração da água; adicionam matéria orgânica ao solo, melhorando sua estrutura; e diminuem a velocidade de escoamento da enxurrada, pois aumentam o atrito na superfície (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014).

Os solos apresentam maior ou menor resistência à ação das águas (fator erodibilidade do solo), por apresentarem propriedades físicas (textura, estrutura, permeabilidade e densidade), químicas, biológicas e mineralógicas diferenciadas (SALOMÃO, 1999).

Enquanto as areias apresentam maiores índices de erodibilidade, as argilas são mais difíceis de serem removidas, principalmente quando constituintes de agregados. Solos mais rasos são suscetíveis à rápida saturação dos horizontes superficiais e, por consequência, favorecem o aparecimento e a progressão da erosão acelerada (SIMÕES & COIADO, 2003).

Quando o solo é manejado com cuidado, pode ser tratado como um recurso natural reutilizável, porém, não é considerado um recurso renovável (BRADY, 2013),

sendo degradado por quatro causas principais: perda da estrutura do solo, perda da matéria orgânica, perda dos elementos nutritivos e perda do solo (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014).

Associadas diretamente à erosão acelerada estão o empobrecimento da fertilidade do solo, a degradação das condições físicas para o desenvolvimento vegetal, a produção excessiva de sedimentos, a liberação de poluentes químicos compostos por nutrientes vegetais e agrotóxicos e a deposição de sedimentos em reservatórios, canais e enchentes em regiões mais planas (SIMÕES & COIADO, 2003).

O processo erosivo torna-se acelerado em virtude do aumento de terras desmatadas para exploração de madeira e/ou para produção agrícola, ficando os solos desprotegidos de modo que as chuvas incidem diretamente sobre o solo (GUERRA, 1999).

Um dos agentes erosivos mais atuantes é a água em movimento, sendo denominado o fenômeno de erosão hídrica. Esta consiste numa série de transferências de energia e matéria produzidas em um sistema de desequilíbrio entre água/solo/cobertura vegetal e que resulta numa perda progressiva de solo (MAFRA, 1999). A água da chuva incidindo sobre o solo, principalmente em áreas sem proteção da cobertura vegetal, desagrega as partículas e os filetes de água têm energia suficiente para arrastar as partículas soltas, encosta abaixo (SIMÕES e CAIADO, 2003).

A erosão hídrica pode acontecer nas formas; laminar, em sulco, ravinas e voçoroca, ocorrendo isoladamente ou de forma simultânea sobre um terreno. Estas formas de erosão hídrica correspondem ao estádio de evolução do processo erosivo. A erosão laminar é dificilmente percebida por tratar da remoção das camadas delgadas do solo, em que são arrastadas as partículas mais leves, causando efeitos negativos sobre à fertilidade. Associada à irregularidade do terreno, a erosão em sulcos ocorre quando a enxurrada concentra-se em pontos do terreno. Após atingir volume e velocidade, passa a formar sulcos mais ou menos profundos e que podem ser desfeitos com operações normais de preparo do solo. As voçorocas, por sua vez, são ocasionadas por grandes concentrações de enxurrada que fluem durante um longo período no mesmo sulco, e que vai se ampliando, por meio do deslocamento de grande massa de solo, formando grandes

cavidades em extensão e profundidade até o lençol freático (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014).

Estes processos acabam removendo a camada superficial e mais fértil do solo e, posteriormente, os horizontes subsuperficiais, causando perda do potencial físico e químico do solo (MAFRA, 1999).

Os sedimentos transportados, geralmente para corpos d'água, prejudicam a qualidade das mesmas por servirem como veículo aos poluentes. Tornam a capacidade de transporte dos corpos receptores insuficiente, causando assoreamento de canais de irrigação, rios, estuários, portos e reservatórios, reduzindo a capacidade das estruturas hidráulicas (PAIVA, 2003).

Como exemplo, pode-se citar as estimativas de assoreamento do reservatório da Usina Hidroelétrica de Itaipu Binacional, do qual a bacia do rio Pinto é tributária. Segundo Carvalho *et al.,* (2000), o tempo total de assoreamento avaliado para esse reservatório ultrapassa mil anos, no entanto, nas condições em que o solo vem sendo utilizado em um tempo muito menor, vinte a trinta anos, depósitos de sedimentos já poderão prejudicar as atividades de navegação e produção de energia.

Nesta perspectiva, a tomada de medidas eficazes de controle preventivo e corretivo da erosão depende do entendimento correto dos processos relacionados à dinâmica de funcionamento hídrico sobre o terreno (SALOMÃO, 1999), abrangendo diretamente o manejo e o uso do solo.

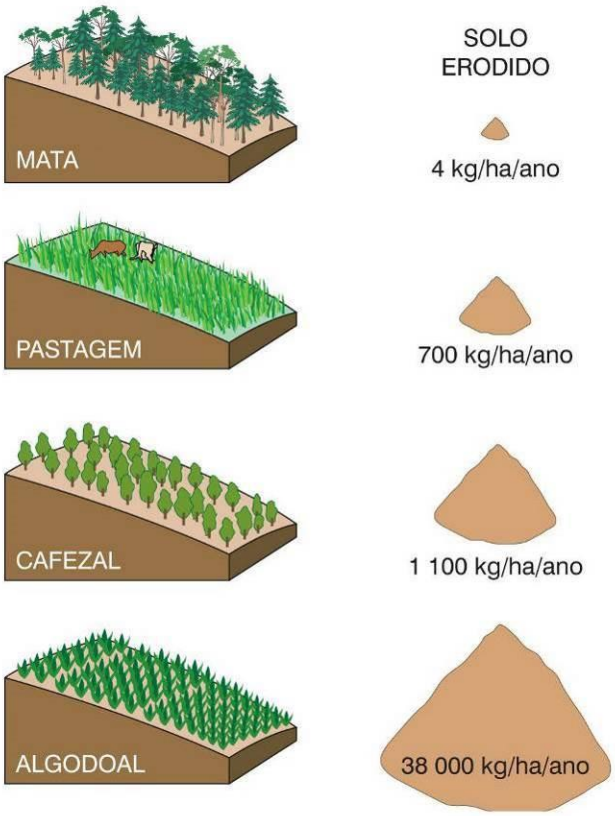
A erosão causa a perda de solo com intensidade diferente, conforme o uso. Lepsch (2010) apresenta alguns exemplos que refletem esta questão (Figura 2).

No Brasil, as modificações ocorridas em boa parte das áreas cultivadas, onde a produção voltada para o mercado interno e externo deu-se, pelo incremento de fertilizantes, intensificação da mecanização, entre outros. Os reflexos foram imediatos: a descaracterização de ecossistemas, a modificação no regime de aquíferos e sua contaminação e as mudanças nos mecanismos de evapotranspiração (MAFRA, 1999).

A região de clima subtropical, por apresentar elevada pluviosidade, possui períodos no ano com excesso de precipitação que ocasionam enxurradas, independente do tipo de uso e manejo do solo (DENARDIN & KOCHHANN, 2009).

Exemplo da importância do planejamento e do uso racional do solo é a

necessidade da prática de culturas anuais que envolvem a mudança da cobertura anualmente ou sazonalmente, com diferentes plantios. O processo que envolve a preparação do solo, no caso da aragem, ocasiona a falta de proteção do solo em épocas de precipitação intensa. O solo fica sujeito à energia do impacto das gotas chuvas (processo conhecido como *splash*) que tende a causar erosão e modificações nas condições de infiltração do solo (TUCCI & MENDES, 2006).



Fonte: Lepsch, 2010

Figura 2 - Perda de solo por erosão em diferentes usos de solo.

O controle da erosão em áreas rurais é bastante complexo por abranger questões e ordem técnica e socioeconômica, as quais devem ser analisadas de forma conjunta, com o objetivo de adoção de uma política agrícola que contemple a manutenção ou aumento do potencial produtivo da terra (SALOMÃO, 1999).

A introdução do sistema de plantio direto como técnica contribuiu para melhorar as condições ambientais água-solo-clima. Sua prática implica em não revolver o solo e o plantio é realizado diretamente sobre os restos do cultivo anterior.

A tendência é que praticamente toda a água infiltre e o escoamento ocorra de forma predominante na camada subsuperficial até alcançar o sistema de drenagem natural (TUCCI & MENDES, 2006).

O plantio direto pode ser considerado uma das mais eficazes técnicas da agricultura conservacionista e, atualmente, é aplicada em cerca de 75% da área cultivada com culturas anuais da região subtropical úmida do Brasil. Porém, sua aplicação, descomprometida com as técnicas para manejo de enxurradas, além de não controlar suficientemente a erosão hídrica, potencializa o transporte de agroquímicos e de sedimentos enriquecidos em carbono e em nutrientes aos mananciais de superfície, apresentando risco ao equilíbrio da dinâmica hidrológica no domínio da bacia hidrográfica (DENARDIN & KOCHHANN, 2009).

Outras técnicas conservacionistas podem ser adotadas visando garantir a máxima infiltração e o menor escoamento superficial, minimizando a ocorrência dos processos erosivos. Elas podem ser classificadas em vegetativas, edáficas e mecânicas, sendo que, as duas primeiras são mais simples de executar e manter, devendo-se sempre recorrer a elas. Já a última é complementar e aplicável quando as técnicas vegetativas e edáficas não são suficientes para a proteção dos terrenos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014).

As práticas de caráter vegetativo partem do princípio que a densidade da cobertura vegetal oferece proteção contra a erosão. As de caráter edáfico têm como objetivo melhorar ou manter as condições de fertilidade do solo e, indiretamente, controlar a erosão. Já as de caráter mecânico são aquelas que utilizam estruturas artificiais de adequação das porções de terra, com a finalidade de diminuir a velocidade de escoamento da enxurrada e facilitar a infiltração no solo (SALOMÃO, 1999).

As principais técnicas conservacionistas de caráter vegetativo, edáfico e mecânico estão expressas no Quadro 1.

Sobre o plantio em contorno, Denardin e Kochhann (2009) afirmam que esta é uma das práticas conservacionistas mais eficientes e antigas utilizadas para o combate da erosão hídrica, por ser de fácil aplicação e ampla aceitação pelos agricultores. O plantio em contorno, em comparação à semeadura no sentido do declive, pode reduzir em mais de 50% as perdas de solo por erosão hídrica.

Quadro 1 – Práticas conservacionistas vegetativas, edáficas e mecânicas.

	Prática Conservacionista	Aplicação e objetivo
Vegetativas	Plantas de cobertura	Mantem o solo coberto durante o período chuvoso, reduzindo os efeitos da erosão e melhorando as condições físicas e químicas do terreno. Além de ser fonte de matéria orgânica para incorporação ao solo e servir de proteção contra a ação dos raios solares, às plantas de cobertura contribuem para que os elementos nutritivos postos em estado solúvel no solo sejam lixiviados nas águas de percolação.
	Cobertura em faixas	Consiste no plantio em faixas de exploração contínua ou em rotação, entremeando em geral, culturas anuais ou semiperenes. Tem como objetivos; diminuir a velocidade das enxurradas e do vento, facilitar a infiltração das águas e permitir a contenção do solo parcialmente.
	Cordões de vegetação permanente:	São fileiras de plantas perenes e de crescimento denso, arranjadas com determinado espaçamento horizontal e sempre em contorno. Visa diminuir a velocidade da enxurrada, pois o cordão de vegetação permanente antecipe a deposição de sedimentos transportados e facilite a infiltração da água.
	Alternância de capinas	As capinas são realizadas de forma intercalada, mantendo parcelas da área de cultivo, com mato, imediatamente abaixo da outra que foi recém-capinada. O efeito desta técnica é semelhante ao observado na cultura em faixas e cordões de vegetação permanente.
	Quebra-ventos	Com a função de reprimir o vento na superfície do solo, protegendo o solo da erosão eólica. Consiste em uma barreira densa de árvores colocadas a intervalos regulares do terreno, em lugares em que o vento é forte.
Edáficas	Controle do fogo	O fogo causa destruição da matéria orgânica e do nitrogênio, destruição da estrutura ou organização das partículas constituintes do solo, condicionado a diminuição da capacidade de absorção e retenção de umidade.
	Adubação verde e plantio direto:	Incorporação de nitrogênio e matéria orgânica no solo, enterrando-se restos vegetais ainda verdes. O húmus produzido melhora as condições físicas do solo estruturando e aumentando a porosidade. A porosidade do solo é bastante aumentada pela ação dos organismos vivos do solo (plantas e animais);
	Adubação química	Manutenção e restauração da fertilidade do solo, proporcionando aumento da produtividade e melhor cobertura vegetal, protegendo, desta forma o solo;
	Adubação orgânica	Incorporação da matéria orgânica no solo, pela aplicação de certos produtos (esterco, composto orgânico);
	Rotação de cultura:	Plantio de diferentes tipos de lavoura numa mesma gleba, visando o controle de doenças e pragas e melhoria das características físicas do solo;
	Calagem	Correção da acidez do solo pela aplicação de cálcio. Solos ácidos dificultam o aproveitamento do fósforo pelas plantas e o desenvolvimento de microrganismos fixadores de nitrogênio atmosférico. Portanto, a calagem propicia melhor cobertura vegetal do solo, protegendo-o contra a erosão.
Mecânicas	Plantio em contorno (em nível)	Marcação no terreno de curvas de nível e execução em espaços estabelecidos de sulcos e camalhões de terra. As fileiras de cultura e os sulcos e camalhões, acompanhando as curvas de nível, constituem um obstáculo que se opõe ao percurso livre das enxurradas, controlando a erosão;
	Terraceamento	Tipo especial de sulco ou canal e camalhão, visando, além de interceptar a água da enxurrada, conduzir o excesso pelo canal.
	Canais escoadouros	Canais de dimensões apropriadas, vegetadas, capazes de transportar com segurança a água de escoamento superficial proveniente dos sistemas de terraceamento ou de outras estruturas.

Fonte: Bertoni & Lombardi Neto, 2014; Salomão, 1999

Na bacia do rio Pinto é utilizada com maior abrangência, a técnica de plantio direto e as práticas de plantas de cobertura, adubação química, calagem, plantio em contorno e terraceamento.

A conservação do solo é sem dúvida, um dos pontos mais importantes da agricultura moderna. Com a finalidade de realizar as explorações agrícolas com bases conservacionistas, sem descuidar dos interesses financeiros do agricultor, faz-se necessário o planejamento racional do uso a ser dado a cada área de solo, levando em consideração o conjunto das principais características físicas, ecológicas e econômicas da área. Assim, quanto melhor estudado for o solo e quanto maior a soma de detalhes recolhidos em levantamento mais sólidas são as bases para um planejamento de uso racional (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014)

3 EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO – USLE

Estimar a perda de solo por erosão de uma determinada área é o primeiro passo para planejar ações corretivas. Porém, avaliar de forma exata e precisa a extensão, a magnitude e as taxas de erosão acelerada, bem como seus impactos econômicos e ambientais, é bastante difícil. A pesquisa em erosão, além das dificuldades técnicas, é cara e morosa, já que os processos erosivos variam no tempo e no espaço sob a ação de diversas variáveis físicas e de manejo (FUJIHARA, 2002).

Para a estimativa da perda de solos em áreas agrícolas, campos e áreas impactadas, foram elaboradas as equações baseadas nos diversos fatores que afetam os processos erosivos. De todos os métodos empíricos formulados mundialmente, o mais popular é o conhecido como Equação Universal de Perdas de Solo - USLE desenvolvida por Smith e Wischmeier em 1978 (PEREIRA, 2006).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2014), os primeiros trabalhos para o desenvolvimento de equações para avaliar as perdas de solo foram desenvolvidos em 1940. Ao final da década de 1950, chegou-se a uma equação de solo aprovada e, que abrangia: índice de erosão da chuva; método de avaliar os efeitos do manejo de uma cultura com vistas às condições climáticas locais; quantificação da erodibilidade do solo e os efeitos de interpelações de certas variáveis, como o nível de produtividade, sequência de culturas e manejo dos resíduos. A partir destas modificações, a equação superou as restrições climáticas e geográficas, passando a equação a denominar-se equação universal de perdas de solo.

A Equação Universal de Perdas do Solo é um modelo de perda de solo de ampla utilização global, aplicável em bacias hidrográficas. É capaz estimar a perda de solo média, em períodos longos, proveniente de erosão laminar e por sulcos. Não é capaz de estimar a deposição e não computa produção de sedimentos por ravina e erosão das margens e fundo do canal. Esta equação tem como maior propósito ser guia sistêmico para o planejamento e conservação do solo (PAIVA, 2003).

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2014), o conhecimento das relações existentes entre os fatores que causam perdas de solo e água e as práticas que reduzem tais perdas é fundamental para a prática do planejamento do uso do solo e a determinação de práticas conservacionistas.

A estimativa dos valores da perda de solo provocados pela erosão laminar é expressa em toneladas por hectare e, é obtida por meio do cálculo de índices de cada componente da equação (SALOMÃO, 1999).

Mesmo sendo desenvolvida para aplicação nas condições geográficas dos Estados Unidos da América a USLE é amplamente aplicada em estudos no Brasil. À aplicação do cálculo é mais precisa quanto menor a parcela de área estudada. Em estudos regionais, de pequena escala, os valores numéricos de perda de solo por erosão determinados não podem ser considerados como dados reais de erosão, servindo somente para categorizar qualitativamente as áreas a respeito de sua maior ou menor suscetibilidade à erosão laminar (IPT, 1986).

Segundo Farinasso *et al.* (2006), a aplicação USLE é valida para estudos qualitativos sobre predição de perda de solos, viabilizando a delimitação e a espacialização de áreas com maior ou menor suscetibilidade a erosão, possibilitando a realização do planejamento ambiental.

Embora haja consenso de que quanto menor a área estudada maior a precisão dos dados e por consequência na estimativa de perda de solo, o mesmo não acontece em relação ao tamanho da área considerada ideal. Existem estudos no Brasil que aplicam a USLE em várias escalas. Como exemplo, pode-se citar os estudos realizados por Farinasso *et al.* (2006), na região do Alto Parnaíba, com área de 133.571km^2; Silva (2004) na bacia do Rio Paracatu, localizada nos estados de Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal, área de 44.922Km^2; e Souza e Gasparetto (2012) que estimaram a perda de solos na bacia do córrego Pinhalzinho Segundo, no noroeste do Paraná, trabalhando com uma área de estudos de 182Km^2.

São vantagens da aplicação da USLE: a) a utilização de poucos recursos e tempo, destinados à obtenção e compilação de dados e parâmetros; b) é de fácil aplicação; c) pode ser destinada ao planejamento do uso agrícola do solo; d) estima de forma eficiente taxas médias de perdas de solo por erosão hídrica laminar e por sulcos em um período de tempo pré-estabelecido; e) é uma equação conhecida e estudada mundialmente (MARQUES, 2013).

A USLE possui pontos questionáveis em sua aplicação. Apesar de ser universal, a equação é empírica, sendo necessário que os valores dos parâmetros sejam determinados para condições locais. A estimativa dos fatores LS, R e K pode ser realizada com base em diferentes modelos, de modo que, a inexistência de padronização pode gerar em resultados divergentes (CORRECHEL, 2003).

Para Marques (2003), também contam como desvantagens da aplicação da USLE: a não predição da perda de solo por erosão em voçorocas; a não aplicação em eventos isolados de precipitação ou em chuvas únicas consideradas erosivas; a não consideração das formas do relevo (côncavo ou convexo).

A seguir serão brevemente discutidos os fatores que compõem a equação universal de perda de solo.

3.1 FATOR PRECIPITAÇÃO (R)

O fator energético da chuva, representado por R, consiste em um índice numérico que expressa à capacidade da chuva, de causar erosão em uma área sem proteção (PAIVA, 2003).

Muitos estudos baseados em dados de perdas de solo associados às características das chuvas mostram que, quando outros fatores, com exceção da chuva, são mantidos constantes, as perdas de solo causadas pelas chuvas nas áreas cultivadas são diretamente proporcionais ao valor do produto de duas características da chuva: energia cinética total e intensidade máxima em trinta minutos (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014).

No mundo, os países possuem registros pluviométricos escassos ou nem os possuem. As análises dos diagramas pluviométricos para energia cinética é bastante morosa e trabalhosa. Por isso, várias foram as tentativas buscando correlacionar o índice de erosão com fatores climáticos. Fatores esses de fácil medida e que não necessitam de registros de intensidade de chuva (LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER, 1992).

Lombardi Neto & Moldenhauer (1992), após a análise de registro pluviométrico de precipitação em Campinas, durante vinte e dois anos, encontraram alto coeficiente de correlação para a regressão linear entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente chuva, modificando o coeficiente original elaborado por Fournier.

O fator R de um local resulta da soma dos valores mensais dos índices de erosão (EI). Para um longo período de tempo, vinte anos ou mais, a relação proposta por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992) é capaz de estimar com relativa precisão os valores médios de EI de um local, utilizando somente totais de chuva, os

quais estão bastante acessíveis na maioria dos locais (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014).

O estado do Paraná está sob forte influência dos fenômenos El Niño e La Niña. Estes fenômenos, por causar variações na quantidade e intensidade das chuvas, influenciam no fator erosividade (PAULA, 2009).

Waltrick (2010) realizou um estudo com objetivo de atualizar a erosividade de chuvas no Paraná, analisando a influência dos fenômenos El Niño e La Niña e estimando cenários climáticos futuros. Considerando os dados pluviométricos do período de 1986 a 2008 em 114 estações pluviométricas paranaenses, o autor concluiu que em períodos de El Niño a erosividade das chuvas chega a ser de 40 a 100% maior do que em períodos “normais”. Já em períodos de La Niña há uma redução de 10 a 50% na erosividade das chuvas. Segundo o autor, as regiões oeste e sudoeste são as mais afetadas pela erosividade das chuvas em períodos sob atuação dos dois fenômenos.

Em seu estudo Araújo (2012) corrobora com Waltrick (2010), quando relaciona impactos dos fenômenos de El Niño e La Niña e perdas de produção na agricultura nas regiões sul e nordeste do Brasil. Compara os níveis médios de precipitação da região sul em anos de registro de El Niño, La Niña e neutralidade (Tabela 4) e constata que em anos de El Niño os níveis de precipitação estão acima da média, o que afeta os valores de erosividade da chuva desta região. O contrário acontece em anos de La Ninã, como os níveis médios de precipitação são inferiores aos verificados nos anos de neutralidade, a erosividade da chuva é menor.

Tabela 4 – Níveis médios de precipitação (mm) da região Sul em anos de registro de El Niño, La Niña e neutralidade.

Precipitação (mm)	Neutralidade	El Niño 1982-83	El Niño 1997-98	La Niña 1973-76	La Ninã 1986-89
Verão	167,16	146,60	200,03	95,37	108,08
Outono	118,92	139,61	146,4	163,16	185,80
Inverno	120,59	177,57	147,33	70,35	78,45
Primavera	147,53	190,50	177,33	52,96	38,96

Fonte: adaptado de Araújo (2012)

3.2 FATOR ERODIBILIDADE DO SOLO (K)

Sob condições fixas de declividade, precipitação, cobertura vegetal e práticas conservacionistas, a erodibilidade varia. Se comparados solos argilosos e arenosos, sob as mesmas condições, os últimos, devido às suas características físicas e químicas, são mais suscetíveis à erosão (TOMAZONI, 2003).

O fator K está relacionado diretamente às propriedades do solo que afetam a maior ou menor propensão à erosão, que estão relacionadas à velocidade de infiltração, permeabilidade, capacidade de armazenamento, resistência às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento (PAIVA, 2003).

A estrutura do solo influencia em sua resistência a erosão por meio das propriedades físico-químicas da argila que contribui para que os agregados permaneçam estáveis em presença de água e de propriedades biológicas, devido à presença de matéria orgânica. Quanto maior a estabilidade dos agregados em água, maior a permeabilidade do solo e menor a desagregação, assim, por consequência, menor o escoamento superficial e o arraste de partículas pela água (CORRECHEL, 2003).

Comparando solos argilosos, os menos erodíveis são os Latossolos, que são solos mais intemperizados (maduros) e profundos. À medida que o grau de maturidade e profundidade diminui, o grau de erodibilidade aumenta (TOMAZONI, 2003).

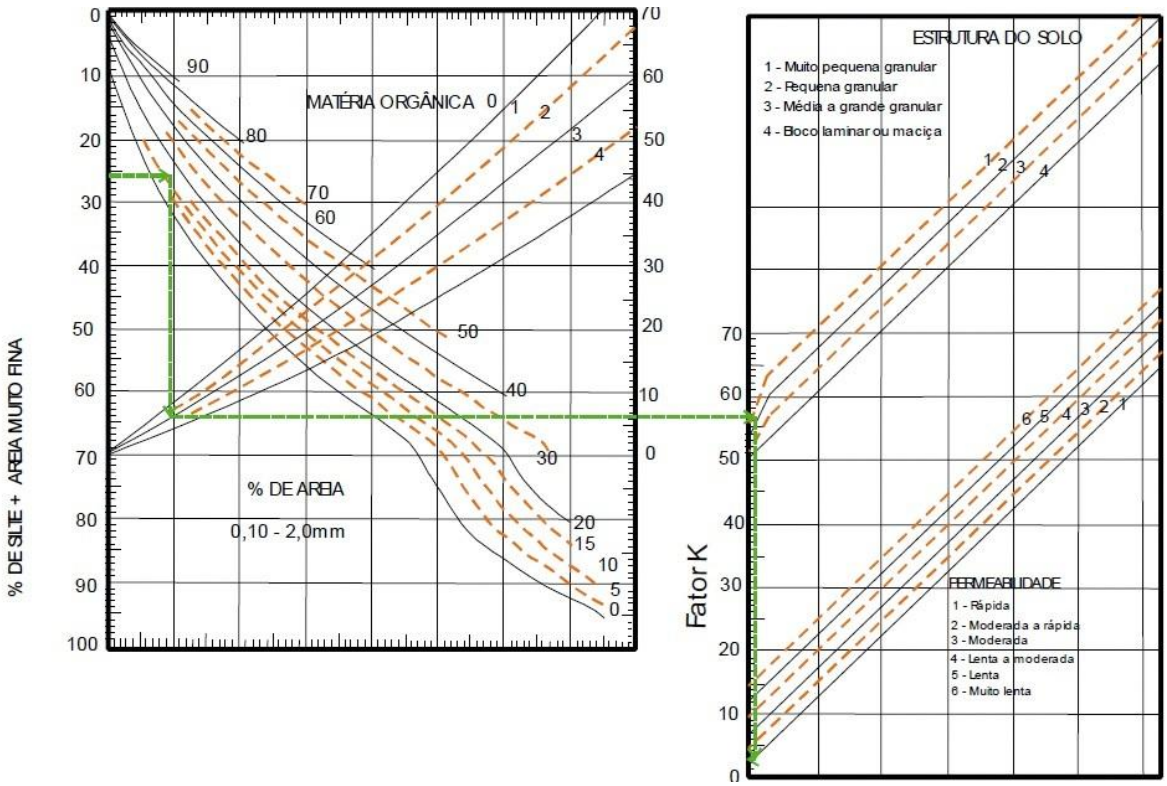
Segundo Marques (2013) a erodibilidade do solo é o fator mais custoso e moroso para determinação, especialmente no Brasil, por sua extensão territorial, climática e diversidade edáfica. Alia-se a isso a falta de incentivos à pesquisa, o alto custo envolvido na instalação técnica do estudo e a demanda de vários anos de coleta de dados. Assim, vários autores têm desenvolvido modelos para estimar a erodibilidade de maneira indireta como, por exemplo, Roloff & Denardin (1994); Denardin (1990); Wischmeier *et al.* (1971); a equação de Boyoucos, descrita por Bertoni & Lombardi Neto (1990); e a equação proposta por Wischmeier *et al.(*1971), modificada por Lima *et al.* (1990).

O fator K pode ser determinado diretamente a campo com chuva natural ou simulada em parcelas padrão, bem como, empregando-se métodos empíricos (CORRECHEL, 2003).

As equações de estimativa do fator K em geral são elaboradas por meio de regressões múltiplas entre o fator K medido diretamente no campo e os atributos do solo (CORRECHEL, 2003). As equações existentes possuem algumas limitações, devido a grande diversidade de características que os solos possuem, porém, quando bem empregadas, fornecem valores próximos aos medidos diretamente a campo (RUTHES *et al.,* 2012).

Também se pode utilizar para a determinação do fator K o nomograma de Wischmeier *et al.* (1971). Este nomograma (Figura 3) utiliza parâmetros como a porcentagem de silte areia muito fina (0,002 a 0,1mm), porcentagem de areia (0,1 a 2,0mm), matéria orgânica, estrutura e permeabilidade. Os parâmetros analisados são referentes ao horizonte superficial (A), já que USLE é aplicada para estimar a erosão laminar (FARINASSO *et al.* 2006).

Tomazoni (2003) coloca que, comparando alguns métodos do cálculo de K por meio de equações, a grande maioria apresenta valores próximos aos obtidos por meio do nomograma de Wischmeier *et al.* (1971), sendo os resultados obtidos através deste método confiável.



Fonte: Adaptado de Resende & Almeida (1985)

Figura 3 - Nomograma de Wischmeier et al. (1965).

A linha verde é um exemplo de leitura do fator K de um LV, com as seguintes características e seguindo o procedimento: entra-se no ábaco com os 26% de silte+areia muito fina; traça-se um seguimento de reta até 14% de areia; traça-se um novo seguimento de reta até 2,14% de matéria orgânica; interpola-se com o segundo gráfico, até a estrutura do horizonte A, que para o caso é muito pequena granular, vai até a permeabilidade, que neste caso, é rápida e liga na coluna do gráfico, obtendo o fator K de 0,03.

3.3 FATOR TOPOGRÁFICO (LS)

A topografia de uma área está diretamente relacionada ao desprendimento de partículas, bem como, o transporte de sedimentos está diretamente relacionado ao comprimento e inclinação da encosta ou área (PEREIRA, 2006).

O fator LS compreende conjuntamente o comprimento e o grau de declividade, é a relação esperada de perda de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação às perdas de solo correspondentes a uma parcela unitária de 22 m de comprimento e 9% de declividade (PAIVA, 2003).

Utilizando-se de dados das determinações de perda de solo, por erosão, obtidos nos principais tipos de solo em São Paulo, numa média de dez anos de acompanhamento em talhões de comprimentos de rampa, graus de declividade diferentes e com culturas anuais Bertoni (1959) chegou as seguintes conclusões:

> a) duplicando o grau de declividade, as perdas de terra são aumentadas de 2,26 vezes, e o índice de erosão de 1,57 vezes; b) duplicando o comprimento de rampa as perdas de terra são aumentadas de 3,09 vezes, e o índice de erosão, de 1,83 vezes; c) as posições médias relativas, referentes às perdas por erosão, dos solos do tipo arenoso e massapê são superiores em cerca de 30% e 20% respectivamente, comparados com solo Terra Roxa; (...) (BERTONI, 1959, p. 138).

Desse estudo também surge uma equação de aplicação prática que possibilita calcular as perdas médias de solo para os variados graus de declividade e comprimento de rampa.

3.4 FATOR DE MANEJO DE CULTURAS (C)

As perdas de solo podem ser estimadas pelo produto dos fatores R, K, L S, entretanto, se a área estiver cultivada serão diminuídas devido à proteção que a cultura oferece ao solo. Essa diminuição está relacionada à combinação de cobertura vegetal, sequência de cultura e prática de manejo, e ao estádio de desenvolvimento da cultura durante o período de chuva (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014).

O fator uso e manejo do solo podem ser conseguidos em parcelas experimentais e representam o grau de proteção média à erosão, proporcionado pelo uso e manejo do solo. Os valores do fator C variam de zero (quando há cobertura florestal) a um (quando há solo exposto) (CHAVES, 1994).

Para obter o fator C são considerados os estádios definidos de desenvolvimento das culturas e sua influência na erosão do solo. Os principais estádios considerados são: plantio (do plantio até um mês após); estabelecimento (de um a dois meses após o plantio); crescimento e maturação (dois meses após o plantio até a colheita) e resíduo (da colheita até o preparo do solo). Conseguir os dados para compor o fator C, em campo, é um processo difícil e lento. As dificuldades estão relacionadas à distância do local das parcelas experimentais, à indisponibilidade de recursos humanos e à ausência de informações de intensidade pluviométrica para cada espécie cultivada (MARQUES, 2013).

Por serem dados de obtenção morosa a campo, em geral, não são realizados levantamentos em loco dos valores de C para aplicação na USLE, recorrendo-se a revisão bibliográfica.

3.5 FATOR PRÁTICAS DE PROTEÇÃO E MANEJO DO SOLO (P)

O fator P apresenta a relação entre a intensidade esperada de perda de solo influenciada pela prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada em morro abaixo. As práticas conservacionistas mais utilizadas para as culturas anuais são o plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas (PAIVA, 2003).

Os valores adotados para o fator C, em geral, são os obtidos em estudo realizado pela Seção de Conservação do Solo do Instituto Agronômico por Marques,

Bertoni e Barreto (1961). Neste estudo foram levantados dados sobre o efeito das perdas por erosão com base nos fatores: tipo de solo, sistema de preparo do solo em cultura de milho, incorporação de matéria orgânica em cultura do milho, rotação de culturas, tipo de uso do solo, tipo de cultura, comprimento de rampa e prática conservacionista em culturas anuais.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse item são apresentados os conceitos, materiais, procedimentos, técnicas e as etapas utilizadas para a caracterização fisiográfica e estimativa de perda de solo na bacia do rio Pinto.

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Pinto drena uma área de 66,48 km^2, por meio de 76,12 Km de cursos d´água. Tem como rios principais o córrego Mico e o rio Pinto, sendo tributária da Bacia do Paraná III – BP III. Está localizada no município de São Miguel do Iguaçu/PR, entre as coordenadas de 25º18’35”-25º22’54”S e 54º18’35”-54º11’57”O (Figura 4).

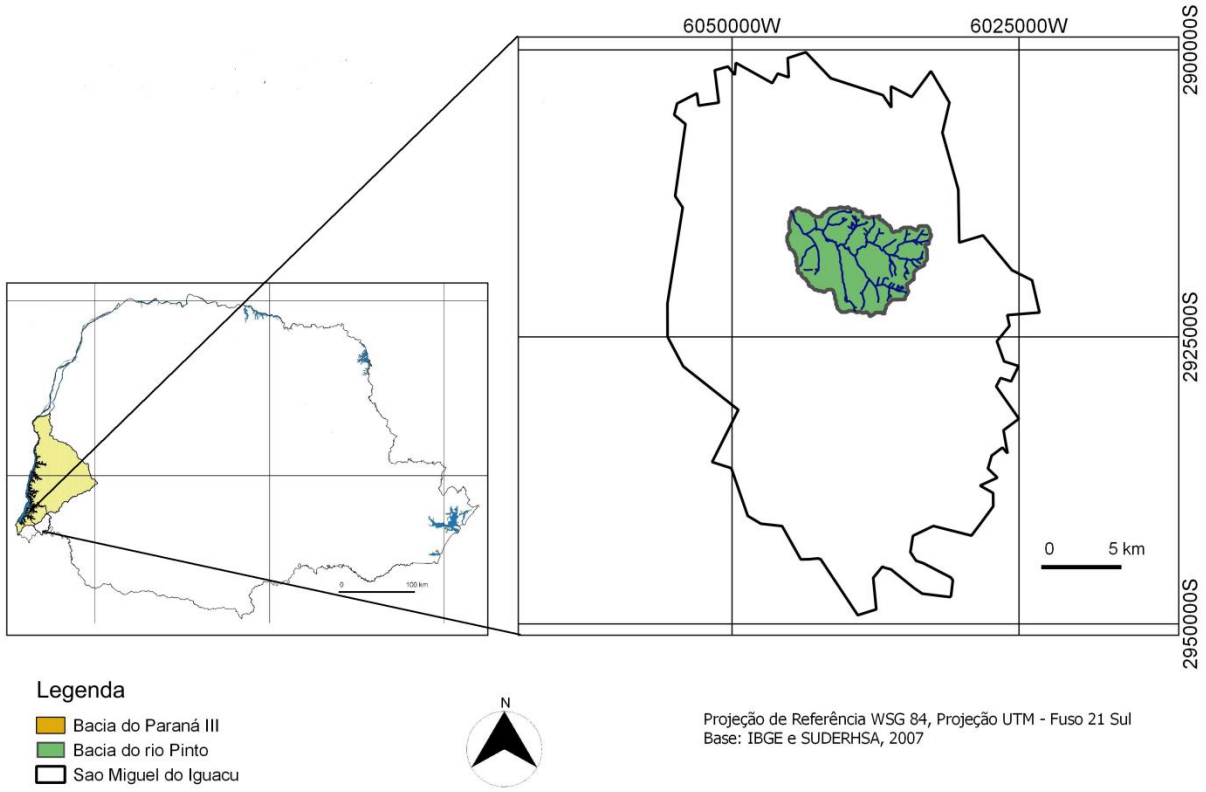


Figura 4 - Localização da bacia do rio Pinto no município de São Miguel do Iguaçu- PR.

Com área aproximada de 8.000 km², a Bacia do Paraná III – BPIII abrange 28 municípios. É composta pelos tributários da margem esquerda do Rio Paraná, tendo como principais afluentes os rios; São Francisco (nascente em Cascavel), Guaçu (nascente em Toledo), São Francisco Falso (nascente em Céu Azul) e Ocoí (nascente Matelândia). Possui como nível de base o reservatório formado a partir da implantação da Usina Hidroelétrica de Itaipu Binacional, localizada no município de Foz do Iguaçu (PAROLIN *et al.* 2010, PARANÁ, 2010).

São Miguel do Iguaçu está localizado na mesorregião Oeste do estado do Paraná, entre as coordenadas de 25º15'00" – 25º36'08"S e 54º06'42" - 54º23'13"O, possui área territorial de 851,42km^2, sendo que a área urbana possui aproximadamente 6 km^2. Da área do município, 5,3% são drenados para BPIII, o que correspondente a 461,6 Km^2 (PARANÁ, 2010). Conta com uma população de 25.769 habitantes. Destes, 16.485 vivem em meio urbano e 9.284 no meio rural, assim o grau de urbanização é de 63,97% (BRASIL, 2010).

O município Apresenta Índice de Desenvolvimento Humano (IDH-M) igual a 0,704, portanto, classificado como médio (IPARDES, 2015). A economia está baseada na atividade agropecuária (IPARDES, 2015). Na agricultura predomina a prática da agricultura temporária, com destaque para as culturas de soja e milho. Quanto ao efetivo de pecuária e aves, destaca-se a criação de galináceos, suínos e bovinos (IBGE, 2006).

4.2 MATERIAIS

Para obtenção das informações e dados, bem como, para a elaboração de todos os mapas temáticos, foi utilizado um conjunto de documentos cartográficos e SIGs, a saber:

a) Cartas topográficas em escala 1:50.000 com equidistância das curvas de nível de 20 metros, referente a Folha de Santa Terezinha de Itaipu/SG.21-X-D-III-3 MI – 2832/3 e Folha de Medianeira/SG.21-X-D-III-4 MI – 2832/3, formuladas pelo Ministério do Exército – Departamento de Engenharia e Comunicações, com cobertura da área realizada em 1995 e impressão em 1997;

b) Imagem SRTM SG-21-X-D, obtida por meio do satélite Landsat 7, com resolução espacial de 30 m, produto do projeto Brasil em Relevo, desenvolvido pela EMBRAPA (MIRANDA, 2005);

c) Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Paraná, no formato digital, elaborado e disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). Folha de identificação MI-510 e escala de 1:250.000.

d) Programa QGIS Desktop 2.8.2 Wien;

e) Programa Grass GIS 6.4.4;

f) Programa OpenLayers Plugin, versão 1.3.6;

g) Programa Google Earth PRO, versão 7.1.5.1557;

h) Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb da Agência Nacional das Águas (ANA).

4.3 CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS

A delimitação da bacia foi realizada com base no conceito proposto por Christofoletti (1980). Este procedimento foi realizado de forma automática no programa Grass GIS associado ao QGIS.

As medidas de área, perímetro, extensão total dos cursos d´água, comprimento axial, comprimento do talvegue e a extensão dos cursos d´água de cada ordem foram obtidas com o auxílio das ferramentas de medida do QGIS. Como extensão dos cursos d´água, adotou-se o conceito de Porto *et al.* (1999), ou seja, a soma total do comprimento dos cursos d´água.

Para comprimento axial, também foi adotado o conceito proposto por Porto *et al.* (1999): considera-se o comprimento do rio desconsiderando-se os meandros, ou seja, o comprimento que o rio adota quando há uma cheia.

Os fatores fisiográficos foram calculados conforme equações apresentadas na tabela 05.

O procedimento de classificação da hierarquia fluvial foi realizado manualmente. O mapa de hierarquia foi produzido por meio das ferramentas disponibilizadas pelo QGIS, com base no mapa rede de drenagem, anteriormente elaborado. Para classificação da hierarquia fluvial foi utilizado o método proposto por

Strahler (1952) e, para a ideia de magnitude da bacia hidrográfica, o método proposto por Shreve (1967).

Tabela 5 - Parâmetros e equações para determinar as características fisiográficas da bacia hidrográfica.

Parâmetro	**Equação**	**Em que:**	**Autor**
Índice de compacidade	$Kc = 0{,}28\frac{P}{\sqrt{A}}$	P: perímetro (Km) A: área de drenagem (Km^2)	PORTO *et al.* (1999)
Índice de conformação	$Kf = \frac{A}{L^2}$	A: área (Km^2); L: comprimento axial da bacia (Km).	PORTO *et al.* (1999)
Razão de elongação	$Re = \frac{A^{0,5}}{L^2} = 1{,}128.$	A: área da drenagem (Km^2); L: comprimento axial da bacia (Km).	MOSCA (2003)
Índice de circularidade	$Ic = \frac{12{,}57A}{P^2}$	A: área de drenagem (Km^2) P: perímetro (Km)	PORTO *et al.* (1999)
Índice entre o comprimento e a área da bacia	$ICO = \frac{\frac{P}{\pi}}{\sqrt{A}}$	P: perímetro (Km) A: área de drenagem (Km^2)	EPAGRI (1997)
Densidade dos cursos d´água	$Ds = \frac{N}{A}$	N: número de cursos d´água A: área da bacia	PORTO *et al.* (1999)
Densidade da drenagem	$Dd = \frac{T}{A}$	T: Comprimento total dos cursos d'água (Km); A: área da bacia hidrográfica (Km^2).	PORTO *et al.* (1999)
Relação de bifurcação	$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$	N_u: número de segmentos de determinada ordem; N_{u+1}: número de segmentos da ordem imediatamente superior	HORTON (1945)
Comprimento médio dos segmentos fluviais;	$L_m = \frac{L_u}{N_u}$	L_u: soma total do comprimento dos canais; N_u: número de segmentos de determinada ordem;	CHRISTOFOLETTI, (1980)
Relação média entre os comprimentos dos canais	$Rl_m = \frac{Lm_w}{Lm_{w-1}}$	Lm_w: comprimento médio dos canais de determinada ordem; Lm_{w-1}: comprimento médio dos canais de ordem imediatamente inferior.	CHRISTOFOLETTI, (1980)
Sinuosidade do curso d´água	$SIN_1 = \frac{Lp}{Lt}$ $SIN_2 = \frac{100(Lp-Lt)}{Lp}$	Lp: comprimento do canal principal (Km); Lt: comprimento do talvegue (Km).	PORTO *et al.* (1999)

4.4 ELABORAÇÃO DOS MAPAS BÁSICOS E TEMÁTICOS

Rede de drenagem

Para mapear, aferir e atribuir a nomenclatura da rede de drenagem foram utilizadas as cartas topográficas Folha de Santa Terezinha de Itaipu/SG.21-X-D-III-3 MI – 2832/3 e Folha de Medianeira/SG.21-X-D-III-4 MI – 2832/3.

Como vários cursos d´água não se encontravam identificados, optou-se por indicá-los com o nome da localidade em que nascem ou que estão próximos. Desse modo foram identificados, no mapa da drenagem da bacia do rio Pinto, os córregos Linha Piazza, Linha Minosso, Linha Bela Vista e Linha Brasil.

Para fins de conferência e correção, foram sobrepostos os mapas gerados com o limite da bacia, drenagem e hipsometria. Em seguida, procedeu-se a conferência com imagens de satélite do banco de imagens do Google Earth PRO, utilizando o complemento OpenLayers Plugin. Como resultado deste procedimento, verificou-se a precisão dos dados gerados.

Características de relevo: formas, hipsometria e declividade

Fazendo uso da imagem de satélite SRTM SG-21-X-D e das ferramentas disponibilizadas pelo SIG QGIS foi extraída a hipsometria e a declividade da bacia hidrográfica. Como produto, foram gerados os mapas de hipsometria com equidistância de 20m entre as curvas e o mapa de declividade, ambos com escala de 1: 50.000.

Este estudo faz parte de um projeto maior intitulado “Os solos e a declividade na Bacia do Paraná III”, desenvolvido pelo Grupo Multidisciplinar de Estudos Ambientais – GEA. Deste modo, foi utilizada como base, a metodologia proposta por Ross (1994), que é a adotada em todos os estudos que compõe o projeto mencionado. Ross (1994) hierarquiza a declividade em cinco categorias: muito fraca (0-6%), fraca (6-12%), média (12-20%), forte (20-30%) e muito forte (>30%).

Para a classificação do relevo, tomou-se como base as porcentagens de declividade predominantes e sua distribuição na bacia do rio Pinto, sendo utilizadas as classificação de relevo proposta por Embrapa (1979) e que consta na tabela 6:

Tabela 6 - Classificação do relevo em relação às classes de declividade conforme EMBRAPA (1979).

Declividade (%)	**Relevo**
0-3	Plano
3-8	Suave-ondulado
8-20	Ondulado
20-45	Forte-ondulado
45-75	Montanhoso
>75	Forte-montanhoso

Fonte: EMBRAPA (1979)

Para a observação a campo e classificação dos tipos de vertente predominantes na bacia do rio Pinto foi utilizando o método proposto por Ross (1992) considerando as unidades do 5º Taxon, conforme representação da figura 5.

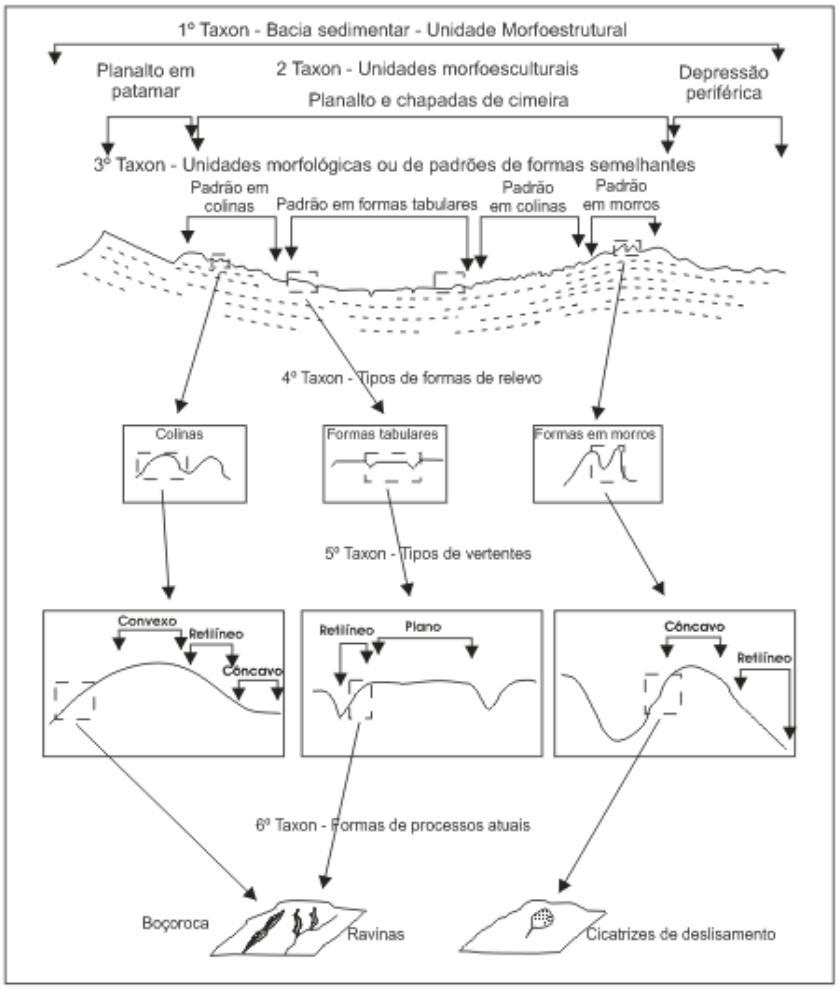


Figura 5 - Representação esquemática das Unidades Taxonômicas proposta por Ross (1992).

Solos

O “Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná” (EMBRAPA,1981), está representado em escala 1:250.000 e, diante da necessidade de maior detalhamento deste estudo, foi elaborado o mapa de solos da bacia hidrográfica na escala de 1:50.000.

Para obter e aferir os limites espaciais das classes de solo na bacia hidrográfica utilizou-se o método do caminhamento livre. Para a aplicação deste método foram utilizados: o julgamento, a fotointerpretação e interação entre declividade, a hipsometria, as formas das vertentes, a rede de drenagem e, as características de uso e ocupação, a fim de localizar os pontos de observação, geralmente em locais representativos, com intuito de que cada observação fornecesse o máximo de informações para o mapeamento e caracterização dos solos (EMBRAPA,1995).

Com o auxílio das cartas topográficas Folha de Santa Terezinha de Itaipu/SG.21-X-D-III-3 MI – 2832/3 e Folha de Medianeira/SG.21-X-D-III-4 MI – 2832/3, fotointerpretação de imagens de satélite para observar o uso e ocupação do solo referente ao ano de 2013 e das informações de hipsometria, declividade, foram realizadas aferições em campo para verificação e registro fotográfico em 14 pontos, em locais com diferentes padrões de drenagem, relevo e das vertentes, uso e ocupação do solo.

As observações em campo incluíram a realização de um percurso com 14 pontos de observação (Figuras 6 e 7). Nestes pontos foram observadas as classes de declividade, comportamento e forma das vertentes, as características do solo, além da densidade da drenagem.

Com base nas informações obtidas por meio do caminhamento livre e de observações em campo foi atualizado o mapa de solos da bacia hidrográfica do rio Pinto, com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2013), de forma manual e considerando método e os procedimentos propostos pela Embrapa (1995).

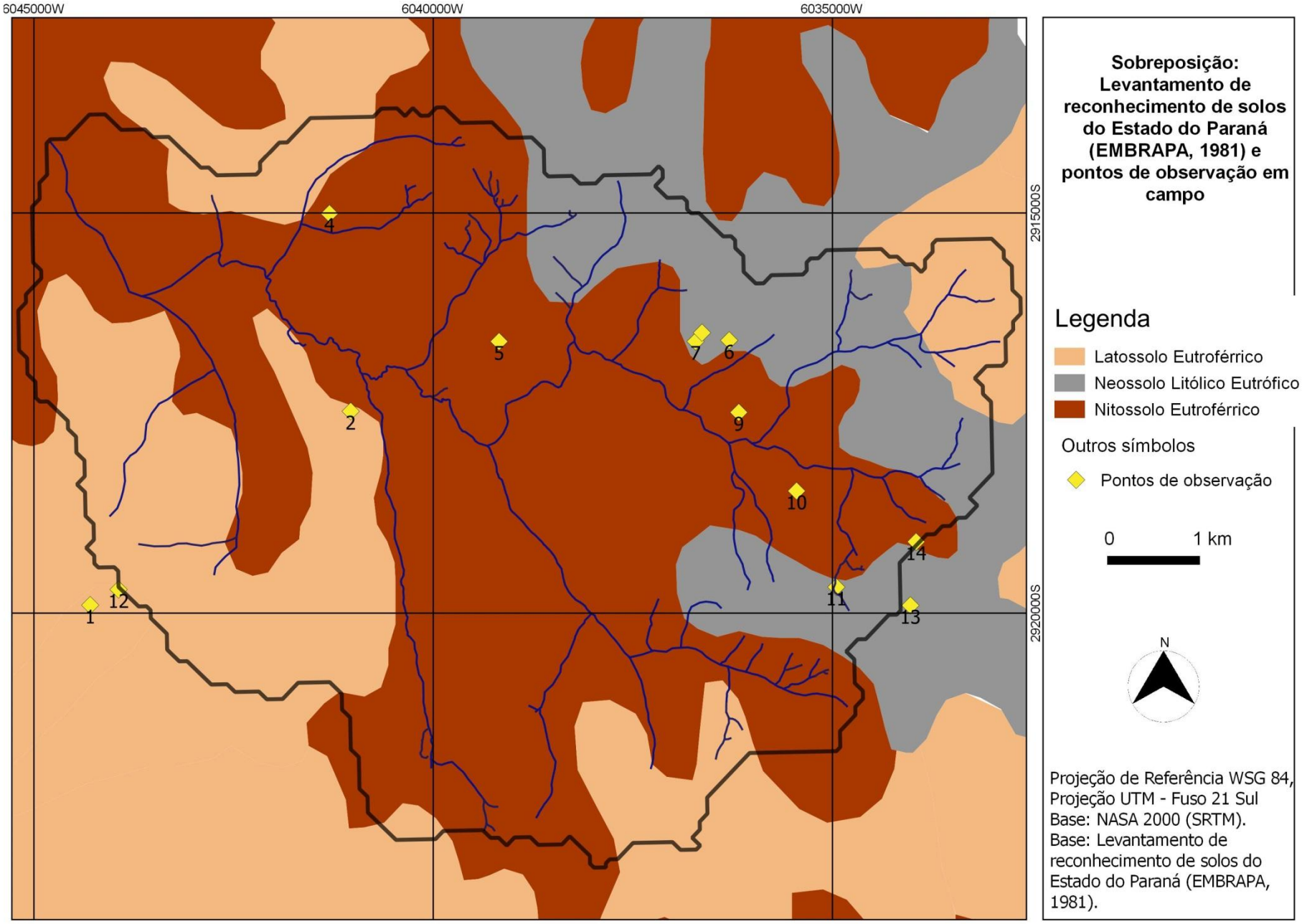


Figura 6 - Mapa de levantamento e reconhecimento dos solos do Estado do Paraná e pontos de amostragem a campo na bacia do rio Pinto.

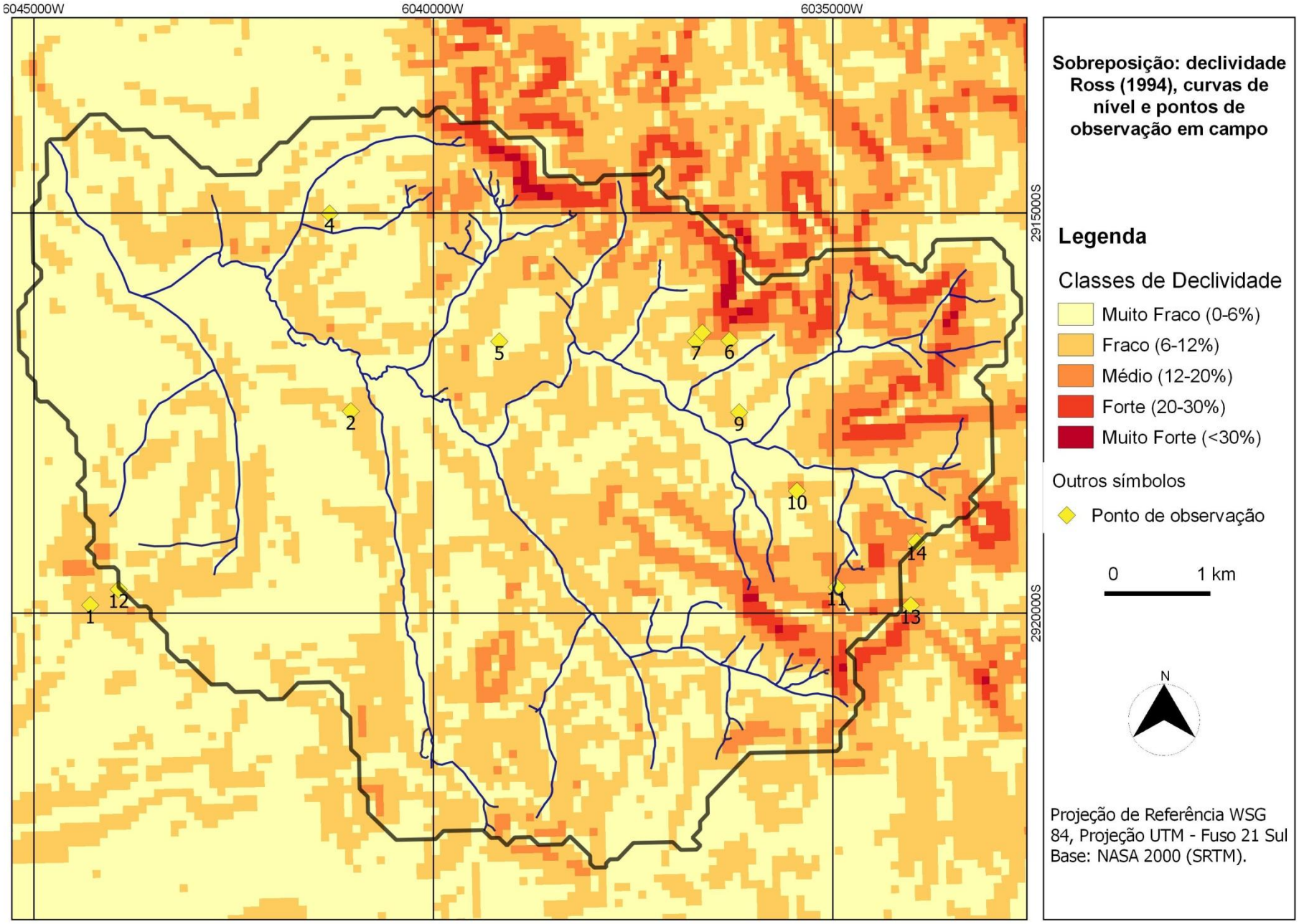


Figura 7 - Mapa de declividade e pontos de amostragem a campo na bacia do rio Pinto

Uso e ocupação do solo

Para auxiliar a interpretação visual das áreas de cobertura vegetal, e a classificação de uso e ocupação do solo, foram utilizadas imagens do ano de 2013 do banco de imagens de satélite de alta resolução espacial disponibilizado por Google Earth PRO. Estas permitiram delimitar com maior detalhe as nascentes e os limites das áreas de interesse, onde foram identificadas nove diferentes formas de uso e ocupação: agricultura, área urbana, avicultura ou suinocultura, vegetação natural (campestre), vegetação natural (mata), pastagem, pedreira e silvicultura.

Por meio do complemento OpenLayersPlugins, disponibilizado dentro do SIG QGIS, que viabiliza a abertura de imagens de satélite pelo programa Google Earth Pro, foi realizada a extração e o detalhamento da rede de drenagem e o mapa de uso e ocupação do solo, utilizando-se de técnicas de fotointerpretação. As áreas de uso e ocupação foram representadas por polígonos, enquanto que a rede de drenagem por linhas. Como resultado foi obtido o mapa de uso e ocupação do solo da bacia do rio Pinto em escala de 1:50.000.

As áreas correspondentes de cada uso e ocupação do solo, bem como, os percentuais relativos à área total da bacia foram calculados por meio do próprio SIG.

4.5 CÁLCULO DOS FATORES DA PERDA DE SOLO

A estimativa de perda de solo por erosão hídrica foi obtida por meio do modelo conhecido como a USLE, proposto por Wischmeier e Smith em 1978 conforme equação:

A= R*K*L*S*C*P onde:
A: perda de solo calculada por unidade de área, t/ha;
R: fator chuva: índice de erosão pela chuva, (MJ/ha.mm/ha);
K: fator erodibilidade do solo, t/ha/(MJ/ha.mm/ha);
L: fator comprimento do declive;
S: fator grau de declive;
C: fator uso e manejo do solo;
P: fator prática conservacionista.

Os fatores que compõe a USLE foram obtidos pelos métodos que seguem.

4.5.1 Fator R (Erosividade da chuva)

O fator erosividade (R) foi obtido pelo método proposto por Lombadi Neto e Moldenhauer (1992), onde se aplica a equação:

EI: 68,730 $(p^2/P)^{0,841}$ onde:

EI: média mensal do índice de erosão em MJ.mm/ha.h.ano;
p: precipitação média mensal em milímetro;
P: precipitação média anual em milímetro.

Para tanto, foram utilizados dados pluviométricos obtidos das séries históricas (20 anos) junto ao Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb.

O município de São Miguel do Iguaçu conta com sete estações pluviométricas distribuídas em seu território. Destas foi selecionada a estação fluviométrica nomeada como São Miguel do Iguaçu, de código 02554006 e operada pelo Instituto Águas do Paraná. Essa estação está localizada na latitude de 25º20´45" e longitude de 54º14´39" na área da bacia do rio Pinto.

Como este fator é calculado a partir da análise de um período de ao menos vinte anos, foram utilizados os dados entre 1991 e 2011. Não houve possibilidade de utilizar dados mais recentes, pois os dados pluviométricos referentes ao mês de janeiro, dos anos de 2012 e 2013 encontram-se indisponíveis, o que inviabiliza a aplicação correta do cálculo proposto pelo método adotado.

Para a interpretação da erosividade da chuva serão utilizadas as classes propostas por Carvalho (2008), conforme tabela 7.

Tabela 7 - Classes para interpretação de erosividade da chuva (Carvalho, 2008).

Intervalo ($MJ.mm.h^{-1}.ha^{-1}$	Interpretação da Erosividade
R<2.452	Baixa
2.452>R<4.905	Média
4.905>R<7.357	Média a Forte
7.357>R<9.810	Forte
R>9.810	Muito Forte

Fonte: Carvalho, 2008

4.5.2 Fator K (Erodibilidade do solo)

Os valores do fator K atribuídos aos solos classificados neste estudo foram baseados em índices estipulados por Tomazoni (2003) e Caviglione *et. al* (2010). São dados obtidos a partir de medidas experimentais realizadas em monitoramento de campo ou determinados por meio de modelos matemáticos, que utilizam com variáveis características físicas e químicas do solo.

As classes de solo estudadas pelos autores citados apresentam características físicas e morfológicas semelhantes às encontradas na bacia do rio Pinto.

Deste modo, serão atribuídos os valores de K para cada classe de solo conforme tabela 8.

Tabela 8 - Classes de solo e valor para o Fator K.

Classe de solo	**Valor para Fator K**
Nitossolo Vermelho	0,02
Latossolo Vermelho	0,03
Cambissolo Háplico	0,05
Neossolo	0,10

Fonte: Adaptado de Tomazoni (2003) e Caviglione *et al*. (2010).

Para a análise da erodibilidade do solo serão utilizadas as classes propostas por Manningel et al. (2012), conforme tabela 9.

Tabela 9 - Classes de erodibilidade do solo conforme Manningel *et al.* (2012).

Classificação	Classe definida $Mg.ha.h.ha^{-1}.MJ^{-1}.mm^{-1}$
Extremamente alto	>0,0600
Muito alto	0,0450 a 0,0600
Alto	0,0300 a 0,0450
Médio	0,0150 a 0,0300
Baixo	0,0090 a 0,0150
Muito baixo	<0,009

Fonte: Adaptado de Mannigel *et. al*. (2002).

4.2.3 Fator LS (comprimento e grau do declive)

Para a obtenção do Fator L (comprimento de rampa) optou-se pelo método do retângulo equivalente modificado por Villela & Mattos (1975) e expresso na equação:

L= A/4l onde:

L: fator comprimento de rampa e/ou extensão média do escoamento sobre os terrenos em metros;
A: área da bacia em metros quadrados;
l: somatório do comprimento de todos os cursos d'água da bacia em metros.

Este método tem como resultado a distância média em que a água das chuvas deveria percorrer até o ponto mais próximo ao leito dos rios. Leva-se em consideração a área da bacia (A) como um retângulo, onde, no centro, passa um rio de comprimento l, representado pelo somatório do comprimento de todos os cursos d'água que integram a rede de drenagem da bacia.

Baptista (1997) alerta que é importante à definição da escala adequada de trabalho, pois, dependendo da escolha, maior ou menor será o grau de detalhamento, o que resultará na obtenção de valores diferenciados de comprimento de rampa. Para tanto, optou-se por subdividir a bacia do rio Pinto em sub-bacias, visando maior precisão. Este procedimento foi realizado de forma manual dentro do SIG QGIS Desktop 2.8.2 Wien, por meio da observação dos dados previamente elaborados de delimitação da bacia, hipsometria, sobreposição da imagem SRTM SG-21-X-D e abertura de imagens de satélite por meio do complemento OpenLayers Plugin.

Delimitou-se os divisores de água internos da bacia hidrográfica, de modo a subdividir a bacia do rio Pinto em vinte e nove sub-bacias.

Realizada a subdivisão em sub-bacias, partiu-se para a aplicação do algoritmo e a obtenção de LS, já que S (declividade), já havia sido determinada para a área de estudos conforme descrito no item 5.4. Foi adotado o método proposto por Bertoni e Lombardi Neto (2014), expresso pela equação:

LS: $0{,}00984\ C^{0,63}\ D^{1,18}$ onde:

LS: fator topográfico;

C: comprimento da rampa em metros;

D: grau de declividade em porcentagem.

A aplicação do algoritmo foi realizada utilizando a ferramenta calculadora raster, dentro do SIG QGIS Desktop 2.8.2 Wien.

4.5.4 Fator C (prática de cultura)

Para o cálculo do fator prática de cultura (C) foram utilizados como base os dados de estudos reunidos e sistematizados por Gómez e Dario (2012), optando-se pelos valores obtidos por Sivertum (2003). Tais valores abrangem a maioria das classes de ocupação do solo presente na área de estudo conforme tabela 10.

Tabela 10 - Valor de C para diferentes usos do solo.

Valor de C	Uso do solo	Fonte
0,15	Solo agrícola exposto	SILVERTUN, 2003
0,1	Culturas anuais	SILVERTUN, 2003
0,075	Culturas perenes	SILVERTUN, 2003
0,05	Plantio direto	SILVERTUN, 2003
0,03	Áreas urbanas	SILVERTUN, 2003
0,005	Florestas	SILVERTUN, 2003
0,04	Florestas manejadas	SILVERTUN, 2003
0,01	Gramíneas	SILVERTUN, 2003

Fonte: Adaptado de Gómez e Dario (2012).

Para complementação das classes de uso e ocupação dos solos foram utilizados os valores de C propostos por Silva (2004): Água (0,0), mineração (1,0) e pastagem (0,25).

Para a atribuição do valor do fator C na área da bacia foi utilizado o mapa de uso e ocupação do solo previamente elaborado. Para melhor representação da distribuição dos dados foi gerado um mapa correspondente ao fator manejo de culturas, na escala de 1:50.000.

4.5.5 Fator P (Práticas conservacionistas)

Para a aplicação do fator P foi utilizado os valores apresentados por Bertoni e Lombardi Neto (2014), baseados no estudo realizado por Marques, Bertoni e Barreto (1961), conforme tabela 11.

Tabela 11 - Valores do Fator P para algumas práticas de proteção e manejo do solo.

Práticas	Valor de P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto, 2014.

Para áreas terraceadas o valor adotado para P deverá ser o mesmo do plantio em contorno, pois reduzindo o comprimento em declive, reduzem-se as perdas de solo pela raiz quadrada do comprimento (BERTONI & LOMBARDI NETO, 2014).

Para a atribuição do valor P na área de estudos, utilizou-se o complemento OpenLayers Pluguin dentro do SIG QGIS, que viabiliza a abertura de imagens de satélite disponibilizadas pelo programa Google Earth Pro. Foram utilizadas imagens do ano de 2013 do banco de imagens de satélite de alta resolução espacial. E, através de técnicas de fotointerpretação foram identificadas as práticas conservacionistas na área de estudo, sendo produzido um mapa para melhor visualização da distribuição dos dados, na escala de 1:50.000.

5. RESULTADOS

Nesse item são apresentados os resultados referentes às características fisiográficas; de área e métricas; fator forma e rede de drenagem; índice de sinuosidade; hierarquia fluvial; hipsometria; relevo, declividade, solos, uso e ocupação. Também são apresentados os resultados dos cálculos dos fatores relacionados à estimativa de perda de solo na bacia do rio Pinto.

5.1 DADOS FISIOGRÁFICOS DA BACIA DO RIO PINTO

A atividade agropecuária, predominam na bacia do rio Pinto, beneficiando-se das características favoráveis de clima, recursos hídricos abundantes, bem como, solos e relevo com características propícias.

O substrato geológico da bacia do rio Pinto é sustentado por rochas da bacia sedimentar Fanerozóica do Paraná, na unidade morfoescultural denominada Terceiro Planalto Paranaense, subunidade Planalto de Foz do Iguaçu (MAACK, 2012; Santos *et. al*., 2006).

Predominam neste compartimento, vertentes convexas, topos aplainados e os vales em “V” aberto, assim como as classes de declividade de 0-12% (SANTOS *et. al.,* 2006).

Em relação à altimetria, o Planalto de Foz do Iguaçu apresenta cotas que variam de 120m a 540m em relação ao nível médio do mar (SANTOS *et. al.,* 2006).

A constituição geológica é relativamente simples e integra a Formação Serra Geral ou Trapp do Paraná. Os derramamentos estão arranjados em lençóis eruptivos básicos com arenitos eólicos intercalados originados na Era Mesozóica, no período Triássico Superior (MAACK, 2001).

O clima é caracterizado como Cfa (clima temperado úmido, com verão quente), com média anual de 21,4ºC, onde o mês mais quente é janeiro com média de 25,7ºC e o mais frio é julho, com média de 16ºC. Caracteriza-se como sempre úmido (KÖPPEN, 1948; EMBRAPA, 2003).

Analisando os valores registrados de precipitação no período de 1991 a 2011 na bacia do rio Pinto, observa-se que a precipitação anual oscilou entre 1.120,7mm

(2008) e 2.263,2mm (1998), sendo a média pluviométrica anual de 1.739,48mm. Considerando as médias pluviométricas mensais neste mesmo período, observa-se que o mês mais chuvoso foi outubro com 246,89mm e menos chuvoso foi agosto com 86,2mm (Tabela 12).

Observa-se no período de 1991-2011 distribuição irregular na pluviosidade anual e também, embora o clima seja classificado como úmido, a precipitação média nos meses do inverno é consideravelmente menor quando comparada as outras estações do ano (ANA, 2015).

Tabela 12 - Média pluviométrica mensal e anual na bacia do rio Pinto no período de 1991 a 2011.

Mês	Média pluviométrica mensal (mm)	Ano	Pluviosidade anual (mm)
Janeiro	152,04	1991	1.471,6
Fevereiro	139,43	1992	2.032,0
Março	119,20	1993	**1.793,9**
Abril	137,02	1994	1.752,0
Maio	180,49	1995	1.453,1
Junho	130,45	1996	1.924,5
Julho	96,97	1997	1.983,6
Agosto	**86,23**	1998	2.263,2
Setembro	134,30	1999	1.226,0
Outubro	**246,89**	2000	1.733,3
Novembro	145,61	2001	1.391,8
Dezembro	170,89	2002	1.908,0
		2003	1.809,5
		2004	1.436,5
		2005	1.869,1
		2006	1.186,3
		2007	1.442,1
		2008	**1.120,7**
		2009	1.673,7
		2010	1.711,0
		2011	1.421,5

Fonte: ANA (2015).

Os dados da tabela 13, permitem observar que eventos de maior pluviosidade e possivelmente eventos extremos ocorrem na bacia do rio Pinto em anos neutros, sob o efeito de La Niña, mas, predominantemente sob o efeito do fenômeno El Niño, corroborando com Waltrick (2010) e Araújo (2012).

Tabela 13 - Meses de maior pluviosidade na bacia do rio Pinto no período 1991-2011.

Mês/ano	Total (mm)	Máxima (mm)	Total de dias chuvosos	Ocorrência de El Niño/La Ninã/Neutro
05/1992	490,1	125,8	14	Neutro
05/1993	342,8	151,1	8	Neutro
10/1996	467,1	97,6	15	La Ninã
12/1996	391,3	58,5	13	La Niña
04/1998	330,7	77,4	13	El Niño
10/1998	359,5	60,8	16	La Niña
05/2002	447,7	97,9	11	El Niño
10/2002	322,7	75	17	El Niño
11/2002	332,3	62,3	12	El Niño
12/2003	418,6	110,2	12	El Niño
05/2005	375,3	104,5	8	El Niño
10/2005	422,3	80	15	El Niño

Fonte: ANA (2015).

Segundo WALTRICK (2010), os meses de abril, maio, junho e novembro são os mais afetados pelo aumento na erosividade das chuvas de períodos de El Niño.

Pode-se constatar que os meses de maio e outubro, são os meses de maior média pluviométrica no período 1991-2011 e os mais afetados com as maiores pluviosidades. Na região do rio Pinto, o mês de maio é caracterizado na agricultura como um período pós-colheita da cultura de soja, em que se realiza o plantio de plantas de cobertura ou o solo permanece exposto. Já no mês de outubro, o plantio da cultura de soja já aconteceu e a planta está em estádio inicial de desenvolvimento (V3 ou V4).

As características geológicas, juntamente com as particularidades do relevo, características do clima, tempo e atividades biológicas contribuíram para o predominante desenvolvimento de solos profundos, bem drenados e que por derivarem de basalto, apresentam elevada concentração da fração de argila em sua composição física. Assim, a classe de solo predominante é do Latossolo Vermelho em áreas de relevo plano a suavemente ondulado (SANTOS *et al*. 2006), ocorrendo também dos Nitossolos Vermelhos, Gleissolos, Neossolos Litólicos e Cambissolos (EMBRAPA/IAPAR, 1984).

A vegetação nativa é denominada como mata pluvial-subtropical (MAACK, 2012). Parte do Parque Nacional do Iguaçu, um dos maiores e mais importantes resquícios de vegetação nativa local está localizado no sul do município de São Miguel do Iguaçu, ocupando 9.100ha de área (SÃO MIGUEL DO IGUAÇU, 2004). Já na bacia do rio Pinto, os maiores fragmentos de vegetação nativa são de mata ciliar e associados às áreas de declividade acentuada.

5.1.1 Características da drenagem

A figura 8 representa a drenagem da bacia do rio Pinto, bem como, a localização da área urbana do município de São Miguel do Iguaçu. Fazem parte da bacia os córregos: Amarildo, Linha Piazza, Mico, Santos Reis, Linha Bela Vista, Linha Minonso e Linha Brasil e; o rio Pinto. A maioria (75,38%) dos cursos d´água que compõe a rede de drenagem é perene.

Os valores dos índices das características métricas e de área da bacia (Tabela 14), são básicos para os cálculos das demais características fisiográficas.

Tabela 14 - Características fisiográficas métricas da bacia do rio Pinto.

Atributos	Valor do índice
Área (A)	66,48 Km^2
Perímetro (P)	38,85 Km
Comprimento Axial (L)	14,40 Km
Comprimento do talvegue	10,47 Km
Soma total do comprimento dos canais (T)	76,12 Km
Número total de canais (N)	65

Nota: Dados obtidos a partir das equações propostas por PORTO et al. (1999).

A bacia do rio Pinto possui 66,48Km^2 de área, o que corresponde a 7,7% da área total do município de São Miguel do Iguaçu.

Com a análise do sistema de drenagem (Figura 10 e Tabela15), observa-se que conforme a classificação proposta por Strahler (1952), a bacia do rio Pinto é classificada como de 4ª ordem, isto é, apresenta baixo grau de ramificação e o curso principal é o córrego Mico.

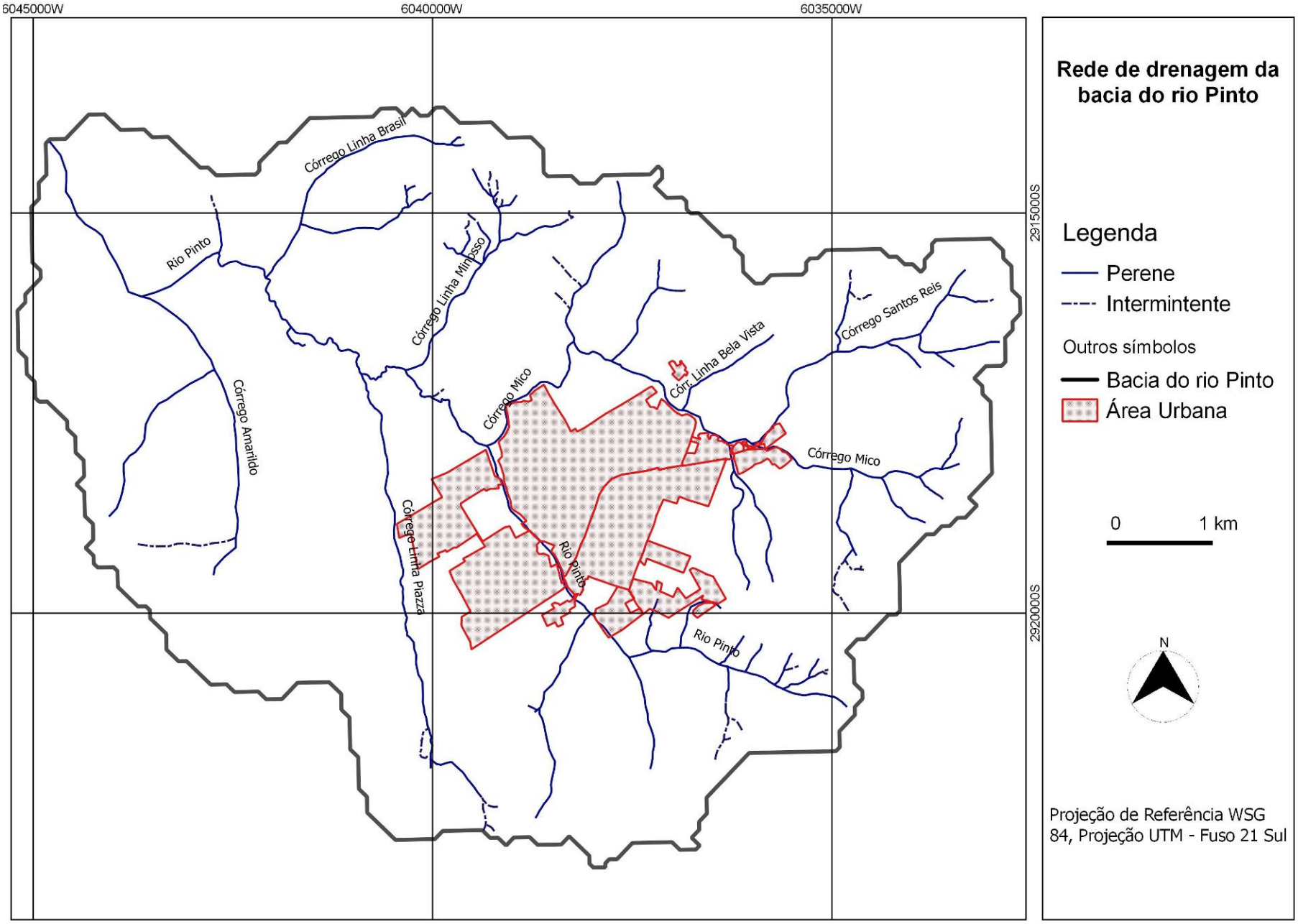


Figura 8 - Mapa da rede de drenagem da bacia do rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR.

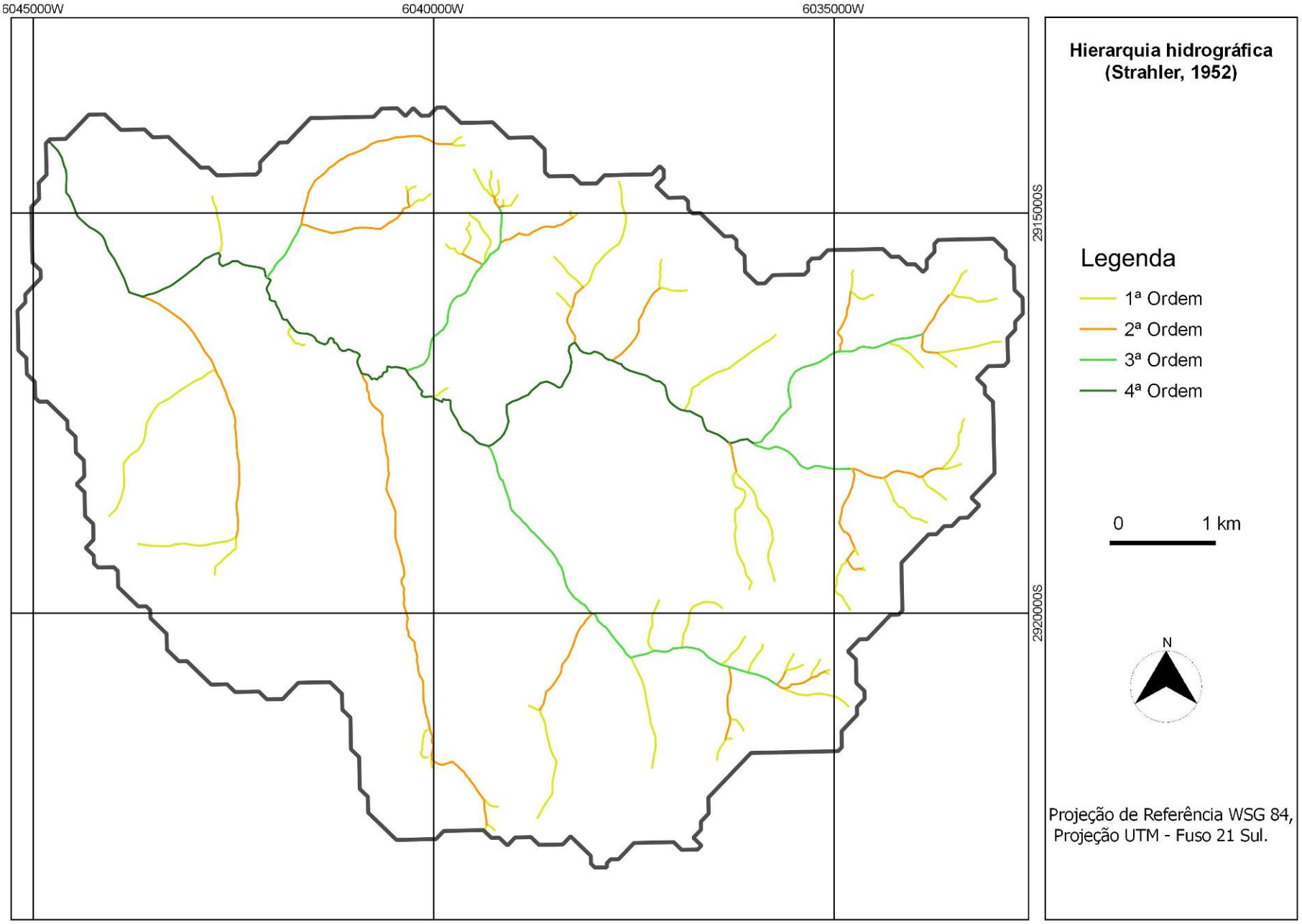


Figura 9 - Hierarquia dos canais fluviais da bacia do rio Pinto, conforme classificação de Strahler (1952)

É comum às pequenas bacias hidrográficas apresentarem 4ª ou menor ordem. Considera-se que, quanto mais ramificada for à rede de drenagem, mais eficiente será o sistema de drenagem (TONELLO *et al.,* 2006).

A bacia possui padrão de drenagem dendrítico. Sua magnitude de drenagem é de 65 e acordo com parâmetros estabelecidos por Shreve, representando o total de canais de nascentes da bacia, ou seja, o número de canais de primeira ordem obtidos na classificação de Strahler (1952).

A tabela 15 apresenta informações complementares sobre a hierarquia fluvial da bacia, bem como a relação de bifurcação, o comprimento médio dos canais e a relação média entre o comprimento dos canais de determinada ordem.

Tabela 15 - Hierarquia fluvial (Strahler, 1952) e índices relacionados - bacia do rio Pinto.

Ordem	Nº de canais	Extensão (Km)	Relação de bifurcação	Comprimento médio dos canais (Km)	Rel. média entre o comp. dos canais de determinada ordem
1º Ordem	65	29,09	-	0,45	-
2º Ordem	19	22,97	3,42	1,21	2,70
3º Ordem	5	11,66	3,8	2,33	1,93
4º Ordem	1	12,4	5	12,4	5,32

Observou-se que predominam os canais de primeira e segunda ordem e o número de canais diminui quando comparados com os de ordem anterior. O comprimento médio dos canais aumenta à medida que aumenta a ordem em que se enquadram. Os canais de 1º ordem apresentam comprimento médio de 450m. Os de 2ª ordem, 1.210m de média, sendo 2,6 vezes maiores que os de 1ª ordem; os de 3ª ordem apresentam 2.330m em média, enquanto o canal de 4ª ordem possui 12.400m, tendo 5 vezes o tamanho médio dos de 3ª ordem

Ao analisar os índices relação de bifurcação (Tabela 15) verificam-se valores maiores que 3, o que indica que a bacia é dissecada. É possível verificar que o valor da relação de bifurcação apresenta-se maior conforme as ordens hierárquicas aumentam o que indica que os cursos fluviais de ordem mais elevada fluem em áreas com maior dissecação.

Os índices relacionados ao fator forma da bacia hidrográfica, bem como as características da rede de drenagem e a sinuosidade dos cursos d´água também estão diretamente relacionados ao escoamento superficial e eficiência do sistema de

drenagem. Na tabela 16 encontram-se os valores encontrados para essas características na a bacia do rio Pinto

Tabela 16 - Características fisiográficas relacionadas ao fator forma e a rede de drenagem.

Característica fisiográfica	Valor do índice
Índice de compacidade (Kc)	1,33
Índice de conformação (Kf)	0,32
Razão de elongação (Re)	0,64
Índice de circularidade (Ic)	0,55
ICO	1,52
Densidade de cursos d´água (Ds)	0,98
Densidade da drenagem (Dd)	1,15
Sinuosidade do curso d´água (1) (SIN 1)	1,38
Sinuosidade do curso d´água (2) (SIN 2)	27,29%

Nota: Dados obtidos a partir das equações propostas por PORTO *et al.* (1999), MOSCA (2003), EPAGRI (1997).

Um índice de compacidade igual a 1 (um) corresponderia a uma bacia circular. Constata-se em relação ao Kc (1,33), que a bacia do rio Pinto possui tendência mediana a enchente conforme Silva & Mello (2008).

O valor de Kf (0,32), que relaciona a forma da bacia à forma de um quadrado, sugere que a bacia não está sujeita a enchentes. Isso significa que a bacia do rio Pinto tem um número significativo de tributários atingindo o rio principal em diferentes pontos, tornando-a favorável ao escoamento. A baixa suscetibilidade a enchentes ainda é evidenciada pelos valores obtidos para Re, Ic e ICO (Tabela 16).

O valor encontrado para Ic é superior a 0,51, contudo, é distante de 1 (um). O valor encontrado para Re (0,64) não é elevado e o ICO superior a 1,0. Os valores desses índices indicam que a rede de drenagem tende a ser alongada. E, quanto mais alongada for a bacia, menor o risco de enchente.

Para verificar se a bacia hidrográfica é bem servida quanto à rede de canais, utilizou-se o cálculo da densidade dos cursos d´água. As bacias com alta densidade hidrográfica possuem maior capacidade de gerar canais, independentemente de suas extensões (VEIGA et al. 2013). O valor de Ds (0,98) indica que a bacia é bem drenada, possuindo praticamente um canal fluvial a cada quilômetro quadrado.

A densidade da drenagem possui relação inversa à densidade dos cursos d´água, ao passo que, quanto mais canais existirem, menos extensos eles serão. O índice obtido para densidade da drenagem (1,15) permite concluir que a drenagem na bacia é regular.

Os valores de SIN 1 e SIN 2 (Tabela 16) indicam que o canal principal tende a ser retilíneo. Os valores encontrados para sinuosidade dos cursos d´água corroboram com indicativo de baixa tendência a enchentes a que bacia do rio Pinto está sujeita. Isto porque a velocidade de fluxo da água em cursos retilíneos tende a ser maior do que em cursos sinuosos.

Mesmo diante do indicativo de baixa tendência a enchentes, estas eram registradas com alguma frequência em áreas junto ao curso ao seguimento urbano do córrego Mico e do rio Pinto.

Farias & Marques (1999) colocam que em bacias hidrográficas desmatadas, como é o caso da bacia do Rio Pinto, apenas 1 a 20% dos sedimentos que entram nos canais de pequena ordem sejam removidos, o restante entulha as calhas. Isso aumenta o nível topográfico do fundo dos vales, o que diminui o nível do lençol freático, resultando na extinção destes canais. O desaparecimento dos canais de menor ordem favorece enchentes, pois, o volume de chuva continua o mesmo e a água das chuvas chega mais rapidamente ao fundo dos vales, principalmente nas encostas urbanizadas. O rio principal passa a receber maior carga de sedimentos (e também lixo), que se depositam em sua calha, reduzindo o espaço de fluxo de água

No período de 07 à 09/06/2014, em decorrência das chuvas que totalizaram 280 mm na bacia do rio Pinto, o prefeito do município de São Miguel do Iguaçu declarou situação de emergência por meio do Decreto nº 179/2014[1]. Tal atitude foi tomada diante das enchentes registradas nos rios Pinto e Mico que atravessam o perímetro urbano da cidade (Figura 10). O assoreamento dos canais e a ocupação urbana e rural ao longo das margens dos cursos fluviais são os impactos diretamente relacionados a esse fenômeno (SÃO MIGUEL DO IGUAÇU, 2014).

Nesse mesmo ano, a prefeitura municipal conseguiu, junto ao Instituto Ambiental do Paraná - IAP, a liberação para limpar e desassorear o leito dos rios Pinto e Mico. Desse modo, foi realizada a dragagem de cerca de 3,5Km dos rios considerados assoreados (Figura 11).

No ano de 2015, após o desassoreamento, foi solucionado o problema de 186 famílias ribeirinhas atingidas pelas cheias dos rios Pinto e Mico, desde a década de 1990. O resultado positivo do desassoreamento foi verificado após o período chuvoso do mês de julho de 2015, quando, por exemplo, em um único dia (10/07),

[1] Disponível em: http://www.publicacoesmunicipais.com.br/eatos/#visualizador; p=13524;src=s

foram registrados 115,49mm de precipitação, sem ocorrência de enchentes (São Miguel do Iguaçu, 2015).

Fonte: São Miguel do Iguaçu, 2014.

Figura 10 - Áreas de alagamento ao longo dos cursos dos rios Pinto e Mico em junho de 2014.
Nota: A fotografia A retrata a situação de alagamento no trecho urbano do córrego Mico, enquanto as figuras B, C e D ilustram a situação de alagamento em trechos urbanos do rio Pinto.

Foto: John Bragagnollo. Fonte: São Miguel do Iguaçu, 2014.

Figura 11 – Fotografias do desassoreamento dos rios Pinto e Mico

Exemplo de outra situação, na segunda quinzena de fevereiro do ano de 2016, durante um curto período chuvoso, foi registrada precipitação de cerca de 300mm em alguns pontos da bacia do rio Pinto e em bacias hidrográficas próximas com características geoambientais semelhantes. Nesse período, no setor rural, o

solo encontra-se sob uso predominante da cultura de milho em estádio de desenvolvimento inicial.

Embora sob solos argilosos, com prática do plantio em contorno e utilização do terraceamento com uso de murundus em parcela significativa das áreas destinadas a agricultura temporária, pode-se observar na figura 12 a ocorrência da erosão hídrica e seu efeito no transporte de sedimentos.

Figura 12 - Registro fotográfico após evento chuvoso em 23/02/2016 em São Miguel do Iguaçu.
Nota: As fotografias A, B e C ilustram as situações de alagamento em lavouras de milho. As fotografias D, E e F ilustram os depósitos de sedimentos que surgiram como resultado da erosão laminar. A fotografia G ilustra a magnitude com que a erosão laminar ocorreu em determinadas áreas, chegando a formar sulcos no sentido do plantio em contorno e contrário ao sentido da vertente.

O rio Pinto é afluente do rio Ocoí, que faz parte do reservatório da Usina Hidroelétrica de Itaipu, onde depósitos de sedimentos causam prejuízos diretos. À medida que o assoreamento aumenta, diminui a capacidade de armazenamento do reservatório; a influência do remanso aumenta a montante causando enchentes; os depósitos do leito reduzem o volume morto e, os sedimentos que chegam à barragem, e passam pelo vertedouro e condutos, causam abrasão e danificam peças. À jusante, por meio da ação da água e modificações do regime de vazões, pode ocorrer erosões de leito e margens do canal ou mesmo grandes escavações, que podem evoluir à montante e prejudicar a estrutura da barragem (CARVALHO *et. al.,* 2000).

5.1.2 Características do relevo

Na bacia do rio Pinto, as áreas mais elevadas concentram-se na região nordeste da bacia, atingindo altitude máxima de 430m na Serra do Mico (Figura 13). As áreas de menor altitude concentram-se na região da confluência dos rios Pinto e Ocoí, chegando a 220m. O desnível altimétrico é de 210m, porém, 77% da área compreendida pela bacia apresenta altitude inferior a 300m. A maioria das nascentes está localizada próxima às cotas de 300m de altitude ou mais elevadas.

De modo geral o relevo na bacia do rio Pinto pode ser classificado como suave ondulado, levando-se em consideração as classes propostas pela EMBRAPA (1979), uma vez que, predominam declividades classificadas entre 0 e 8%.

Na bacia do rio Pinto as declividade variam de muito fraca a muito forte, conforme a classificação proposta por Ross (1994) (Figura 14). Predominam as declividade muito fraca e fraca (0 a 12%). As declividades classificadas como média, forte e muito forte (12 -30%) abrangem os setores a sudeste e ao norte da bacia, em áreas acima de 300m de altitude, alcançando as cotas de 430m, acompanhando os interflúvios estreitos.

Conforme as características de declividade, altimetria e as características das vertentes verificadas a campo, o relevo da bacia pode ser compartimentado em três setores, conforme pode ser observado na figura 15.

O compartimento 1 (Figura15), está compreendido entre as margens esquerda do córrego Linha Piazza (S) Pinto e a linha do interflúvio a oeste do

compartimento. Possui área de 17,95 km^2, o que representa 27% da área total da bacia hidrográfica.

Nesse compartimento as vertentes são longas, com segmentos retilíneos a ligeiramente convexos, predominando relevo plano a suave ondulado e declividades entre 0 e 8%. Quanto a altimetria, a menor cota é de 230m e a maior de 320m, havendo um desnível altimétrico de 90m.

O compartimento 2 abrange desde a margem direita do córrego linha Piazza (S) e do rio Pinto até a sua Foz (O), tendo como limite as áreas próximas a cota altimétrica de 300m. É o maior compartimento do relevo com área de 34,11 km^2, o que representa 51,31% da área total da bacia hidrográfica. Esse compartimento é marcado por vertentes mais curtas em relação ao compartimento 1, poucos topos estreitos, relevo suave ondulado a ondulado, apresentando declividades predominantes entre 3 e 12%. Quanto à altimetria, a menor cota é de 230m e a maior 340m, apresentando desnível altimétrico de 110m.

Abrangendo áreas próximas a cota altimétrica de 300m até os interflúvios da bacia hidrográfica pode-se identificar o compartimento 3. Possui 14,42 km^2 ou 21,69% da área total, é o menor compartimento de relevo da bacia hidrográfica. Apresenta vertentes curtas e topos estreitos em que predominam as declividades de 12 a 30%, o que caracteriza o relevo como ondulado a forte ondulado. É neste compartimento que se encontram as maiores altimetrias da bacia, alcançando a cota de 430m. Com a cota altimétrica mínima de 280m, apresenta desnível altimétrico de 150m.

Conforme as características de declividade, altimetria e as características das vertentes verificadas a campo, o relevo da bacia pode ser compartimentado em dois setores, conforme pode ser observado na figura 15.

O compartimento 1 possui área de 51,9km^2, o que representa 78,06% da área total da bacia hidrográfica.

Nesse compartimento predominam vertentes longas, com segmentos retilíneos a ligeiramente convexos, com relevo plano a suave ondulado e declividades entre 0 e 8%, havendo locais com vertentes ligeiramente mais curtas, poucos topos estreitos, onde a declividade chega a 12%, caracterizando o relevo com o suave ondulado a ondulado. Quanto a altimetria, variam de 230m a 340m, havendo um desnível altimétrico de 110m.

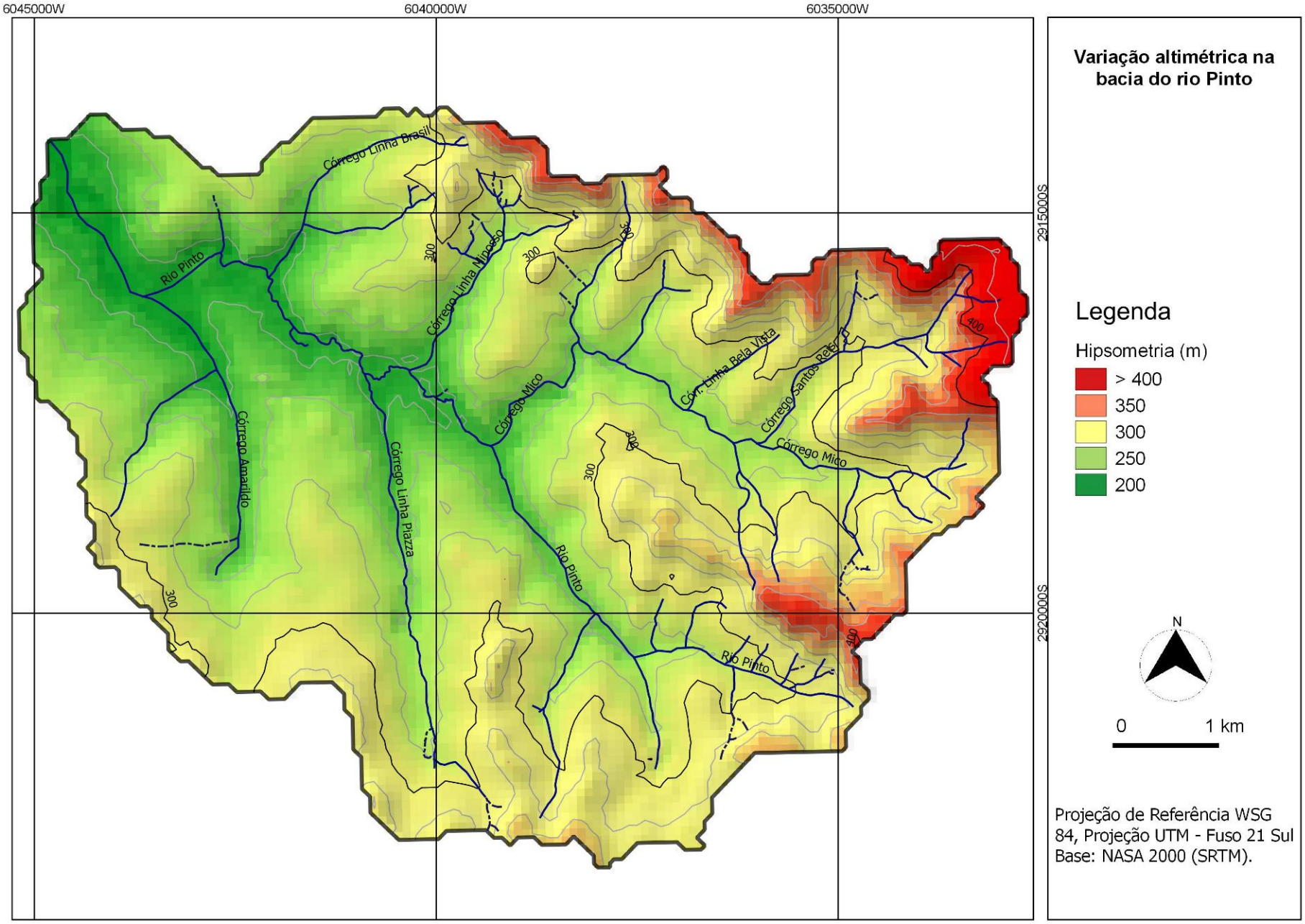


Figura 13 - Mapa da variação altimétrica na bacia do rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR.

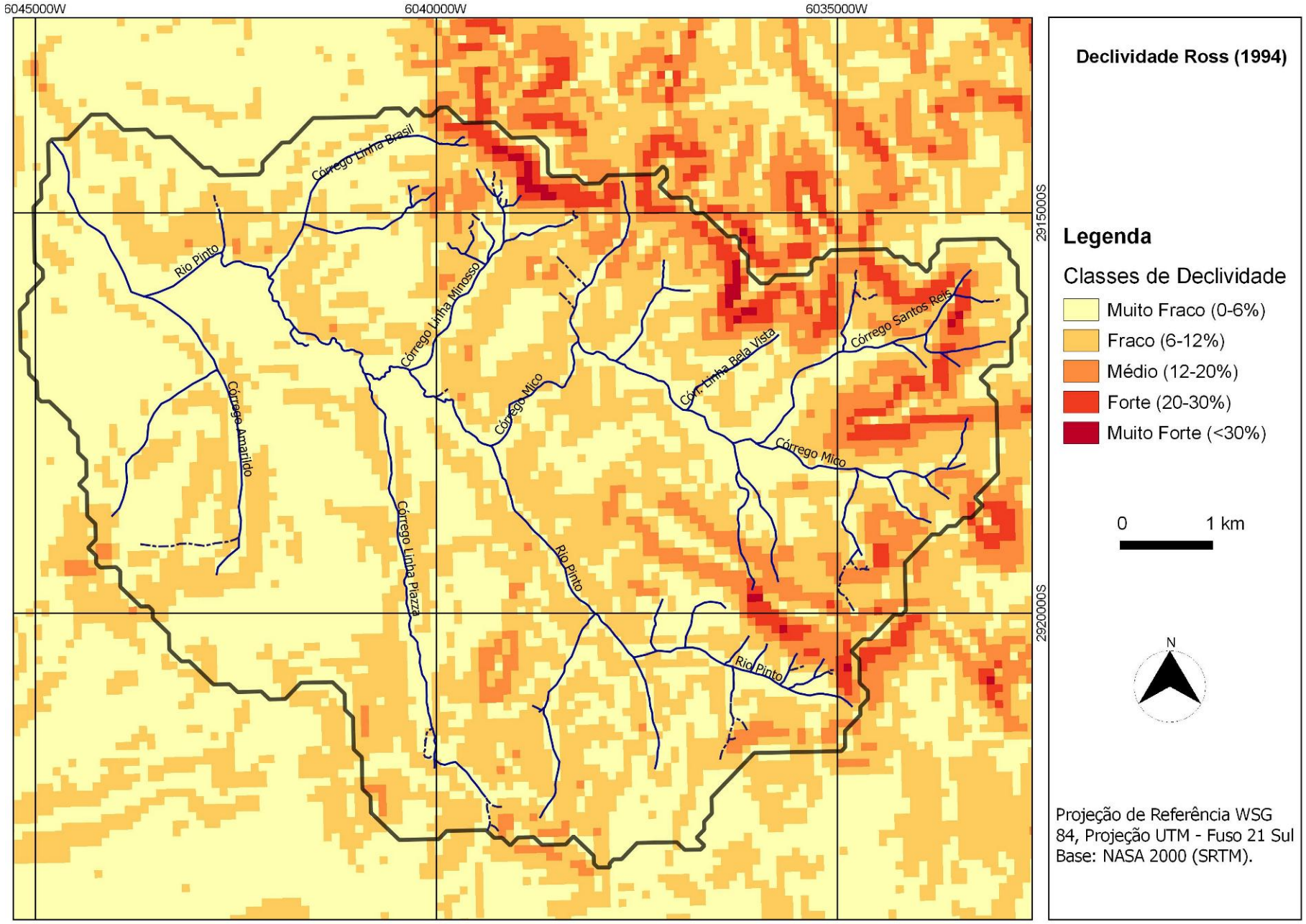


Figura 14 - Mapa de declividade da bacia do rio Pinto e de seu entorno, São Miguel do Iguaçu-PR.

Abrangendo áreas próximas à cota altimétrica de 300m, até os interflúvios da bacia hidrográfica, pode-se identificar o compartimento 2. Possui 14,58 Km^2 ou 21,93% da área total.. Apresenta vertentes curtas e topos estreitos com predomínio das declividades de 12 a >30%, o que caracteriza o relevo como ondulado a forte ondulado. É neste compartimento que se encontram as maiores altimetrias da bacia, (430m). Como a cota altimétrica mínima de 280m, o desnível altimétrico é de 150m. (Figura 13)

Ao associar as formas das vertentes e a declividade ao predomínio dos processos de escoamento superficial e infiltração, observa-se que o compartimento 1, embora as vertentes sejam longas, o que favoreceria o ganho de velocidade pelo fluxo superficial, as declividades são suaves (0-8%) favorecendo a infiltração. Neste compartimento a drenagem é mais ramificada colaborando para que o fluxo superficial chegue em diferentes pontos da drenagem. os canais são maior ordem e seu dimensionamento facilita o escoam do fluxo de água de forma mais eficiente, o que diminui os picos de enchente.

O oposto ocorre no compartimento 2, onde as vertentes curtas, porém, bastante inclinadas (declividades entre 12-30%) contribuem para a ocorrência de escoamento superficial. Isso associado a rede de drenagem pouco ramificada e composta por canais de pequena ordem, que possuem dimensionamento menor e tem suas calhas facilmente entulhadas por sedimentos, corroboram com o indicativo de picos de enchentes.

5.1.3 Solos, uso e ocupação

A figura 16 observa-se a distribuição espacial das classes de solo na bacia do rio Pinto. Nela estão presentes as classes de solo: Latossolos Vermelhos eutroférricos (LVef), Nitossolos Vermelhos eutroférricos (NVef), Neossolos Litólicos eutróficos (RLe), Neossolos Regolíticos eutróficos (RRe) e Cambissolos Haplicos (CX). Pode-se verificar a relação existente entre relevo e a ocorrência das classes de solo sugerida nos estudos de Prado (1995) e .Palmieri & Larach (2000).

Os Latossolos Vermelhos advindos de rochas basálticas são encontrados em 13,67km^2 da bacia hidrográfica, o que corresponde a 20,56%. Desenvolvem-se predominantemente em paisagens de relevo plano ou suave ondulado onde

predominam vertentes longas, levemente retilíneas a convexas, com declividades entre 0-6%, condições que dominam o compartimento 1 do relevo.

Os Nitossolos Vermelhos eutroférricos (NVef) estão presentes em 37,43km^2 (56,30%) bacia do rio Pinto e, assim como os Latossolos, são oriundos de rochas basálticas. Ocupam os segmentos de vertente com declividades de 8 à 15% com rampas médias, curtas e convexas, em geral, abaixo da cota altimétrica de 300m.

Assim como os Latossolos Vermelhos, os Nitossolos Vermelhos na bacia do rio Pinto, devido às suas características, são amplamente utilizados para a prática agrícola. (Figuras 16 e 17).

Na bacia do rio Pinto os solos rasos (Neossolos Litólicos eutróficos-RLe e Neossolos Regolíticos eutróficos-RRe) ocorrem principalmente no compartimento 2 do relevo, muitas vezes em associação com os Cambissolos Háplicos (CX).

Em áreas de declividade acima de 12%, com rampas curtas e topos estreitos, convexos, e altimetria superior a 300m, os Neossolos (RLe e RRe) ocorrem em associação com o Cambissolo Háplico (CX). Os Neossolos Litólicos eutróficos (RLe) ocupam o relevo caracterizado por declividades superiores a 18%, rampas curtas dos interflúvios estreitos que se destacam na paisagem do compartimento 3.

Em áreas de declividade mais acentuada (12-30%), com relevo ondulado à forte ondulado, encontram-se solos mais rasos (Cambissolos e Neossolos), o que influencia diretamente no uso e ocupação destas áreas, em que predominam pastagens ou fragmentos de mata.

As áreas com declividade muito fraca a fraca, ocupadas com agricultura mecanizada (37,49Km^2), por exemplo, representam 56,39% da área da bacia, em concordância com as áreas de ocorrência dos Latossolos Vermelhos eutroférricos (LVef) e Nitossolos Vermelhos eutroférricos (NVef) que representam cerca de 77% da área total da bacia do rio Pinto. Em áreas com declividades média, forte ou muito forte e ocorrência de Cambissolos Háplicos (CX), Neossolos Litólicos eutrófico (RLe) e Neossolos Regolíticos (RRe) predominam a pastagem que, por sua vez, abrangem uma área de 11,72 Km^2, (17,63%) da área total da bacia. Sob estas condições de declividade, também podem ser encontrados os fragmentos de mata pouco representativos quando se compara às condições de declividade, à quantidade de cursos d´água e de nascentes com a legislação vigente (Quadro 02).

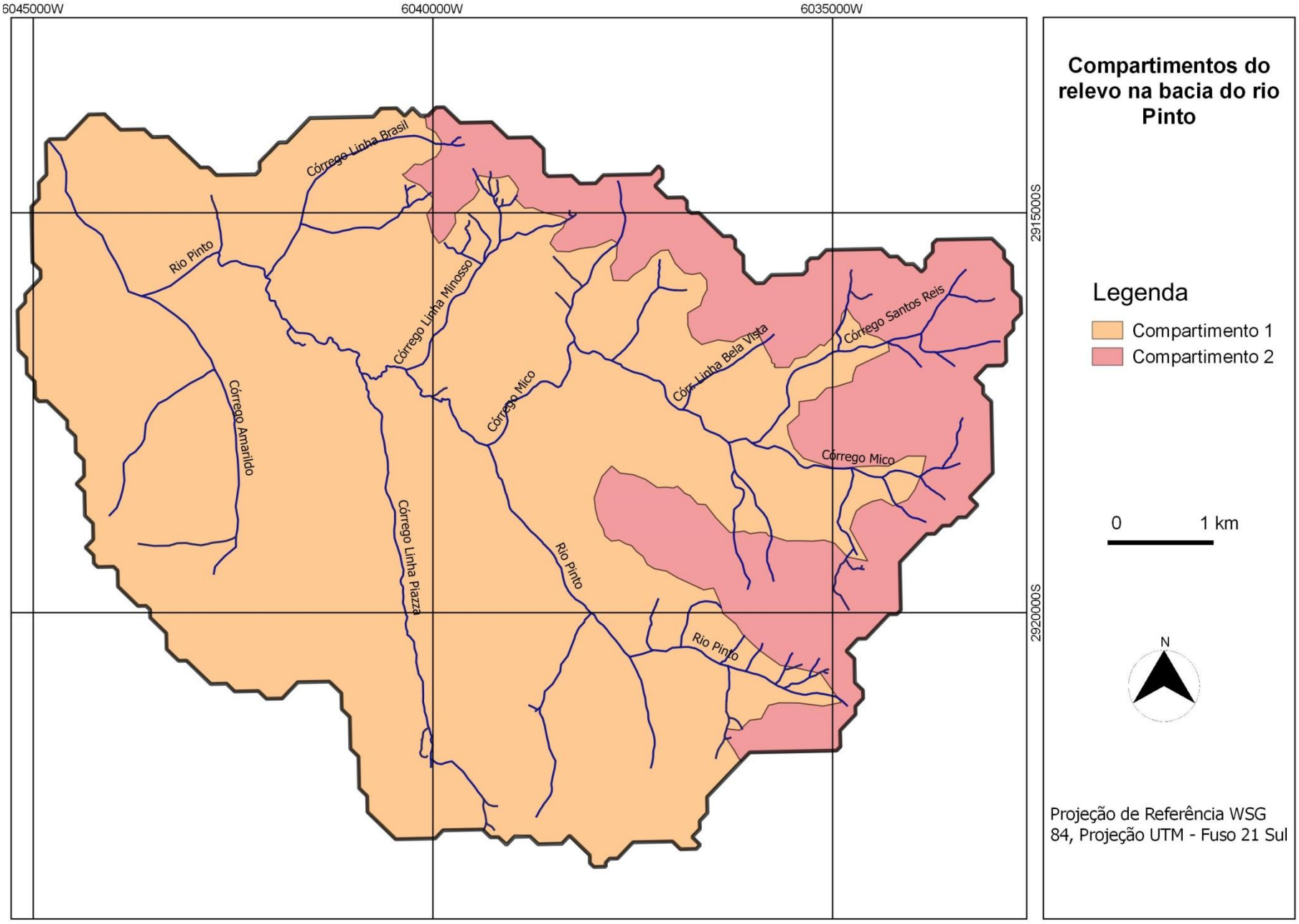


Figura 15 - Mapa dos compartimentos do relevo na bacia do rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR.

Em áreas com predomínio de declividades mais acentuadas, em topos estreitos, solos mais rasos e/ou nas proximidades dos cursos fluviais encontram-se fragmentos de mata que funcionam como APPs e que totalizam 9,91 km^2 ou 14,91% da área total da bacia.

Levando-se em consideração o que prevê a Lei 12.651/12 (Quadro 02) e a distribuição e ocorrência dos fragmentos de mata que seriam APPs (Figura 17), verifica-se um descompasso entre a teoria proposta pela lei e sua aplicação no meio rural e urbano.

Na bacia do rio Pinto verificou-se que em boa parte das áreas das nascentes dos cursos de água, onde se pratica pecuária e agricultura, não existe mata ciliar. Também é possível observar modificações nos canais e cursos naturais dos rios, principalmente os menores. No setor rural os proprietários das áreas escavam “valetas” para que o curso de água não “prejudique” a prática da atividade econômica. Na área urbana isso também acontece, alguns cursos d´água são retificados e, direcionados para as galerias fluviais (Figura 18).

A área urbana da cidade de São Miguel do Iguaçu está compreendida na bacia do rio Pinto, salvo os distritos administrativos. Está representada por declividade muito fraca a média e ocupa 6,05km^2 (9,10%) da área total da bacia.

As pedreiras representam 210m^2 (0,31%) da área da bacia. No total são 3, localizadas em setores de declividade forte ou muito forte e solos rasos, o que facilita a extração do basalto.

Pequenos açudes para a dessedentação animal e outros, de porte maior, e, em menor número, destinados à piscicultura se distribuem na paisagem. No total são destinados para este fim, 190m^2 (0,29%) da bacia. A silvicultura também é praticada em 470m^2 (0,71%) da área total da bacia.

5.2 PERDA DE SOLO NA BACIA DO RIO PINTO

A USLE relaciona os diferentes fatores que regem o processo erosivo: precipitação (Fator R); comprimento da rampa/encosta e declividade da rampa/encosta (Fator LS); erodibilidade do solo (Fator K); uso e ocupação do solo (Fator C) e as práticas conservacionistas (Fator P) (MARQUES, 2003).

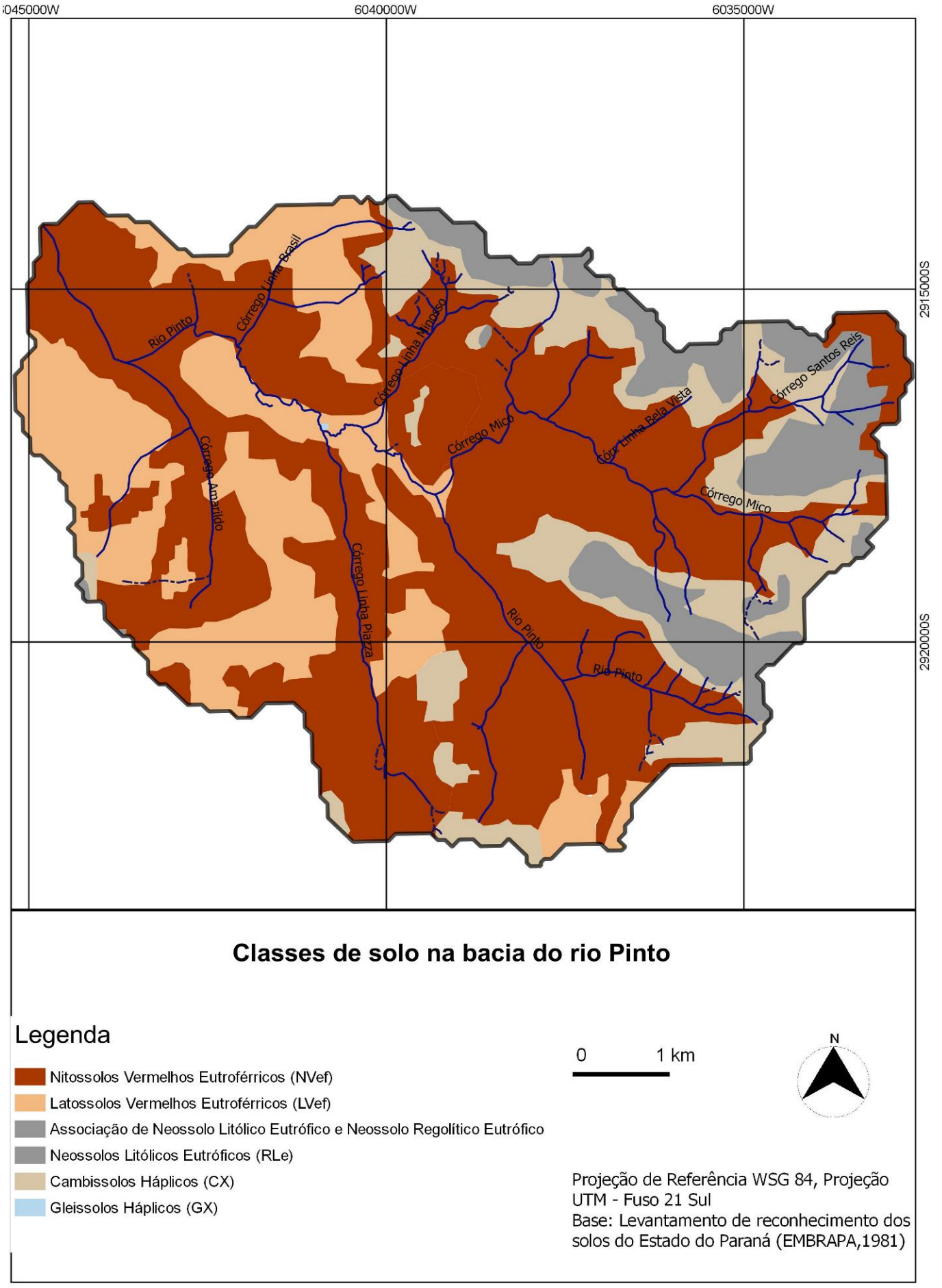


Figura 16 - Mapa de solo da bacia do rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR.

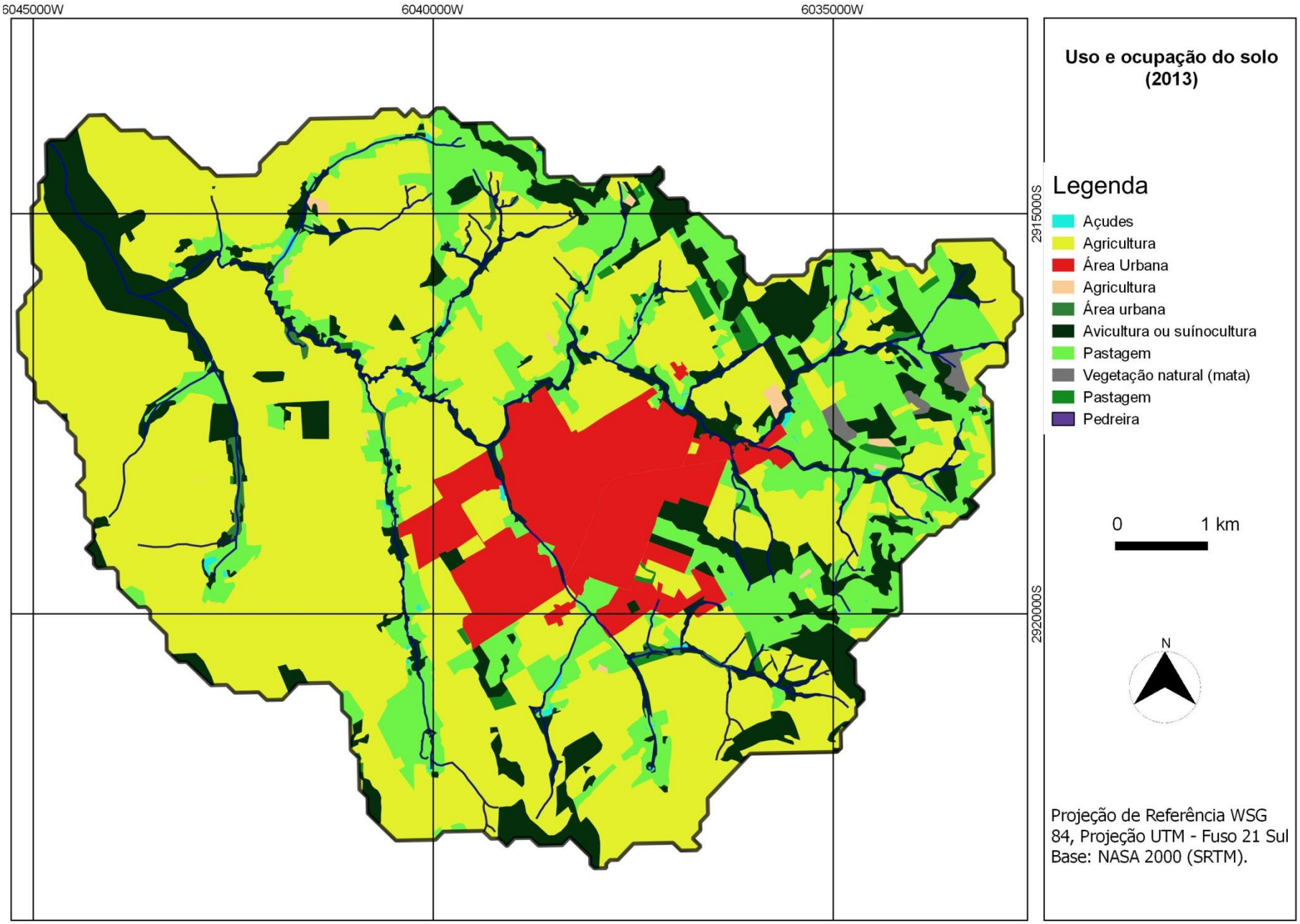


Figura 17 - Mapa de uso e ocupação do solo na bacia do rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR.

Quadro 2 - Novo Código Florestal - Lei Federal 12.651/12 , com alteração da Lei 12.727/12 para situações encontradas na bacia do rio Pinto.

Ocupação do solo	Situação	**Áreas não desmatadas**	**Áreas Desmatadas até 2008**
Reserva Legal	Geral	20%, incluindo APP	0 a 20%, incluindo APP, a depender do tamanho do imóvel e data do desmatamento
APPs	Rios < 10m	30m, a partir do leito regular, com vegetação nativa.	Tamanho da APP não dependerá mais, em regra, do tamanho do rio, mas do tamanho do imóvel (medido em módulo fiscal - MF). Proteção a partir do leito regular. Além disso, é permitido "recuperar" com 50% de espécies exóticas Imóvel até 1 MF – 0 a 5 m (50% exóticas) Imóvel de 1 a 2 MF – 0 a 8 m (50% exóticas) Imóvel de 2 a 4 MF – 0 a 15 m (50% exóticas) Imóvel de 4 a 10 MF – 20 a 100 m Imóvel > 10 MF – 30 a 100 m
	Nascentes	Só as perenes protegidas, num raio de 50m	Só as perenes protegidas, num raio de 0 a 15 metros, dependendo do tamanho do imóvel e da existência de outras APPs
	Encostas	Protegidas, acima de 45º	Não protegidos
	Topos de morro	Protegidos no terço superior, mas, novo conceito para morro reduz drasticamente área protegida	Não protegidos

Fonte: Adaptado de BRASIL (2012)

Nota: MF - Módulo Fiscal; varia de 5 a 110 hectares, dependendo da região, no caso de São Miguel do Iguaçu, um MF é igual a 18 hectares.

Figura 18 - Exemplos de cursos fluviais com canais alterados e sem mata ciliar na bacia do rio Pinto.

Nota: A fotografia A ilustra exemplo de modificação do curso natural do rio para facilitar a prática agrícola no setor periurbano de um afluente do rio Pinto. A fotografia B ilustra retificação e direcionamento de canais fluviais por ocorrência de abertura de novo loteamento urbano. As imagens C e D ilustram a ausência ou ocorrência incipiente de mata ciliar ao longo dos cursos fluviais do rio Pinto e córrego Linha Piazza, sob ocupação agrícola, pecuária e uso urbano.

Neste item serão apresentados os resultados encontrados para os fatores que compõe a USLE.

5.2.1 Cálculo do Fator R

O cálculo do fator R foi realizado com os dados pluviométricos referentes aos anos de 1991 a 2011 (Tabela 17). No período analisado, a média de pluviosidade anual foi de 1.730mm. O ano com maior pluviosidade foi 1998, quando foram registrados 2.263,2mm e erosividade de 697,08 MJ mm/ha.h.ano. O ano em que foi registrado o menor volume pluviométrico foi 2008, com 1.120,7mm o que corresponde a 386,00 MJ mm/ha.h.ano.

Diretamente associado com o regime de precipitação e resultante da soma da média mensal do índice de erosão, o fator R calculado para a bacia do rio Pinto no período analisado foi de 11.185,28 MJ mm/ha.h.ano.

Tabela 17 - Fator Erosividade da chuva no período de 1991-2011.

Ano	Precipitação total anual (mm)	Média mensal (mm)	Média mensal do índice de erosão (MJ mm/ha.h.ano)
1991	1.471,6	122,63	485,37
1992	2.032	169,33	636,69
1993	1.793,9	149,49	573,33
1994	1.752,0	146	562,05
1995	1.453,1	121,09	480,24
1996	1.924,5	160,38	608,24
1997	1.983,6	165,3	623,91
1998	2.263,2	188,6	697,08
1999	1.226,0	102,2	416,28
2000	1.733,3	144,4	557,00
2001	1.391,8	115,9	463,14
2002	1.908,0	159,04	603,98
2003	1809,5	150,8	577,52
2004	1.436,5	119,7	475,62
2005	1.869,1	155,75	593,48
2006	1.186,3	98,85	404,91
2007	1.442,1	120,17	477,18
2008	1.120,7	93,39	386,00
2009	1.673,7	139,47	540,85
2010	1.711,0	142,58	550,97
2011	1.421,5	118,45	471,44
R=ΣEI			11.185,28

Ao analisar os dados pluviométricos do período de 1986 a 2008 em uma das estações pluviométricas de São Miguel do Iguaçu, Waltrick (2010) encontrou o valor

de 10.701 MJ mm/ha.h.ano para o fator R. Considerando que o período analisado e o método utilizado são distintos, pode-se entender que o valor obtido para a bacia do rio Pinto é coerente.

Ambos os resultados para o fator R obtido para a bacia do rio Pinto (10.701 e 11.185,28 MJ mm/ha.h.ano) são considerado como erosividade muito forte, conforme Carvalho (2008).

Levando-se em consideração a distribuição das chuvas ao longo do ano, seu potencial de erosividade e a ocupação do solo, as considerações para a bacia do rio Pinto corroboram com as de Waltrick (2010) para o estado do Paraná. Outubro é, em termos de erosão e perdas de solo, o mais preocupante, pois, além de apresentar as médias de precipitação mais elevadas (Tabela 12) é o período que segue à colheita das culturas de inverno e precede o plantio de culturas de verão, levando a uma condição em que o solo está sem a proteção da cobertura vegetal para equilibrar a elevada erosividade. Embora a USLE não considere os valores mensais de erosividade de forma individual, este é um aspecto que merece atenção na bacia do rio Pinto, pois volumes consideráveis de solo podem ser erodidos nestes períodos.

5.2.2 Cálculo do Fator K

O fator erodibilidade do solo (K) está diretamente relacionado à classe de solo que ocorre no local. Deste modo, pode-se observar a distribuição dos valores de K para a bacia do rio Pinto, conforme a ocorrência de cada classe de solo (Figura 19).

Os valores de K encontrados variam de 0,02 a 0,1 e, como ocorre predominância de Nitossolo Vermelho eutroférrico (56,30%) e Latossolo Vermelho eutroférrico (20,56%), os valores predominantes de K são 0,02 e 0,03, valores classificados por Mannigel *et al.* (2002) como de média erodibilidade (Figura 19).

Embora predominem na bacia classes de solo com erodibilidade média, ocorrem classes de solo de erodibilidade muito alta, no caso de Cambissolos Háplicos em 13,18% da bacia hidrográfica. E, extremamente alta, no caso da associação de Neossolos Litólicos eutróficos e Neossolos Regolíticos eutróficos (10,03%) (Tabela 9).

5.2.3 Cálculo do fator LS

Dependendo das características do comprimento (L) e da declividade (S) da rampa sobre a qual a água percorre maior ou menor será a intensidade da erosão hídrica. Estes dois elementos são levantados separadamente, mas, para aplicação na USLE são analisados de forma conjunta, compondo o fator topográfico (LS).

O comprimento de rampa é de grande importância na perda de solo, posto que, quanto maior for a sua extensão maior será a velocidade de escoamento.

As características de declividade foram abordadas no item 6.1.2 e, visando maior precisão na obtenção dos valores médios de comprimento de rampa, subdividiu-se a bacia do rio Pinto em 36 sub-bacias conforme figura 20. Deste modo, foram obtidos valores de comprimento de rampa (fator L) entre 63,07 (bacia 35) e 502,39m (bacia 17) (Tabela 18).

Por meio deste método de obtenção do comprimento médio das rampas de cada sub-bacia, evidencia-se a relação existente entre área, extensão da drenagem e o comprimento das rampas. Depois de obtidos separadamente, é necessária à análise conjunta do comprimento de rampa e declividade para obtenção do fator topográfico (L) (Figura 21).

Foram encontrados valores de LS entre 0,019 e 14, sendo que, predominam na bacia hidrográfica valores inferiores ao valor 1. Observa-se que os valores mais elevados de LS são encontrados próximos aos divisores de água da bacia hidrográfica onde as declividades são mais acentuadas e os comprimentos de rampa mais curtos quando comparados às demais áreas da bacia hidrográfica. Por outro lado, os menores valores de LS são encontrados nos setores de fundo de vale, após a confluência do rio Pinto com o córrego Mico, seguindo até a foz. Áreas estas apresentam declividades mais suaves e rampas mais longas quando comparadas às demais áreas da bacia hidrográfica (Figura 21).

5.2.4 Cálculo do fator C

O mapa representado pela figura 22 possibilita a visualização dos valores adotados para o fator manejo de culturas (C), bem como, sua distribuição e ocorrência na bacia do rio Pinto. Como o fator manejo de culturas está vinculado

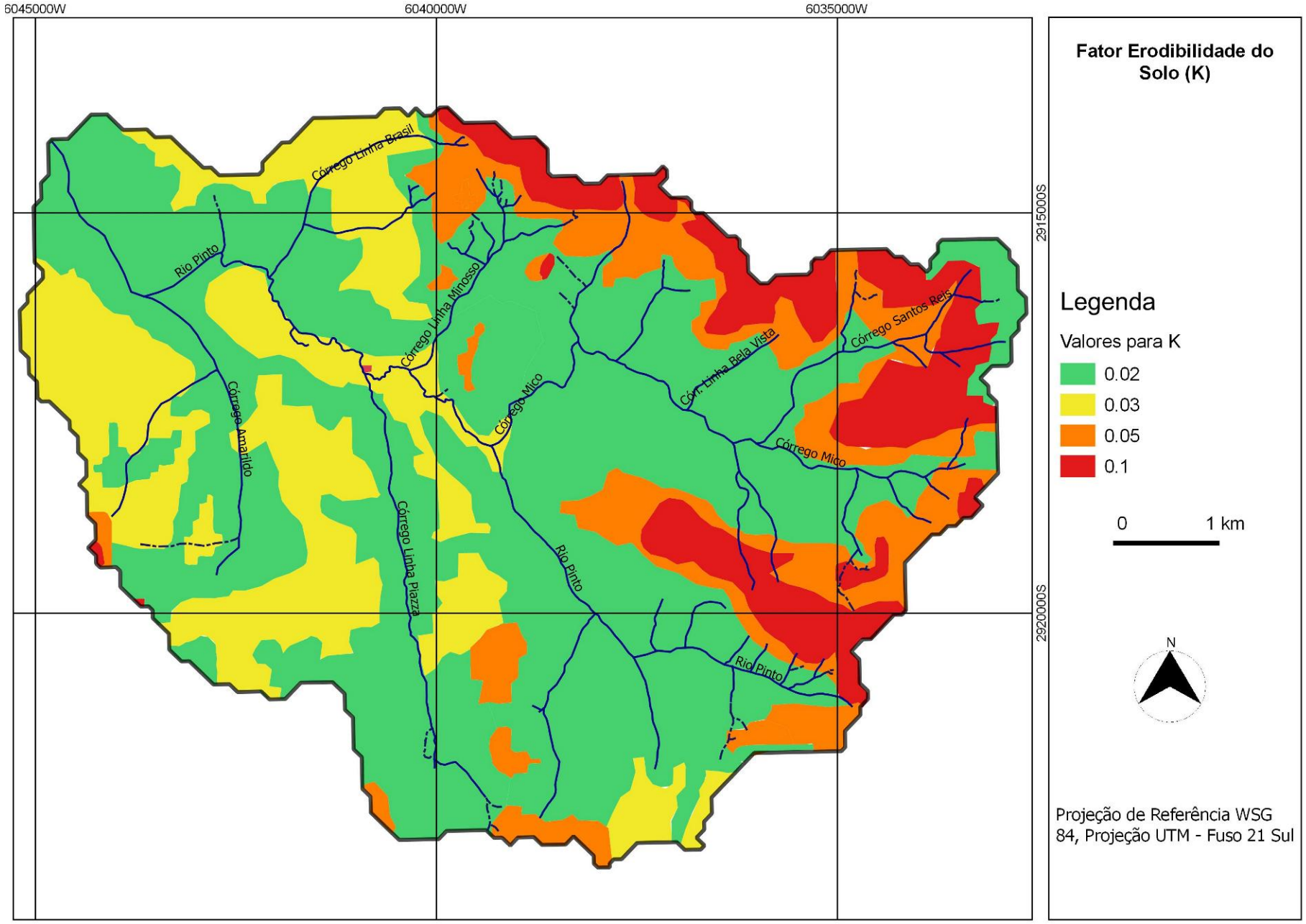


Figura 19 - Mapa do Fator Erodibilidade do Solo (K) na bacia do rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR.

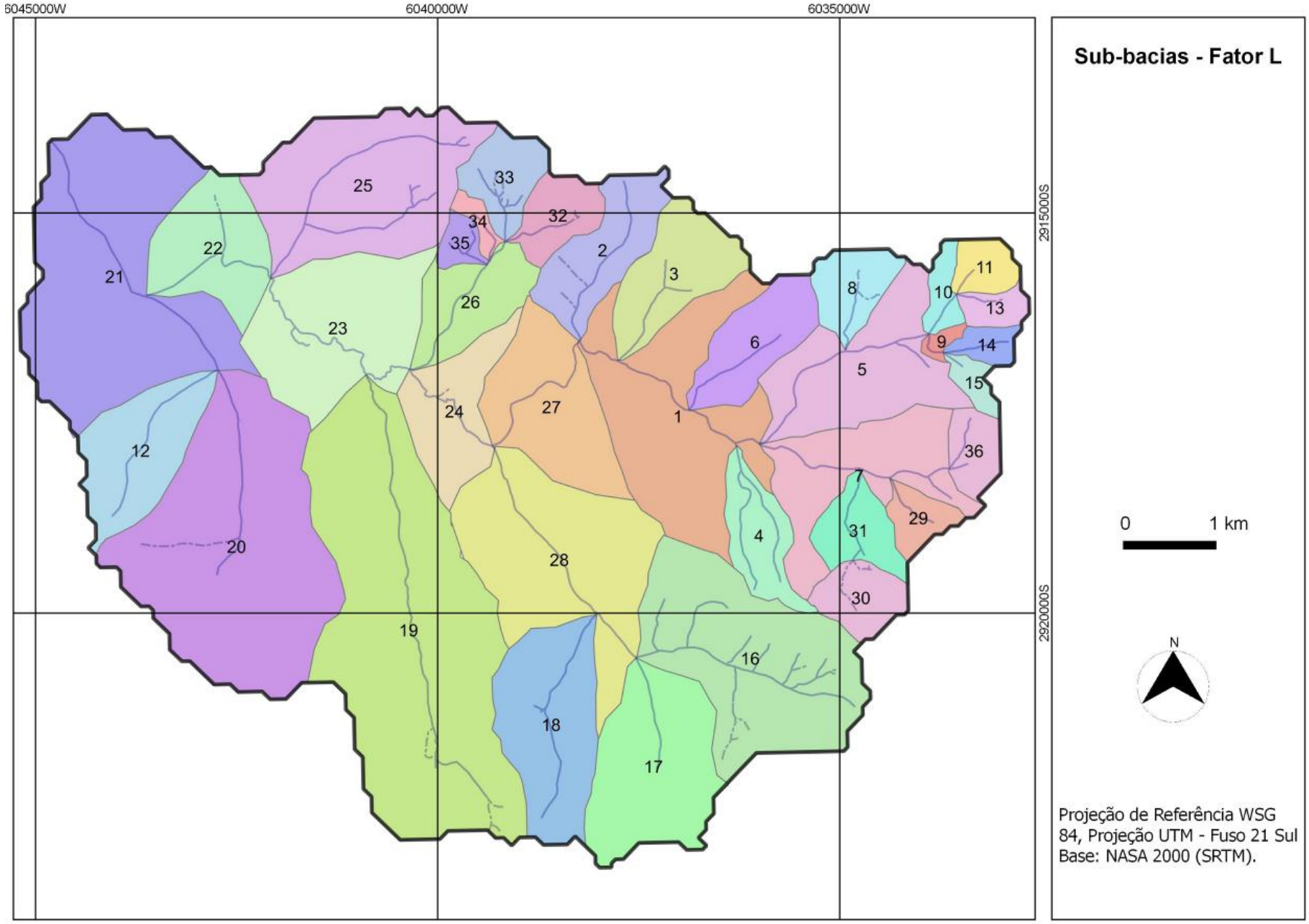


Figura 20 - Mapa das sub-bacias para o cálculo do comprimento de rampa (L) na bacia do Rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR.

Tabela 18 - Sub-bacias e comprimento de rampa para a bacia do rio Pinto (L=A/4l).

Bacia hidrográfica	Área (A) (m^2)	Extensão da Drenagem (l) (m)	Comprimento da Rampa (L) (m)
1	3530000	2528,36	348,68
2	1340000	2785,49	121,34
3	140000	1645,06	214,15
4	920000	3187,69	85,44
5	2350000	3013,77	196,42
6	1190000	1377,94	217,94
7	2070000	2722,5	189,67
8	710000	1190,79	150,99
9	110000	337,09	80,81
10	310000	548,69	140,06
11	40000	331,65	305,6
12	1680000	2156,58	195,89
13	290000	537,68	136,07
14	270000	742,43	91,55
15	230000	256,44	229,59
16	4040000	7430,72	136,97
17	2550000	1278,05	502,39
18	230000	2658,01	218,12
19	7920000	6372,69	312,82
20	5930000	3563,92	419,37
21	540000	3350,91	406,01
22	1630000	2424,79	169,52
23	2830000	2857,72	249,16
24	1390000	1632,06	214,03
25	350000	5190,29	169,59
26	1160000	1910,1	397,35
27	210000	1843,65	286,29
28	3750000	2947,74	320,25
29	420000	749,09	140,07
30	670000	833,66	201,21
31	740000	1238,19	148,5
32	690000	1018,13	168,62
33	770000	1792,09	107,12
34	170000	628,87	67,18
35	240000	938,24	63,07
36	50000	957,21	131,59

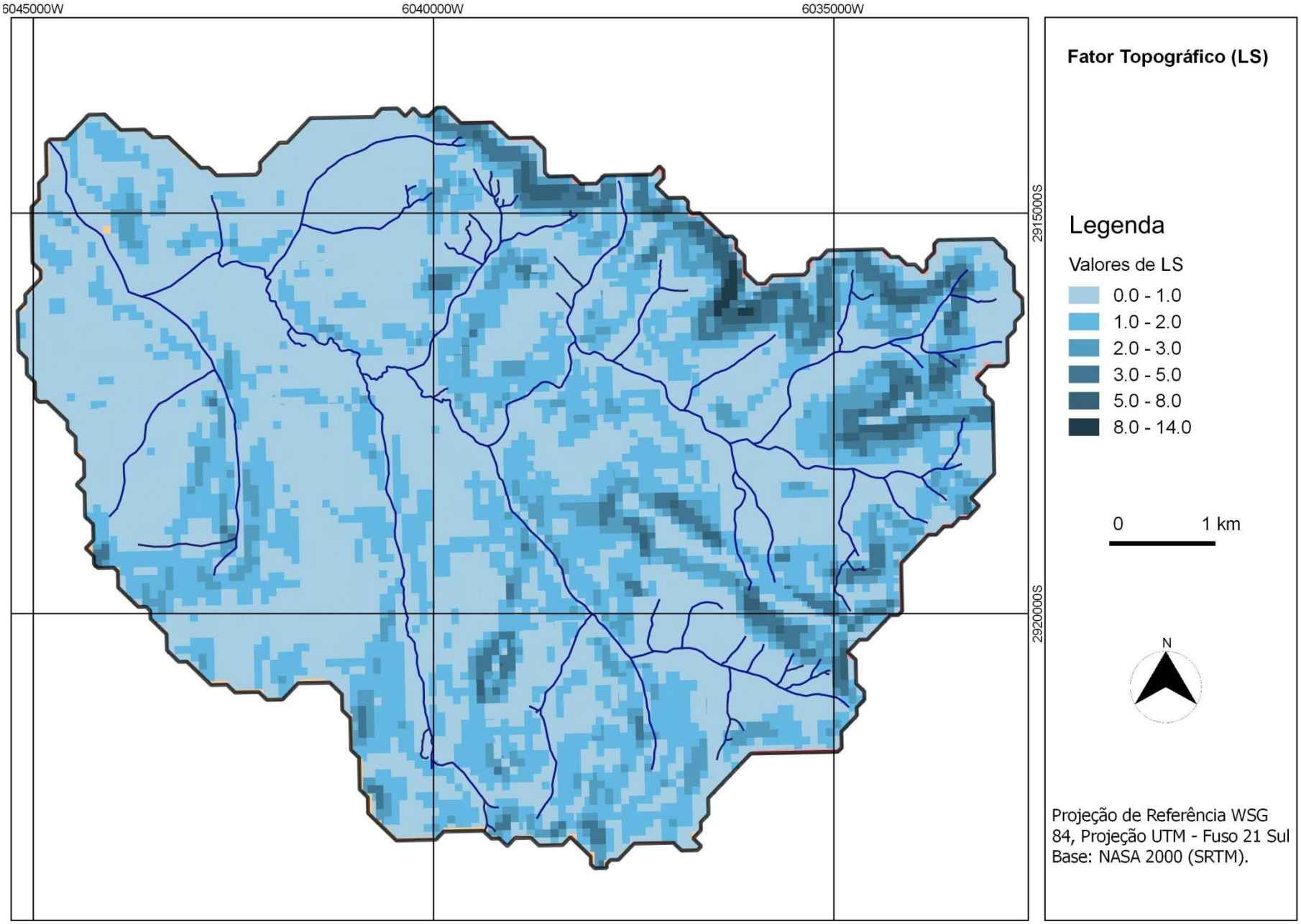


Figura 21- Fator topográfico (LS) na bacia do rio Pinto, São Miguel do Iguaçu-PR.

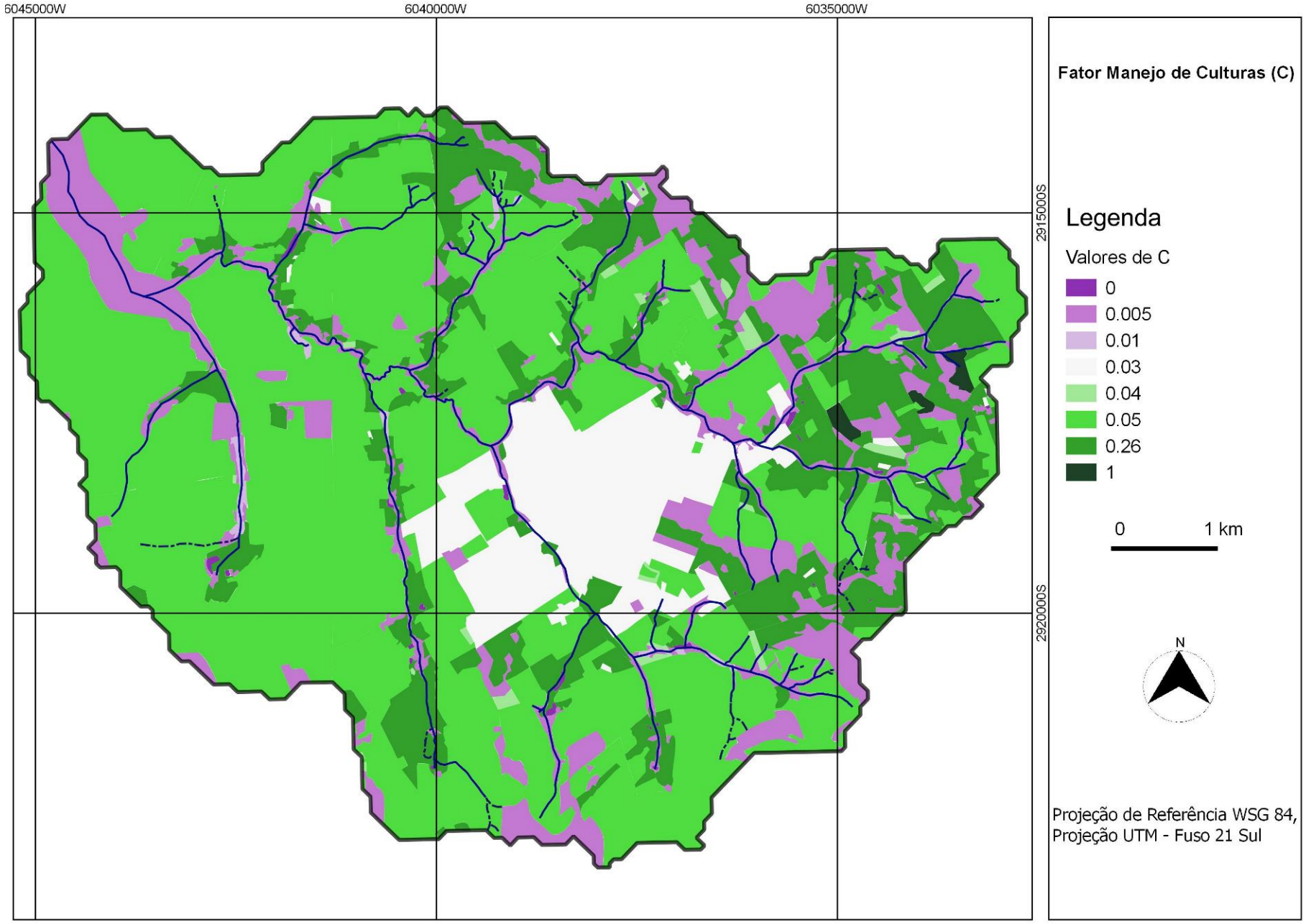


Figura 22 - Fator Manejo de Culturas (C) na bacia do rio Pinto São Miguel do Iguaçu-PR.

diretamente ao uso e ocupação do solo, é possível verificar a predominância do valor 0,05 referente ao plantio direto e 0,26 referente às pastagens.

A tabela 19 apresenta os valores atribuídos ao fator C conforme o uso e ocupação do solo, bem como, o percentual de área de sua abrangência.

Tabela 19 - Distribuição do fator C na bacia do Rio Pinto.

Valor de C	Uso e ocupação do solo	% de abrangência
0,0	Água	0,29
1,0	Mineração	0,31
0,26	Pastagem	17,63
0,05	Plantio direto	56,39
0,03	Áreas urbanas	9,10
0,005	Florestas	14,91
0,04	Florestas manejadas	0,71
0,01	Gramíneas	0,66

Optou-se por classificar as áreas de prática de agricultura com o fator de manejo do solo plantio direto, pois, embora não ocorra de maneira ideal, esta prática pode ser verificada nas áreas agrícolas da bacia do rio Pinto.

5.2.5 Cálculo do fator P

Na bacia do rio Pinto foi verificado como práticas conservacionistas a utilização das técnicas de plantio em contorno, terraceamento e manutenção de cordões de vegetação permanente e existem áreas onde não são aplicadas quaisquer práticas conservacionistas (Tabela 20 e Figura 23).

Tabela 20 - Distribuição do fator P na bacia do rio Pinto.

Práticas	% de área
Plantio morro abaixo	5,71
Plantio em contorno	47,39
Terraceamento	4,31
Cordões de vegetação permanente	16,75
Sem qualquer prática conservacionista	25,85

Em virtude da predominância da agricultura mecanizada como principal atividade econômica, as práticas conservacionistas predominantes são a associação do plantio em contorno e o terraceamento com a utilização de murundus.

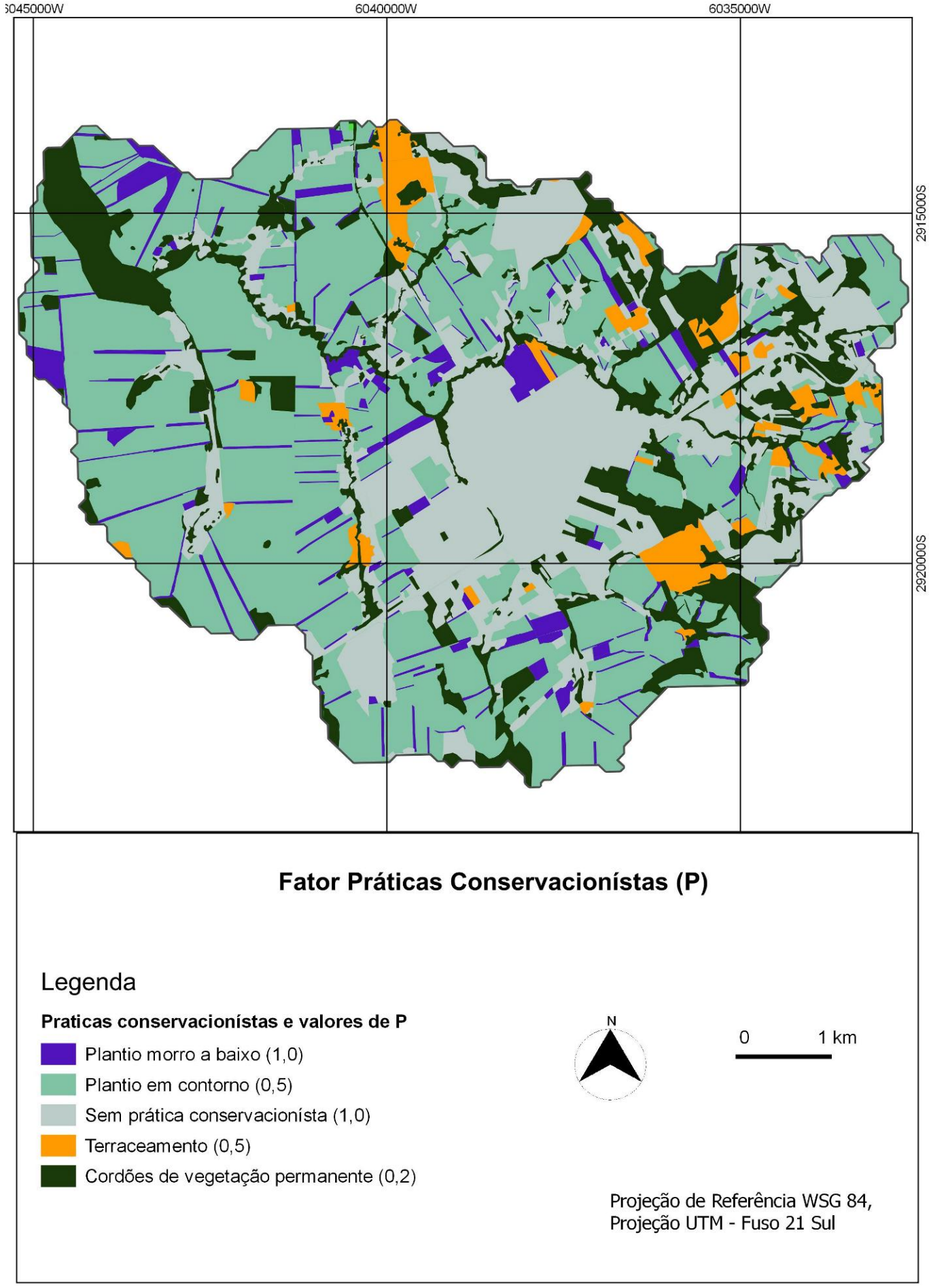


Figura 23 - Fator Prática conservacionista (P) na bacia do rio Pinto São Miguel do Iguaçu-PR.

Embora haja predomínio do plantio em contorno, em parte significativa dos talhões algumas práticas de manejo, como a aplicação de defensivos agrícolas, é realizada no sentido do declive (Figura 24). Ao aplicar esta prática, o agricultor pode estar favorecendo a concentração de fluxo de água em alguns pontos fragilizados dos murundus (terraços), favorecendo a ocorrência da erosão hídrica.

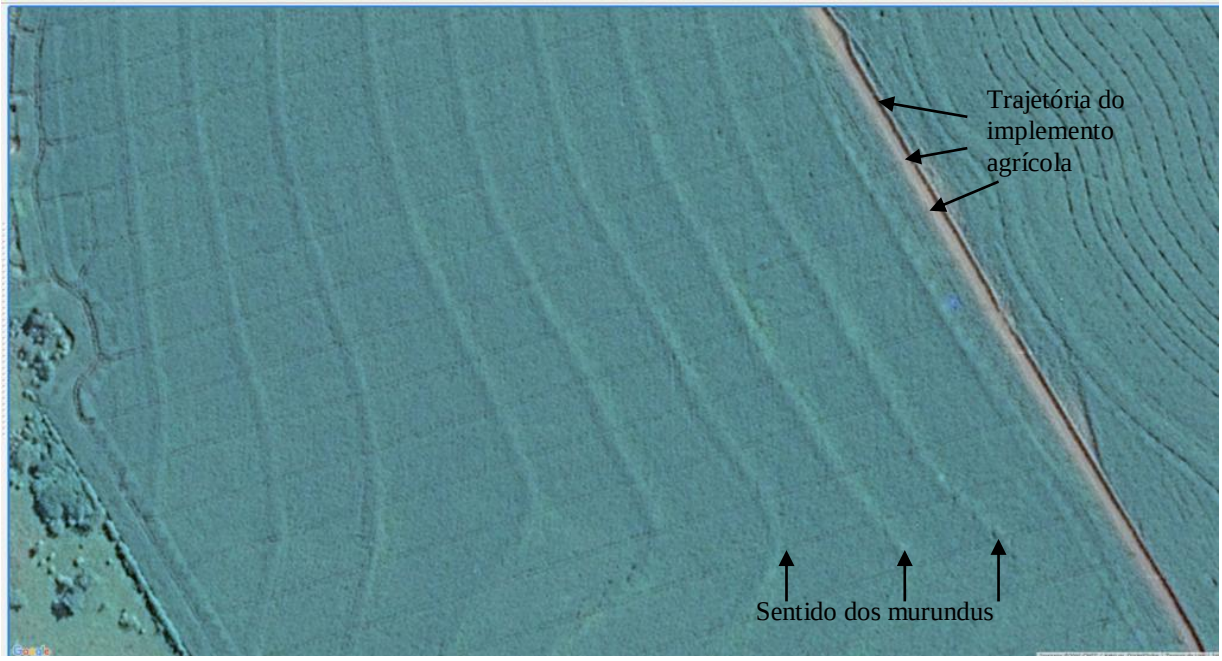


Figura 24 - Sentido dos murundus e trajetória dos implementos agrícolas em um talhão na área de estudo.

Verificou-se a ocorrência da técnica de plantio morro abaixo associado aos talhões estreitos e longos e também às áreas de “cabeceira” criadas para o manejo e emprego dos implementos agrícolas. As áreas de ocorrência de plantio morro a baixo são mais abrangentes que as onde é empregado terraceamento.

As áreas destinadas a Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente (APP) funcionam como cordões de vegetação permanente.

Nas áreas destinadas às pastagens, verificou-se a aplicação de terraceamento e cordões de vegetação permanente, porém, na maior parte da área destinada para este fim, não é aplicada qualquer prática conservacionista. Também não foi verificada a ocorrência de qualquer prática conservacionista na área urbana do município.

Áreas destinadas para pastagem merecem atenção maior quanto à aplicação de efetivas práticas conservacionistas, pois, os locais com esta ocupação estão

localizados em áreas próximos aos cursos d´água e/ou em áreas com características que favorecem a ocorrência e a evolução acelerada dos processos erosivos.

Ao comparar os mapas de declividade classes de solo, uso e ocupação de solo, fator práticas conservacionistas e fator erodibilidade do solo (Figura 8, 16, 17,19 e 24), pode-se observar que:

a) As áreas de declividade mais acentuadas exibem classes de solo como Cambissolos ou Neossolos. Estes são mais rasos e apresentam erodibilidade maior, quando comparado às demais classes de solos que ocorrem na bacia. São destinados, predominantemente, às pastagens e apresentam práticas conservacionistas deficitárias, pois, em parcela significativa das áreas não é verificado terraceamento, manutenção de cordão de vegetação ou qualquer outra prática conservacionista aplicável a esta ocupação do solo.

b) Áreas com declividades mais suaves, solos mais profundos e que são destinadas as práticas da agricultura mecanizada apresentam técnicas conservacionistas de forma mais efetiva, embora haja formas se melhorá-las, como por exemplo, com a não utilização da prática do plantio no sentido do declive, aplicação do terraceamento dentro das especificações técnicas, com plantio de plantas de cobertura nos períodos em que o solo ficaria exposto, com a prática efetiva do plantio direto, entre outras. É provável que o maior comprometimento com as práticas conservacionistas nas áreas de agricultura se dê pelo entendimento do proprietário destas áreas de que, se não evitar os processos erosivos haverá prejuízos diretos na lucratividade de sua principal atividade econômica: a agricultura.

Ao observar a distribuição e os percentuais de abrangência das práticas conservacionistas na bacia do rio Pinto, verifica-se que em um quarto da área não são aplicadas quaisquer práticas conservacionistas e nas demais áreas, mesmo que haja aplicação, existem formas de aprimorá-las para efetiva conservação dos solos.

5.2.6 Perda de solo

Identificados e calculados todos os fatores da bacia do rio Pinto, foi possível quantificar a perda de solo por erosão laminar em toneladas por hectare por ano, aplicando a USLE (R, K, LS, C P).

Na bacia do rio Pinto foram encontrados valores de perda de solo entre 0 e 7.107 t/ha/ano, sendo que predominam perdas de solo de até 25 t/ha/ano, ocorrendo em 70,5% da área da bacia. Predominam perdas entre 10 e 25 t/ha/ano (21,86%) devido às características geoambientais da área de estudo, bem como o uso e ocupação de solo e as práticas conservacionistas adotadas (Tabela 21 Figura 25).

Tabela 21 - Abrangência de perda de solo na bacia do rio Pinto.

Perda de solo (MJ.mm.h^{-1}.ha$^{-1)}$	**Área (km^2)**	**Percentual**
0-1	7,63	11,47
1-5	12,22	18,39
5-10	17,80	18,78
10-25	14,54	21,86
25-100	6,83	10,27
100-500	5,21	7,83
500-1000	1,40	2,10
1000-7107	0,86	1,29

A bacia do rio Pinto apresentou para o período de 1991 a 2011, fator R de 11.185,28 MJ.mm.h^{-1}.ha^{-1}, o que indica que a erosividade da chuva é muito forte. Esse foi o único valor de R foi considerado para toda a área da bacia hidrográfica, pois, não existe na área de abrangência da bacia hidrográfica outra estação pluviométrica com dados confiáveis.

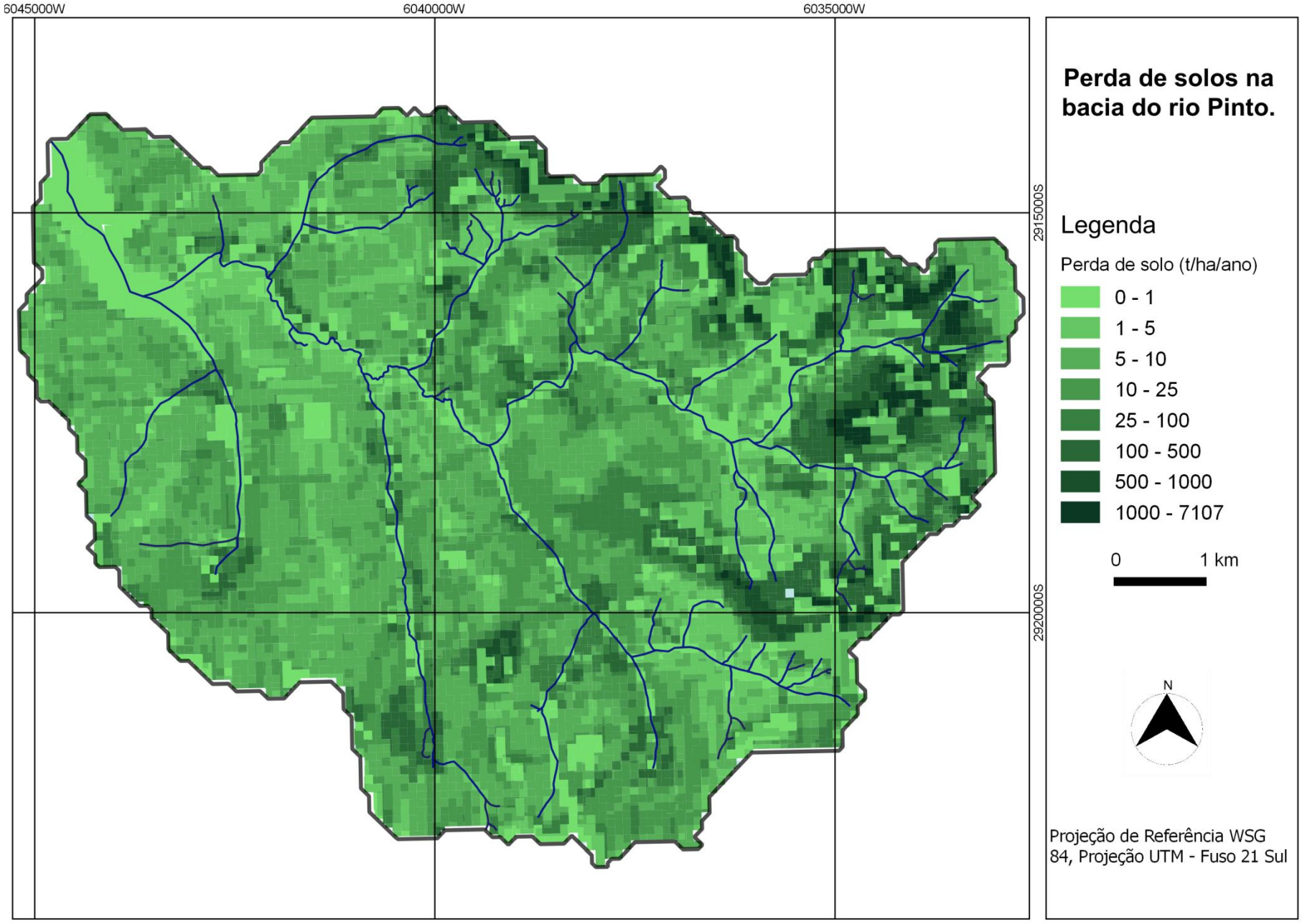


Figura 25 - Perda de solo na bacia do rio Pinto na bacia do rio Pinto São Miguel do Iguaçu-PR.

Para melhor análise dos resultados obtidos para a perda de solo, os valores encontrados para R, K, LS, C e P foram organizados no formato de uma matriz de integração conforme tabela 22.

Tabela 22 - Matriz de integração dos valores R, K, LS, C e P com ID atribuído.

Fator R MJmm/ha.h.ano		Fator K		Fator LS (adimensional)		Fator C		Fator P	
Classes	ID	Classes	ID	Classes	ID	Classes	ID	Classes	ID
11.185,28	D1	LV	S1	0,0-1,0	U1	Plantio direto	F1	Plantio Morro abaixo	B1
		NV	S2	1,0-2,0	U2	Área Urbana	F2	Plantio em contorno	B2
		CX	S3	2,0-3,0	U3	Vegetação Natural (mata)	F3	Terraceamento	B3
		RR+RL	S4	3,0-5,0.	U4	Vegetação Natural (campestre)	F4	Cordões de vegetação permanente	B4
				5,0-8,0	U5	Pastagem	F5	Sem prática conservacionista	B5
				8,0-14,0	U6	Silvicultura	F6		
						Pedreira (extração de rochas)	F7		
						Água	F8		

A tabela 23 apresenta as características locais da bacia do rio Pinto e seus reflexos no volume de perda de solo com base nos IDs atribuídos na tabela 22.

Observa-se que a interação entre todos os fatores abordados pela USLE são essenciais para a determinação do volume de perda de solo do local. Que a mesma quantia de perda de solo pode ser encontrada sob diferentes usos, práticas conservacionistas e condições de relevo.

Na bacia do rio Pinto os menores valores (0-1 t/ha/ano) de perda de solo são encontrados predominantemente sob as condições de solos bem desenvolvidos, que apresentam erodibilidade menor; rampas longas e com declividades muito fraca (0-6%) ou fraca (0-12%); em geral, em áreas próximas aos cursos fluviais e onde se mantém a mata ciliar que funciona como cordões de vegetação permanente. Esse mesmo volume de perda pode ser encontrado em solos menos desenvolvidos e que apresentam maior erodibilidade natural, com vertentes mais curtas e declivosas (até 18%), porém, com a manutenção de fragmentos de mata.

Tabela 23 - Matriz de Integração entre os fatores R, K, LS, C e P.

Perda de solo MJ.mm.h^{-1}.ha^{-1}	Cruzamento dos fatores R, K, LS, C e P
0-1	D1, S2, U1, F3, B4
	D1, S1, U1, F3 B5
	D1, S1, U1, F1, B2
	D1, S3, U1, F3, B4
	D1, S3, U1, F5, B3
	D1, S4, U1, F3, B4
0-5	D1, S2, U1, F1, B2
	D1, S2, U1, F2, B5,
	D1, S2, U1, F4, B4
	D1, S1, U1, F1, B2
	D1, S1, U1, F2, B5
	D1, S3, U3, F3, B4
	D1, S4, U3, F3,B4
5-10	D1, S2, U2 F1, B2
	D1, S2, U1, F2, B5
	D1, S2, U1, F5, B5
	D1, S1, U1, F1, B2
	D1, S1,U1, F1, B1
	D1, S3, U2, F2, B5
	D1, S3, U1, F5, B3
	D1, S4, U4, F3, B4
10-25	D1, S2, U2, F1, B2
	D1, S2, U2, F1, B1
	D1, S2, U2, F5, B5
	D1, S2, U2, F2, B5
	D1, S1, U1, F1, B1
	D1, S1, U2, F1, B2
	D1, S3, U2, F1, B2
	D1, S3, U2, F5, B3
	D1, S4, U4, F3, B4
25-100	D1, S2, U1, F5, B5
	D1, S1, U1, F5, B5,
	D1, S3, U1, F5, B3
	D1, S3 U2, F1, B2
	D1, S3, U3, F2, B5
	D1, S4, U5, F3, B4
100-500	D1, S2, U2, F5, B5
	D1, S3, U2, F5, B3
	D1, S3, U3, F5, B5
	D1, S4, U2, F5, B3
	D1, S4, U1, F5, B5
	D1, S4, U3, F3, B4
500-1000	D1, S3, U4, F5, B5
	D1, S4, U4, F5, B3
	D1, S4, U1, F5, B5
1000-7017	D1, S4, U5, F5, B5
	D1, S4, U5, F7, B5
	D1, S4, U6, F6, B4

Predominam volumes de perda de solo de 1 a 25 t/ha/ano, pois, na bacia do rio Pinto, ocorrem solos com erodibilidade natural baixa (Latossolos e Nitossolos), que se desenvolvem em locais com declividade entre 0 e12%, onde as vertentes são longas com segmentos retilíneos a levemente convexos. Por apresentarem estas características, são amplamente utilizadas para a prática agrícola de culturas temporárias (soja e milho) mecanizadas, onde se aplicam técnicas indicadas no plantio direto, (mesmo que este não seja efetivo), como o plantio em contorno e terraceamento.

Se houvesse preocupação maior com as práticas conservacionistas nas áreas agrícolas, havendo efetiva aplicação, com maior cuidado na manutenção dos cordões permanentes de vegetação, efetiva rotação de culturas, alternância de capinas, diminuição ou extinção das áreas de plantio morro a baixo, os volumes de perda de solo poderiam ser menores e, consequentemente, os solos melhor conservados.

As áreas utilizadas para pastagem na bacia do rio Pinto merecem maior atenção, pois, são as que apresentam maior volume de perda de solo (25 a 1000 t/ha/ano) e ocorrem junto aos cursos fluviais e/ou em áreas que apresentam declividade entre 18 e 30% e solos com erodibilidade natural maior (Cambissolos e Neossolos). Esse uso do solo, por si só, favorece a perda de solo, quanto comparado com o uso agrícola e, já que a pecuária não é a principal atividade econômica local, estas áreas são consideradas pelos proprietários como aproveitamento e por falta de conhecimento e/ou retorno econômico, as práticas conservacionistas aplicadas são falhas ou inexistentes.

Sob as mesmas condições de R, K, LS e C, os locais com pastagem apresentam diferenças significativas de volume de perda de solo mesmo com terraceamento (10 a 25 t/ha/ano) e também quando não apresentam qualquer prática conservacionista (25 a 1000 t/ha/ano).

Os maiores volumes de perda de solo (1000 a 7.107 t/ha/ano) ocorrem em área bastante restrita na bacia do rio Pinto (0,86 Km^2 ou 1,29% da área total). Tais perdas estão associadas aos solos com maior erodibilidade natural (Neossolos), rampas curtas e côncavas, com declividades fortes ou muito fortes (18 a >30%), com uso predominante para pastagens e mineração para retirada de rochas, onde não é verificada a aplicação de qualquer prática conservacionista.

Campagnoli (2006) estimou a produção de sedimentos na América do Sul em escala de 1: 5.000.000 e, obteve para mesorregião Oeste do Paraná, valores que variam de 0 à 5; 5 à 70 e de 70 à 200 t/Km^2/ano, sendo que, para as áreas de ocupação agrícola predominam os valores de 5 a 70 t/km^2/ano, demostrando que existem perdas de solo significativas na região. Os resultados obtidos para bacia do rio Pinto são coerentes com os apurados por Campagnoli (2006), ainda que a escala e o método utilizado sejam diferentes.

Embora escassos os estudos relacionados à perda de solo na mesorregião Oeste do Paraná, os dados encontrados de perda de solo na bacia do rio Pinto estão em concordância, também, com os encontrados por Tomazoni (2003) em estudo realizado na região Sudoeste do Paraná, onde foi aplicada a USLE para predição de perda de solo em quatro bacias hidrográficas. Nesta região foram obtidos valores médios de perda de solo entre 12,06 e 40,13 t/ha/ano.

Verifica-se que os valores obtidos de perda de solo na bacia do rio Pinto, de modo geral, poderiam ser menores se houvesse coerência entre as características geoambientais e o uso e manejo do solo.

Tomazoni (2003) levantou também a tolerância às perdas de solo por erosão laminar sendo para Latossolos de 17,5 t/ha/ano; Nitossolos de 14,4 t/ha/ano; Cambissolos de 8,75 t/ha/ano; e Neossolos de 6,12 t/ha/ano. Quando se compara estes valores com os obtidos na bacia do rio Pinto, verifica-se que na área de estudos, a perda de solo está acima àquela considerada tolerada, principalmente para os Cambissolos e Neossolos, porém, também ocorre em áreas de Latossolo e Nitossolo.

Faz-se necessário a realização trabalhos com enfoque na bacia hidrográfica na bacia do Paraná III para entender melhor a dinâmica de perda de solo em solos argilosos e muito argilosos na região e haja melhor compreensão das medidas aplicáveis aos usos econômicos dos dados, visando a redução da perda de solo e a efetiva conservação dos solos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nenhuma característica física ou valor obtido de índice, isoladamente, é capaz de simplificar a complexa dinâmica numa bacia hidrográfica. Porém, as características físicas de uma bacia hidrográfica, quando analisadas de forma sistêmica são de grande importância para a avaliação de seu comportamento hidrológico. O levantamento e avaliação de aspectos relacionados à drenagem (forma, hierarquia, densidade, etc), relevo (hipsometria, declividade, formas das vertentes), geologia, clima entre outros, contribuem para elucidar e compreender diversas questões relacionadas à dinâmica ambiental local e como estas diversas variáveis estão inter-relacionadas e refletem nas características atuais da bacia hidrográfica.

Os resultados do levantamento das características fisiográficas da bacia hidrográficas, relacionadas à forma e a drenagem (Kc, Kf, Re, Ic, ICO, Ds, Dd, SIN_1, SIN_2) indicam a baixa susceptibilidade da bacia hidrográfica do rio Pinto em produzir picos de enchente em condições normais de pluviosidade anual. Os dados obtidos contradizem os dados históricos de enchentes nos rios Pinto e Mico desde a década de 1990.

Neste contexto, entende-se que as sucessivas enchentes na bacia hidrográfica estudada podem estar associadas, além das características fisiográficas da bacia hidrográfica, aos outros condicionantes relacionados à ação antrópica, como a perda de solo e o descarte incorreto de lixo, por exemplo.

Durante e após o processo de uso, ocupação e manejo do solo na bacia do Rio Pinto, a preocupação com as questões ambientais ficam em segundo plano e, com isso, as matas ciliares e outras áreas consideradas de preservação permanente, foram suprimidas ou degradadas.

Hoje, na área de estudo, embora haja preocupação com as questões ambientais e sustentabilidade, a aplicação da legislação ambiental se dá de forma parcial. Se esta fosse aplicada de forma mais efetiva contribuiria para a diminuição da erosão hídrica e, consequentemente, a diminuição da perda de solo.

Com relação ao uso do solo verificou-se que nas áreas ocupadas para lavoura temporária (soja e milho) são aplicadas práticas de preservação e controle de erosão,

embora esse processo ainda deva ser melhorado, principalmente quanto à aplicação efetiva do plantio direto e a diminuição de áreas onde se pratica o plantio morro a baixo.

As áreas utilizadas para pastagem necessitam de atenção maior, por serem áreas com condições de declividade média a muito forte (12-30%), solos mais rasos e/ou áreas próximas a cursos d'água e por, em grande parte, não apresentarem práticas conservacionistas que minimizem a perda de solo por erosão hídrica. Esta situação poderia ser minimizada com iniciativas simples como a introdução do terraceamento e a manutenção de mata ciliar junto aos cursos d'água, conforme prevê a legislação ambiental vigente.

Por meio do levantamento das características fisiográficas da bacia foi possível verificar a relação direta entre a declividade, os tipos de solo e as classes de uso e ocupação do solo. Ainda, por meio da análise da interação das características fisiográficas, foi possível verificar situações onde a perda de solo por erosão hídrica é favorecida ou minimizada, facilitando a interpretação dos resultados obtidos mediante a aplicação da USLE na bacia do rio Pinto.

Constatou-se que a erosividade das chuvas na bacia do rio Pinto é muito forte, existindo distribuição irregular desta ao longo do ano, no período de 1991 a 2011. Os meses de maior erosividade da chuva são outubro e maio, período em que o solo encontra-se mais suscetível à erosão hídrica por estar descoberto ou com culturas em estádio inicial de desenvolvimento.

Embora a USLE não permita considerar os eventos extremos de pluviosidade, faz-se necessário que estes sejam analisados, pois, verificou-se importante ocorrência de erosão hídrica e perda de solo, que gera prejuízos econômicos e à conservação do solo.

As classes de solo predominantes da bacia do rio Pinto são as dos Nitossolos e Latossolos que por seus atributos morfológicos possuem média erodibilidade. Ocorrem também Cambissolos, que apresentam média erodibilidade e Neossolos que possuem erodibilidade extremamente elevada.

Os valores predominantes de LS (0 a 2) sugerem que prevalecem, na área de estudos, as vertentes longas e com declividades classificadas como muito fracas e fracas, característica que diminui a velocidade do escoamento superficial e favorece o processo de infiltração no solo.

Na bacia do rio Pinto predomina a ocupação do solo com agricultura temporária e pecuária e são aplicadas práticas conservacionistas como o plantio em contorno e terraceamento. Embora na agricultura as práticas conservacionistas ocorram de forma mais efetiva, em todas as ocupações do solo existente na área de estudo, há possibilidade de melhorias que refletiriam diretamente na conservação e na perda de solo. Verificou-se que os fatores C e P são os que mais interferem nos volumes de perda de solo.

Na bacia do rio Pinto foram encontrados valores de perda de solo próximos à 0 t/ha/ano e, também o valor máximo de 7.107 t/ha/ano, contudo, predominando valores de perda de solo até 25 t/ha/ano. Estes últimos estão associados aos menores valores de LS da bacia hidrográfica, o que indica vertentes longas e com declividades fracas ou muito fracas (até 12%), ocupação para agricultura e pecuária sob práticas conservacionistas como o plantio em contorno e o terraceamento, que reduzem a perda de solo por erosão hídrica.

A análise geral dos dados permite concluir que os volumes predominantes de perda de solo entre 0 e 25 t/ha/ano devem-se, principalmente, à ocorrência de classes de solo menos suscetíveis a erosão, relevo pouco movimentado e ocupação para agricultura com emprego de práticas conservacionistas.

Considerando as limitações no aspecto quantitativo de estimativa de perda de solo por erosão hídrica, existe a necessidade de se melhorar a determinação dos parâmetros e diminuir a áreas de abrangência do estudo para que se trabalhe com escala de detalhe ainda maior.

A espacialização das perdas de solo é capaz de auxiliar na tomada de decisão, uma vez que permite identificar áreas de monitoramento prioritário com relação ao controle dos processos erosivos, com a finalidade de adoção de práticas conservacionistas.

Estudos qualitativos de perda de solo, como este, contribuem ainda para priorização de ações de pesquisa que busquem avaliar os riscos associados aos diferentes usos, procurando definir as funções do ecossistema, sua resiliência e uma combinação viável entre usos e fatores ambientais.

Enfatiza-se que estes estudos também são importantes em áreas consideradas pouco suscetíveis à erosão hídrica, como é o caso da bacia do rio Pinto, pois, mesmo que

os volumes de perda de solo sejam considerados baixos, ela existe e pode ser minimizada, contribuindo para uma utilização do solo mais sustentável.

No processo para a obtenção da perda de solos na bacia do rio Pinto ficou evidente a contribuição dos SIGs – Sistemas de Informações Geográficas. Se cada um dos parâmetros da USLE tivesse que ser estimado por meio de experimentos de campo, isso representaria uma limitação, principalmente, levando-se em consideração a dimensão da área de estudos. As técnicas de geoprocessamento surgiram como ferramentas alternativas para que este tipo de análise possa ser feita, com tempo e custos muito menores.

Acredita-se que este trabalho trouxe contribuições para a determinação de perda de solo por erosão laminar a partir da USLE, sistematizadas no QGIS para a região Oeste do Estado do Paraná. Contudo faz-se necessária a realização de novos estudos e pesquisas com a finalidade de levantar e comparar os dados obtidos com os resultados de diferentes modelos de predição de perda de solo em condições semelhantes a existente na área de estudos.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de Feições Geológicas na Morfologia da Bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de Parâmetros Morfométricos e Análise de Padrões de Lineamentos. Revista Brasileira de Geociências, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003.

ANA. Agência Nacional de Águas. Hidroweb: sistema de informações hidrológicas. Disponível em: http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp. Acesso em: mar. 2015.

ARAÚJO, P. H. C. Eventos climáticos extremos: os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a produtividade das regiões nordeste e sul do Brasil. 2012. 55 p. dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2012

ATTANASIO, C. M. Planos de manejo integrado de microbacias hidrográficas com uso agrícola: uma abordabem hidrológica na busca da sustentabilidade. 2004. 193 p. Tese (doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004.

BAPTISTA, G; M. M. Diagnóstico ambiental da perda laminar de solos, no Distrito Federal, por meio do geoprocessamento. 1997. 132 p. Dissertação (mestrado) – Universidade de Brasília. Brasília, 1997.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo.* Ícone, São Paulo, 1990.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo.* 9ª edição, Ícone Editora, São Paulo, 2014.

BERTONI, J. O espaçamento de terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão. Bragantia, Campinas, 1959.

BORSATO, F. H.; MARTONI, A. M. Estudo da Fisiografia das Bacias Hidrográficas Urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. Acta Scientiarum. Human and Social Sciences. V. 26, nº 2, p.272-285, 2004.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em Microbacia Hidrográfica. IN: GUERRA, Antônio Teixeira, SILVA, Antônio Soares da, BOTELHO, R. G. M. (Org.). Erosão e Conservação dos solos. Rio de Janeiro: Bertrand, 1999.

BRADY, N. C. EIL, R. R. Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos. 3ª Ed. São Paulo: Bookman, 2012.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Disponível em: http://ibge.gov.br/ Acesso em nov. 2013.

CAMPAGNOLI, F. Production of Sediments from South America: a proposal of erosion rates mapping based on geological and geomorphological data characteristics. Revista Brasileira de Geomorfologia, v7 n.1, p.3-8, 2006.

CAMPOS, Y. O. Gestão ambiental: complexidade sistêmica em bacia hidrográfica. 2010. 184 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

CARVALHO, D. F. SILVA, L. D. B. Hidrologia. 2006. Disponível em: www.em.ufop.br%2Fdeciv%2Fdepartamento%2F~antenorrodrigues%2F2_Bacia%2520hidrografica.pdf&ei=9N9xVYfhIYbksASirIPABQ&usg=AFQjCNGZUpUX49AWJ3bpxhmnT5l8615y5w&sig2=RsYhfV4RFg0hsuFwRLwfPA. Acessado em jan. 2015.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia prática. 2ª Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CARVALHO, N. O; FILIZOLA JR., SANTOS, P. M. C; LIMA, J. E. F. W. Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios. Brasília: ANEEL, 2000.

CAVIGLIONE, J. H., FIDALSKI, J., ARAÚJO, A. G., BARBOSA, G. M. C., LLANILLO, R. F., SOUTO, A. R. Espaçamento entre terraços em plantio direto. Londrina: IAPAR, 2010.

CHAVES, H. M. L. Estimativa de erosão atual e potencial no Vale do São Francisco. Relatório final de Consultoria. CODEVASF/FAO, Brasília, 1994.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Blucher, 1980.

CRESTANI, L. A.; ENGEL, W.; ALVES, A.K. Nas fronteiras da ocupação e o desenvolvimento da região oeste do Paraná (1930/1980). 2011. Disponível em*:www.* unioeste.br/eventos/geofronteira/anais2011/.../Artigo57. Acesso em jan/2016.

CORRECHEL, V. Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica de análise da redistribuição do "fallout" do ^{137}Cs. 2003. 99 p. Tese (doutorado) – Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2003.

DENARDIN, J. E. Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. 1990. 113 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Erosão e práticas mecânicas e vegetativas de conservação do solo em sistema de plantio direto. IN: FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.(Org.) Manejo e fertilidade de solos em plantio direto. 2ª Ed. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2009.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Humberto Gonçalves dos Santos *et al.* 3ªed. rev. ampl., Brasília, DF: EMBRAPA, 353p.: Il. Color., 2013.

EMBRAPA. Banco de Dados Climáticos do Brasil, 2003. Disponível em: http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/balanco.php?UF=&COD=191. Acessado em jan. 2015.

EMBRAPA/IAPAR - Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná. Boletim Técnico nº 57 da EMBRAPA e Boletim Técnico nº 16 do IAPAR, 414p.,1984.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos – CNPS, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, I).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro. Súmula… Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos – CNPS, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, I).

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos. Brasília: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 1995. 101p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná, 1981. Disponível em: http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/336076 . Acesso set. 2015

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

EPAGRI – Gerência Regional da E. E. de Urussanga. Plano de gestão e gerenciamento da bacia do Rio Araranguá – Zoneamento da disponibilidade e da qualidade hídrica. Análise das Características Físicas. V. 3. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente/Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura. Florianópolis – SC, 1997.

FARIA, A. MARQUES, J. O desaparecimento de pequenos rios brasileiros. Ciência Hoje, 25, 56-61.

FARINASSO, M; CARVALHO JÚNIOR, O. A. GUIMARÃES, R. F. GOMES, R. A. T. RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – equação universal de perdas de solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do alto Parnaíba – PI – MA. Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 7, n° 2, pp. 73-85, 2006.

FERREIRA, J. C. V. Municípios paranaenses: origens e significado de seus nomes. Curitiba: Secretaria de Estado da Cultura, 2006.

FUJIHARA, A. K. Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 2002.

GARBOSSA, R. A. O controle litoestrutural na organização espacial da bacia do rio tagaçaba (Paraná): uma análise morfométrica da rede de drenagem. 2003.136 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

GARCEZ, L.N. Hidrologia. São Paulo: Edgard Blucher, 1974. 249 p.

GÓMEZ, P. DARIO, J. Estimativa de erosão pela Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e transferência de sedimentos para todo o território brasileiro. Dissertação de mestrado. Piracicaba, 2012.

GUERRA, A. T. CUNHA, S. B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo, Bacia do Rio Peixe, Paranapanema. São Paulo, 6v., 1986.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Oeste paranaense: o 3ºespaço relevante: especificidades e diversidades. Curitiba: IPARDES, 2008.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Caderno Estatístico: Município de São Miguel do Iguaçu, 2015. Disponível em http://www.ipardes.gov.br/index.php?pg_conteudo=1&cod_conteudo=30 Acesso em nov. 2015.

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps (PDF) (3rd ed.). Rome: FAO. ISBN 978-92-5-108370-3. Retrieved 29 August 2014

KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma revisão. Geonomos, 5:17-40, 1998.

KÖPPEN, W. Climatologia con un estúdio de los climas de la tierra. México: FCE, 1948.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. 2º Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LIMA, W. P.; ZAKIA M. J. B. Hidrologia de matas ciliares, 2000. Disponível em: http://www.ipef.br/hidrologia/mataciliar.asp. Acessado em 22. Jan. 2015.

LIMA, J. M., CURI, N., RESENDE, M., SANTANA, D. P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade em Latossolos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 14, n. 1, p. 85-90, 1990.

LIRA, E. M. NASCIMENTO, F. I. C. ALMEIDA, G. O. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Igarapé Amaro, Acre-Brasil, IN. Revista Geonorte, Manaus - Amazonas. v. 3, n. 4, p. 606-6016, 2012.

LOMBARDI NETO, F. & MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). Bragantia, Campinas, 51(2):189-196, 1992.

MAACK, R. Maack, Reinhard. "Breves notícias sobre a geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina." Brazilian Archives of Biology and Technology, p. 169-288, 2001.

MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. 4º Ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2012.

MAFRA, N. M. C. Erosão e planificação de uso do solo. IN: GUERRA, A. J. T. SILVA, A. S. BOTELHO, R. G. M. (Org.) Erosão e conservação dos solos: temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

MANNIGEL, A.R.; CARVALHO, M. P. MORETI, D., MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. Acta Scientiarum, Maringá, v. 24, n5, p. 1335-1340, 2002.

MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. Uso agrícola dos solos brasileiros. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002 (174 p.).

MARCUZZO, F. F. N., OLIVEIRA, N. L., CARDOSO, M. R. D., TSCHIEDEL, A. Detalhamento hidromorfológico da bacia do rio Paraíba, 2012. Disponível em: www.cprm.gov.br/publique/media/Evento_Hidro_Marcuzzo.pdf. Acesso em: jun/2015.

MARQUES, J. Q. A.; BERTONI, J; BARRETO, G. B. Perdas por erosão no Estado de São Paulo. Bragantia, v. 20, p. 1143-1181, 1961.

MARQUES, V. S. Erosão hídrica em microbacias utilizando geotecnologias, 2013.178p. Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, 2013.

MILLER, V.C.A. A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area, Technical Report, Dept. Geology, Columbia University. 1953.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 16 jul. 2015.

MOSCA, A. A. O. Caracterização Hidrológica de Duas Microbacias Visando a Identificação de Indicadores Hidrológicos para o Monitoramento Ambiental do Manejo de Florestas Plantadas. Dissertação (Mestrado em Recursos florestais). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba/SP. 2003.

PAIVA, E. M. C. D. Método de estimativa da produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas. IN: PAIVA, J. B. D. PAIVA, E. M. C. D (Org.) Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias. Porto Alegre: ABTH, 2003.

PALMIERI, F. LARACH J. O. I. Pedologia e Geomorfologia. IN: GUERRA, A. T. G CUNHA, S. B. (Org.) Geomorfologia e meio ambiente. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

PARANÁ, Bacias Hidrográficas do Paraná: Série Histórica. Curitiba, 2010. Disponível em: http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Revista_Bacias_Hidrograficas_do_Parana.pdf. Acesso em nov. 2013.

PAROLIN, M. GUERREIRO, R. L., KUERTEN, S., MENEZES, H. R. Bacias Hidrográficas Paranaenses IN. PAROLIN. M. VOLKMER-RIBEIRO, C., LEANDRINI, J. A. (Org.) Abordagem ambiental interdisciplinar em bacias hidrográficas no Estado do Paraná. Campo Mourão: Editora da Fecilcam, 2010.

PAULA, G. M. O Fenômeno El Niño Oscilação Sul e a Erosividade das Chuvas em Santa Maria-RS. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 53p. 2009.

PEREIRA, A. R. Determinação de perda de solo. Boletim Técnico, nº 1. Março/06. Belo Horizonte: Deflor, 2006.

PORTO, R.L; ZAHED, K. F.; SILVA R. M. Bacias Hidrográficas. São Paulo: Escola Politécnica da USP – Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária PHB – 307 – Hidrologia Aplicada, 1999.

PRADO, H. Pedologia simplificada. Arquivo Agronômico nº 1. Dezembro/95. 2ª Edição. 16 p. 1995.

PRIORI, A., POMARI, L. R., AMÂNCIO, S. M., IPÓLITO, V. K. A história do Oeste paranaense. IN: PRIORI, A (Org.) História do Paraná: séculos XIX e XX [online]. Maringá: Eduem, 2012.

RODRIGUES, C. ADAMI, S. Técnicas Fundamentais para o Estudo de Bacias Hidrográficas IN: VENTURI, L. A. B. (Org.) Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório em Geografia e análise ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

ROLOFF, G. P. ; DENARDIN, J. E. Estimativa simplificada da erodibilidade do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 10., 1994, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p. 146-147.

ROSS, J. S. Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. Rev. Geografia. São Paulo, IG-USP, 1992.

Ross, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia. n. 8, p.63-74. 1994.

RUTHES, J. M., TOMAZONI, J. C., GUIMARÃES, E., GOMES, T. C., Propriedades do solo da bacia hidrográfica do rio Catorze que intensificam a erosão laminar. Revista Brasileira de Geografia Física. 2012. P. 160-169.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. IN: GUERRA, A. J. T. SILVA, A. S. BOTELHO, R. G. M. (Org.) Erosão e conservação dos solos: temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

SÃO MIGUEL DO IGUAÇU, Plano Diretor de São Miguel do Iguaçu: Avaliação Temática Integrada, 2012. Disponível em: www.saomiguel.pr.gov.br. Acessado em nov. 2013.

SANTANA, D. P. Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 30).

SANTOS, L. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná. Revista Brasileira de Geomorfologia - Ano 7, nº 2 (2006). pp. 03-12.

SILVA, V. C. Estimativa da Erosão Atual da Bacia do rio Paracatu (MG / GO /DF). Pesquisa Agropecuária Tropical. n. 34, v. 3, 147-159, 2004.

SILVA, F. H. B. B.; SILVA, M. S. L.; CAVALCANTI, A. C. Descrição das principais classes de solo. Recife: EMBRAPA, 2005.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R. Apostila de Hidrologia. Universidade Federal de Lavras. 2008 In Site: www.deg.ufla.br/Irriga%C3%A7%C3%A3o/Disciplinas/ENG%20170/hidrologia_eng_170.htm. Acesso em 02 de out. 2014.

SIMÕES, S. J. C., COIADO, E. M. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: ABRH, 2003.

SOUZA, E. R.; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. Informe gropecuário, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p.15-20, nov./dez. 2000.

STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks in Handbook of Applied Hydrology, Vem Te Chow (Editor). McGraw Hill, New York, 1964

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. Revista Uniara, v.20, p.137-157, 2007.

TOMAZONI, J. C. Morfodinâmica e transporte fluvial no sudoeste do estado do Paraná por método de levantamento de microbacias hidrográficas através de geoprocessamento. 2003. 279f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; ALVARES, C. A.; RIBEIRO, S.; LEITE, F. P. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, 2002.

TUCCI, C. E. M., MENDES, C. A. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Brasília: MMA, 2006.

VEIGA, A. M. TRINDADE, M. C. SOUZA, R. M. OLIVEIRA, W. N. Caracterização hidromorfológica da bacia do rio dos Bois. In Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 10., 2013, Anais...Porto Alegre, 2007.

VILELLA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo, McGraw-Hill, 1975.

WALTRICK, P. C. Erosividade de chuvas no Paraná: atualização, influência do “El Niño” e “La Niña” e estimativa para cenários climáticos futuros. 2010. 107 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

WISCHMEIER, W. H., JOHNSON, C. B., CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Jour. Soil Wat. Conserv., v. 26, 189-193, 1971

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 1978. 58p. (USDA-Agriculture Handbook, 537).

WISCHMEIER, W. Use and misuse of the universal soil loss equation. J. Soil Water Conserv., 31:5-9, 1976